

Título original: Industrial Ventilation. 20th Edition of Recommended Practice, 1988.
Committee on Industrial Ventilation. P. O. Box 16153. Lansing, Michigan 48901 USA.
American Conference of Governmental Industrial Hygienists
6500 Glenway Avenue, Bldg. D-7
Cincinnati, Ohio 45211 USA

© American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc.

© Generalitat Valenciana
Conselleria de Treball i Afers Socials
Direcció General de Treball
Paseo de la Alameda, 16
46010 Valencia

Venta y distribución en España: Librería de la Generalitat Valenciana
Plaza de Manises, 3
46003 Valencia
Tl. (96) 386 61 70

PRINTED IN SPAIN
IMPRESO EN ESPAÑA

I.S.B.N.: 84-7890-818-8

DEPÓSITO LEGAL: V. 1.289-1992

Imprime: ARTES GRÁFICAS SOLER, S. A. - LA OLIVERETA, 28 - 46018 VALENCIA - 1992

AUTORES

Coordinador general del proyecto

GOBERNA, Ricardo Ingeniero Industrial.
Dirección General de Trabajo.
Generalidad Valenciana, Valencia.

Coordinadores

HUGHES, Robert T. Presidente Comité Ventilación Industrial.
Cincinnati, Ohio.
RIVEIRA, Vicente Dr. Ingeniero Industrial.
Presidente de la IOHA. Madrid.

Traducción texto

BERNAL, Félix Ingeniero Químico IQS.
SEAT. Barcelona.
CASTEJÓN, Emilio Ingeniero Industrial.
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
Barcelona.

Revisión técnica: grupo expertos españoles

BELTRÁN, José Ingeniero Industrial.
Dirección General de Trabajo.
Generalidad Valenciana. Valencia.
CASTELLA, José Luis Ingeniero Químico IQS.
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
Madrid.
GONZÁLEZ, Enrique Dr. Ciencias Químicas.
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
Madrid.
MARCUELLO, Daniel L. Ciencias Químicas.
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
Zaragoza.
MORENO, Domingo Dr. Ingeniero Industrial.
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
Madrid.
POU, Ramón L. Ciencias Químicas.
TECOHINSA. Barcelona.
RIVEIRA, José María Ingeniero Industrial.
INCOHINSA. Madrid.

Revisión técnica: grupo expertos norteamericanos

Consuelo, ÁVILA Jersey City, New Jersey.
Pablo, CICERO-FERNÁNDEZ Los Angeles, California.
Libardo, LATORRE Dearborn, Michigan.
Henry, RAMOS Baton Rouge, Louisiana.

Supervisión textos y colaboradores de la Dirección General de Trabajo de la Generalidad Valenciana

ORTIZ, Bernardo, TARÍN, Francisca y PÉREZ, Carmen.

VENTILACIÓN INDUSTRIAL

MANUAL DE RECOMENDACIONES PRÁCTICAS
PARA LA PREVENCIÓN DE RIESGOS PROFESIONALES

1.ª Edición en español

 **GENERALITAT VALENCIANA**
CONSELLERIA DE TREBALL I AFERS SOCIALS
Direcció General de Treball

1992

ÍNDICE

	<u>Pág.</u>
PRESENTACIÓN	XI
INTRODUCCIÓN A LA EDICIÓN EN ESPAÑOL	XIII
PREFACIO	XV
AGRADECIMIENTOS	XVII
DEFINICIONES	XIX
CAPÍTULO 1. PRINCIPIOS GENERALES DE VENTILACIÓN	
1.1. Introducción	1-2
1.2. Sistemas de impulsión	1-2
1.3. Sistemas de extracción	1-2
1.4. Definiciones básicas	1-3
1.5. Principios del flujo del aire	1-5
1.6. Aceleración del aire y pérdidas en la entrada a las campanas	1-6
1.7. Pérdida de carga en conductos	1-8
1.8. Sistemas con varias campanas	1-10
1.9. Características del flujo de aire en impulsión y en extracción	1-11
Referencias	1-11
CAPÍTULO 2. VENTILACIÓN GENERAL	
2.1. Introducción	2-2
2.2. Principios de ventilación por dilución	2-2
2.3. Ventilación por dilución para la protección de la salud	2-2
2.4. Mezclas-ventilación por dilución para la protección de la salud	2-7
2.5. Ventilación por dilución para la prevención de incendios y explosiones	2-7
2.6. Ventilación por dilución para la prevención de incendios en el caso de mezclas ...	2-8
2.7. Ventilación para el control del ambiente térmico	2-8
2.8. Balance térmico e intercambio de calor	2-9
2.9. Mecanismo de adaptación del cuerpo	2-10
2.10. Aclimatación	2-10
2.11. Efectos agudos del calor	2-10
2.12. Medición del estrés térmico	2-11
2.13. Índices de estrés térmico	2-12
2.14. Control del calor mediante ventilación	2-13
2.15. Sistemas de ventilación	2-13
2.16. Enfriamiento por velocidad	2-15
2.17. Control del calor radiante	2-16
2.18. Prendas de protección para exposiciones cortas	2-16
2.19. Intercambiadores de calor respiratorios	2-16
2.20. Trajes refrigerados	2-17
2.21. Cabinas	2-17
2.22. Aislamiento	2-17
Referencias	2-17
CAPÍTULO 3. CAMPANAS DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA	
3.1. Introducción	3-2
3.2. Propiedades de los contaminantes	3-2

	<u>Pág.</u>
3.3. Tipos de campanas	3-2
3.4. Parámetros del diseño de campanas	3-2
3.5. Pérdida de carga en las campanas	3-15
3.6. Velocidad mínima en el conducto	3-18
3.7. Campanas con requerimientos especiales	3-18
3.8. Ventilación de impulsión extracción	3-19
3.9. Procesos a temperatura elevada	3-20
Referencias	3-21
CAPÍTULO 4. EQUIPOS PARA DEPURACIÓN DE AIRE	
4.1. Introducción	4-2
4.2. Selección del equipo de captación de polvo	4-2
4.3. Tipos de captadores de polvo	4-3
4.4. Datos adicionales útiles para la selección de un captador de polvo	4-24
4.5. Depuración de nieblas, gases y vapores	4-28
4.6. Depuradores para contaminantes gaseosos	4-28
4.7. Filtros compactos	4-28
4.8. Coste de los equipos de captación de polvo	4-30
4.9. Selección de equipos de filtración de aire	4-30
4.10. Operaciones con materiales radiactivos o extremadamente tóxicos	4-35
4.11. Venteos de protección contra explosiones	4-36
Referencias	4-36
CAPÍTULO 5. PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA	
5.1. Introducción	5-2
5.2. Etapas preliminares	5-2
5.3. Procedimiento de diseño	5-2
5.4. Métodos de diseño	5-2
5.5. Ayudas para el cálculo	5-3
5.6. Distribución del caudal de aire	5-3
5.7. Sistemas de extracción con pleno	5-7
5.8. Evaluación de la presión del ventilador	5-10
5.9. Correcciones por cambios de velocidad	5-10
5.10. Ejemplo de diseño de un sistema	5-11
5.11. Correcciones para diferentes materiales del conducto	5-11
5.12. Pérdida de carga en conductos no circulares	5-12
5.13. Correcciones por temperatura, humedad y altitud	5-12
5.14. Equipos para depuración del aire	5-28
5.15. Descarga gradual	5-28
5.16. Chimenas de evaluación	5-29
5.17. Entradas de aire adicionales	5-29
5.18. Velocidad económica óptima	5-29
Referencias	5-29
CAPÍTULO 6. VENTILADORES	
6.1. Introducción	6-2
6.2. Definiciones básicas	6-2
6.3. Selección de un ventilador	6-7
6.4. Instalación y mantenimiento de los ventiladores	6-22
Referencias	6-22
CAPÍTULO 7. RENOVACIÓN Y RECIRCULACIÓN DE AIRE	
7.1. Introducción	7-2
7.2. Renovación de aire	7-2
7.3. Caudal de renovación de aire	7-4
7.4. Control ambiental	7-5

	<u>Pág.</u>
7.5. Caudal de aire para control ambiental	7-5
7.6. Índice de renovación	7-5
7.7. Temperatura del aire de renovación	7-6
7.8. Renovación de aire y coste de calefacción	7-8
7.9. Equipos para el calentamiento del aire de renovación	7-8
7.10. Coste de calefacción del aire de renovación	7-16
7.11. Conservación del aire	7-16
7.12. Evaluación de los niveles de exposición de los trabajadores	7-21
Referencias	7-23
CAPÍTULO 8. RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA	
8.1. Introducción	8-2
8.2. Generalidades	8-2
8.3. Materiales	8-2
8.4. Construcción	8-2
8.5. Detalles constructivos	8-5
8.6. Normas	8-5
8.7. Otros tipos de materiales para conductos	8-5
8.8. Ensayos	8-5
Referencias	8-5
CAPÍTULO 9. COMPROBACIÓN DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN	
9.1. Introducción	9-2
9.2. Medida de la presión	9-2
9.3. Medida del caudal	9-5
9.4. Instrumentos para la medida de la velocidad del aire	9-12
9.5. Calibración de los instrumentos de medida	9-18
9.6. Evaluación de los sistemas de extracción	9-23
9.7. Dificultades encontradas en las mediciones de campo	9-26
Referencias	9-29
CAPÍTULO 10. OPERACIONES ESPECÍFICAS	
10.1. Fundición	10-4
10.2. Materiales de alta toxicidad	10-20
10.3. Mantenimiento de materiales	10-34
10.4. Trabajo de metales	10-41
10.5. Cubas abiertas	10-61
10.6. Pintura	10-80
10.7. Trabajo de la madera	10-86
10.8. Bajo caudal alta velocidad	10-99
10.9. Varios	10-106
CAPÍTULO 11. APÉNDICES	
Apéndice A. Valores límite para sustancias químicas en el ambiente de trabajo con las modificaciones propuestas para 1991-1992	11-2
Apéndice B. Constantes físicas	11-21
BIBLIOGRAFÍA	12-1

PRESENTACIÓN

Los riesgos a los que están sometidos los trabajadores en la industria es una realidad cotidiana, a la vista de los datos de siniestralidad laboral que nos ofrecen las estadísticas. Los siniestros que se producen son consecuencia de los fracasos en la acción preventiva con unos costes humanos y materiales muy elevados. Elevar el nivel de protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados del trabajo, debe realizarse mediante la aplicación de las técnicas de prevención por expertos o especialistas, como forma de garantizar unas condiciones seguras o aceptables en los ambientes de trabajo.

Situaciones en que los trabajadores están expuestos a sustancias químicas y calor son muy frecuentes y la solución a los problemas que pueden presentarse debe efectuarse mediante la aplicación de las técnicas de Ventilación Industrial.

El libro de *Ventilación Industrial* que presentamos, es un manual eminentemente práctico que recoge la experiencia de más de 40 años en Estados Unidos sobre el diseño y verifica-

ción de sistemas de ventilación. La presente edición es la primera que se efectúa en lengua española con autorización del Dr. Arwin Apol, Presidente de la ACGIH (American of Governmental Industrial Hygienists) de Estados Unidos y de Robert T. Hughes, Presidente del Comité de Ventilación a los que expresamente damos las gracias. Asimismo, expresamos nuestro agradecimiento a los higienistas industriales españoles y norteamericanos que han participado en el proyecto de traducción de este excelente manual.

Con esta publicación, la Dirección General de Trabajo de la Consellería de Trabajo y Asuntos Sociales de la Generalidad Valenciana, pone a disposición de todas aquellas personas dedicadas a la prevención de los riesgos profesionales un nuevo libro, resultado de años de experiencia, que contiene las guías y referencias para el control de riesgos y desea que constituya una herramienta eficaz para la solución de muchos de los problemas que se presentan frecuentemente en la industria.

EDUARDO MONTESINOS CHILET
Director General de Trabajo

INTRODUCCIÓN A LA EDICIÓN ESPAÑOLA

Hace veinte años se impulsó desde el Ministerio de Trabajo en España, la formación de una nueva generación de higienistas industriales, basada en la experiencia de Estados Unidos y que tuvo como consecuencia la utilización posterior en nuestro país de los métodos y modernas técnicas de prevención de los riesgos profesionales.

El manual de Ventilación Industrial de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists, fue uno de los libros básicos utilizados para la enseñanza de las técnicas de ventilación en la industria, como forma de controlar los agentes químicos y el calor de los ambientes de trabajo.

El libro original en inglés ha continuado en sus sucesivas ediciones, siendo una referencia y guía práctica para los higienistas industriales y otros profesionales en el diseño y control de los sistemas de Ventilación.

Para aquellas personas que no dominan el inglés y están habituados a utilizar las unidades métricas de medida, constituye un inconveniente que no les permite aprovechar al máximo, los conceptos y diseños que incluye este excelente manual.

Para tratar de solucionar este problema y aprovechando la sensibilidad por la mejora de las condiciones de trabajo de D. Eduardo Montesinos, Director General de Trabajo de la Consellería de Trabajo y Asuntos Sociales de la Generalidad Valenciana y las excelentes relaciones que actualmente existen con las asociaciones de higienistas industriales de Estados Unidos, ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), AIHA (American Industrial Hygiene Association), y IOHA (International Occupational Hygiene Association), surgió el proyecto común de efectuar una traducción al español del Manual de Ventilación de la ACGIH de reconocido prestigio en todo el mundo.

Gracias a las gestiones realizadas por D. Vicente Riveira, Presidente de los higienistas industriales españoles y Jeffrey S. Lee, Presidente de IOHA ante Arwin Apol y Robert T. Hughes, Presidentes de la ACGIH y del Comité de Ventilación respectivamente, se consiguió su participación en el proyecto y la autorización para la traducción por primera vez

del Manual de Ventilación, por el interés que supone el español en EEUU y resto de países de habla española.

Al fin de garantizar al máximo una correcta traducción, tarea nada fácil, pues aparte de la dificultad de traducir cualquier libro técnico, se añadía la de convertir todo el sistema de medidas anglo-sajón al sistema métrico, se decidió que fueran los propios higienistas industriales españoles los que efectuaran el trabajo y se encargaran a su vez de efectuar la revisión de cada uno de los capítulos, para lo cual, se formó un grupo de trabajo a los que tenemos que agradecer su espíritu de colaboración y eficiencia en la ejecución del proyecto. Mención especial merecen D. Félix Bernal y D. Emilio Castejón por su dedicación, experiencia y rigurosidad en la traducción del texto.

La traducción española de cada uno de los capítulos, fueron remitidos a Robert T. Hughes como Presidente del Comité de Ventilación de la ACGIH para que a su vez se efectuara una supervisión de los trabajos y a los que tenemos que dar las gracias por sus aportaciones y sugerencias que han sido incluidas en el texto, salvo algunas diferencias en la forma de expresión del lenguaje.

La obra corresponde a la traducción íntegra de la 20.^a edición americana y únicamente ha sido adaptado, por razones prácticas uno de los apartados del capítulo 7 en lo que se refiere a temperaturas mínimas en invierno y grados-día, que ha sido modificado con datos a utilizar en España. Por razones obvias se ha suprimido el apéndice C (Suplemento métrico) y el apéndice A (Valores Límite TLV para sustancias químicas en el ambiente de trabajo) ha sido sustituido por el actual de 1991/1992 publicado por la ACGIH.

El libro como ya se indica en el prefacio de la edición original es un manual práctico, resultado de años de experiencia en el diseño, mantenimiento y evaluación de sistemas industriales de extracción, bien entendido que su difusión se efectúa sin que el editor, ni ninguno de los miembros que han participado en el proyecto asuma ninguna responsabilidad por las informaciones, omisiones u errores que hubieran podido pasar inadvertidos a pesar del esfuerzo realizado.

RICARDO GOBERNA
Coordinador general del proyecto
Dirección General de Trabajo

PREFACIO

VENTILACIÓN INDUSTRIAL: Un manual práctico es el resultado de años de experiencia de los miembros del Comité y de la recopilación de resultados de investigación e informaciones sobre diseño, mantenimiento y evaluación de sistemas industriales de extracción. El Manual, que pretende presentar un método lógico para el diseño y verificación de dichos sistemas, ha tenido una gran aceptación como guía para Centros Oficiales, como referencia para proyectistas de ventilación industrial y como libro de texto para cursos de Higiene Industrial.

No se pretende que el Manual sea empleado como norma legal, sino como una guía. La revisión y actualización de cada uno de los capítulos del Manual es una tarea permanente del Comité, a la luz de las nuevas informaciones sobre ventilación industrial que se obtienen de los proyectos de investigación en curso, de informes sobre realizaciones prácticas de ingenieros, y de los artículos aparecidos en diversas publicaciones técnicas. El Manual se edita únicamente con tapas duras e incluye un suplemento métrico.

En esta vigésima edición el Comité ha revisado y reescrito o modificado todos los capítulos –virtualmente la totalidad del Manual–. Durante los últimos cuatro años se ha revisado en profundidad el contenido de cada sección, modificándose lo necesario para aumentar la profundidad o amplitud de lo tratado. Se mantiene nuestra política de presentar la información de una forma práctica, concisa y de fácil comprensión. En los lugares apropiados se incluyen presentaciones teóricas simples a fin de mostrar los fundamentos de las ecuaciones prácticas, especialmente en temas en los que el Comité ha incrementado el contenido. El Manual es suficientemente completo para el diseño de sistemas industriales de extracción sin necesidad de acudir a otros textos. En nuestro constante esfuerzo por presentar las últimas técnicas y datos, el Comité desea, agradece y busca activamente comentarios y sugerencias sobre la exactitud e idoneidad de la información presentada.

En esta edición el Manual ha sido reorganizado, y es importante comprender su nueva ordenación. Cada componente del Manual se llama ahora “Capítulo” en lugar de “Sección”, como en las ediciones anteriores. La correspondencia entre los actuales capítulos y las antiguas secciones es la siguiente:

El Capítulo 1 era la Sección 1
El Capítulo 2 era las Secciones 2 y 3

El Capítulo 3 era la Sección 4
El Capítulo 4 era la Sección 11
El Capítulo 5 era la Sección 6
El Capítulo 6 era la Sección 10
El Capítulo 7 era la Sección 7
El Capítulo 8 era la Sección 8
El Capítulo 9 era la Sección 9
El Capítulo 10 era la Sección 5

El principal motivo para esta reorganización ha sido el agrupar en un bloque compacto la teoría del diseño de los sistemas de extracción localizada. El Capítulo 1 se ha ampliado para mostrar los principios del flujo de aire con un poco más de detalle. Las Secciones 2 y 3 se han refundido y ampliado en el Capítulo 2. Los Capítulos 3, 4, 5 y 6 contienen ahora todos los procedimientos importantes de diseño de sistemas de extracción y presentan las campanas, los depuradores, los sistemas de conductos y los ventiladores, por este orden. Los capítulos 7, 8 y 9 mantienen su orden anterior, pero todos han sido revisados y modificados. El Capítulo 10 da los datos para el diseño de campanas para aplicaciones específicas.

Todos los gráficos de los Capítulos 1 al 9 se han elaborado con un ordenador para facilitar futuras modificaciones. En el Capítulo 10 el número de dibujos era excesivo para ser informatizados en el tiempo disponible, por lo que se presentan de la misma forma que en las ediciones anteriores. En la próxima edición serán modificados y convertidos al nuevo estilo.

Esta publicación se ha diseñado para presentar información exacta y fiable con respecto al tema que constituye su objetivo. Su difusión se efectúa en el bien entendido de que ni el Comité ni sus miembros, colectiva o individualmente, asumen ninguna responsabilidad derivada de informaciones erróneas que hubieran podido pasar inadvertidas, ni por omisiones, ni por los resultados obtenidos por el uso de esta publicación.

COMITÉ DE VENTILACIÓN INDUSTRIAL

J. J. LOEFFLER, GMI Engr. & Mgmt. Institute, Michigan,
Presidente
A. G. APOL, FEOH, Washington
D. J. BURTON, Los Alamos National Laboratory

W. M. CLEARY, Dept. of Public Health
Mrs. Norma DONOVAN, Editorial Consultant
L. DICKIE, U. of Louisville, Kentucky
S. E. GUFFEY, U. of Washington, Washington R. P. Hib-
bard, U. of Washington, Washington
R. T. HUGHES, NIOSH, Ohio
G. S. RAJHANS, Ontario Ministry of Labour, Canada
M. M. SCHUMAN, General Motors Corp., Michigan

CONSULTORES

J. T. BARNHART, New York Blower Co., Indiana
R. LARSON, Torit Div., Donaldson Co., Minnesota
G. W. KNUTSON, Pace Lab., Inc., Minnesota
O. P. PETREY, American Air Filter, Kentucky
A. L. TWOMBLY, American Air Filter, Kentucky

AGRADECIMIENTOS

El presente manual representa un verdadero esfuerzo del Comité, al concentrar en una sola obra datos prácticos sobre ventilación procedentes de distintos puntos del país. La diversidad de experiencias y especialidades que representa la cooperación entre los miembros del Comité de Ventilación Industrial con los ingenieros especialistas en Higiene Industrial asegura un resultado enriquecedor.

Desde la primera edición, en 1951, el esfuerzo se ha coronado con éxito, como atestigua la aceptación del "Manual de Ventilación" en la industria, los centros oficiales y como referencia y libro de texto en todo el mundo.

El Comité actual agradece la confianza y el firme apoyo recibido de los Comités anteriores y de sus miembros, que se relacionan más abajo.

Asimismo, el Comité expresa un agradecimiento especial a la Division of Occupational Health, Michigan Department of Health, por la aportación del original de su manual de campo que constituyó la base de la Primera Edición, y al señor Knowlton J. Caplan, que supervisó la preparación de dicho manual.

El Comité expresa también su agradecimiento a aquellos consultores que en tan gran medida han contribuido a la preparación de ésta y las anteriores ediciones de la obra, y a la señora Norma Donovan, Secretaria del Comité, por su infatigable apoyo a nuestros esfuerzos.

A muchas otras personas e instituciones que han efectuado aportaciones específicas y nos han prestado su apoyo, sugerencias y críticas constructivas, nuestro especial agradecimiento.

COMITÉ DE VENTILACIÓN INDUSTRIAL

MIEMBROS DE LOS COMITÉS ANTERIORES

A. B. APOL, 1984-....
H. AYER, 1962-1966

R. E. BALES, 1954-1960
J. BALIFF, 1950-1966; Presidente, 1954-1956
J. T. BARNHART, Consultor, 1986-...
J. C. BARRET, 1956-1976; Presidente, 1960-1968
J. L. BELTRAN, 1964-1966
D. BONN, Consultor, 1958-1968
D. J. BURTON, 1988-...
K. J. CAPLAN, 1974-1978; Consultor, 1980-1986
W. M. CLEARY, 1976-....; Presidente, 1978-1984
L. DICKIE, 1984-....; Consultor, 1968-1984
B. FEINER, 1956-1968
S. E. GUFFEY, 1984-...
G. M. HAMA, 1950-1984; Presidente, 1956-1960
R. P. HIBBARD, 1968-...
R. T. HUGHES, 1976-...
H. S. JORDAN, 1960-1962
J. KANE, Consultor, 1950-1952
J. KAYSE, Consultor, 1956-1958
J. F. KEPPLER, 1950-1954, 1958-1960
G. W. KNUTSON, Consultor, 1986-...
J. J. LOEFFLER, 1980-....; Presidente, 1984-...
J. LUMSDEN, 1962-1968
J. R. LYNCH, 1966-1976
G. MICHAELSON, 1958-1960
K. M. MORSE, 1950-1951; Presidente, 1950-1951
R. T. PAGE, 1954-1956
O. P. PETREY, Consultor, 1978-...
G. S. RAJHANS, 1978-...
K. E. ROBINSON, 1950-1954; Presidente, 1952-1954
A. SALAZAR, 1952-1954
E. L. SCHALL, 1956-1958
M. M. SCHUMAN, 1962-....; Presidente, 1968-1978
J. C. SOET, 1950-1960
A. L. TWOMBLY, Consultor, 1986-...
J. WILLIS, Consultor, 1952-1956
R. WOLLE, 1966-1974
J. A. WUNDERLE, 1960-1964

DEFINICIONES

Aire de renovación: Término empleado en ventilación para indicar el volumen de aire exterior que, de forma controlada, es introducido en un edificio para sustituir al aire extraído.

Alcance: En distribución del aire, la distancia que una corriente de aire recorre desde una boca de impulsión hasta un punto en el que su velocidad en el eje se reduce a 0,25 m/s. Para aerotermos, la distancia que un chorro de aire se desplaza desde un aerotermo sin una elevación perceptible debida a diferencia de temperatura y pérdida de velocidad.

Aerosol: Conjunto de pequeñas partículas, sólidas o líquidas, suspendidas en el aire. El diámetro de las partículas puede variar desde 100 micras hasta 0,01 micras o menos; ejemplos: polvo, niebla, humo.

Aire standard: Aire seco a 20 °C y 1 atm. Su densidad vale 1,2 kg/m³. Calor específico del aire seco = 0,24 kcal/kg °C.

Atajadera: Compuerta deslizante.

Campana: Entrada diseñada para capturar el aire contaminado y dirigirlo e introducirlo en un sistema de conductos de extracción.

Captador de polvo: Depurador diseñado para separar del aire extraído, antes de su descarga al exterior, cantidades importantes de partículas. Margen habitual: concentraciones iguales o superiores a 7 mg/m³.

Coficiente de entrada: Relación entre el caudal real producido por un valor dado de la presión estática en la campana y el caudal teórico que existiría si la totalidad de la presión estática se convirtiera en presión dinámica con un rendimiento del 100 %. Se expresa como el cociente entre el caudal real y el teórico.

Convección: Movimiento de un fluido producido por las diferencias de densidad y la acción de la gravedad. En transmisión de calor este concepto se amplía para incluir tanto el movimiento o circulación natural como el forzado.

Densidad: Cociente entre la masa de un espécimen o substancia y su volumen. La masa de la unidad de volumen de una substancia. Cuando el peso puede usarse sin riesgo de confusión como sinónimo de masa, la densidad es el peso de la unidad de volumen de una substancia.

Depurador: Aparato diseñado con el fin de separar del aire los contaminantes que contiene, tales como polvo, gases, vapores

y humos. (Son depuradores los lavadores, filtros de aire, precipitadores electrostáticos y los filtros de carbón activo.)

Factor de densidad: Cociente entre la densidad real del aire y la densidad del aire standard. El producto del factor de densidad por la densidad del aire standard (1,2 kg/m³) da la densidad real en kg/m³; $d \times 1,2 = \text{densidad real del aire, kg/m}^3$.

Factor de forma: Relación anchura/longitud.

Factor de forma de un codo: La anchura a lo largo del eje del codo dividida por su profundidad en el plano de curvatura.

Filtro de aire: Depurador destinado a separar del aire atmosférico pequeñas cantidades de partículas antes de que aquél sea introducido en el edificio. Margen de trabajo habitual: hasta 7 mg/m³. Nota: el aire exterior en áreas de gran industria y en el interior de muchas industrias contiene concentraciones superiores a ésta, y por tanto el equipo adecuado para su depuración son los captadores de polvo.

Gas: Fluido sin forma que tiende a ocupar uniformemente la totalidad del espacio disponible a temperatura y presión ordinarias.

Humedad absoluta: Peso de vapor de agua por unidad de volumen, gramos por centímetro cúbico.

Humedad relativa: Cociente entre la presión parcial del vapor de agua en un espacio y la presión de saturación del agua pura a la misma temperatura.

Humo: Aerosol formado bien por combustión o sublimación (smoke) o por condensación de vapores de materiales sólidos (fume).

Límite inferior de inflamabilidad (LII): El límite inferior de explosividad o inflamabilidad de un gas o vapor a temperatura ambiente ordinaria expresado en porcentaje en volumen del gas o vapor en aire. Su valor se considera constante para temperaturas de hasta 120 °C. Por encima de este valor debe corregirse multiplicando su valor por 0,7, puesto que la inflamabilidad aumenta al incrementarse la temperatura.

Manómetro: Instrumento para la medida de la presión; esencialmente consistente en un tubo en U lleno parcialmente con un líquido, usualmente agua, mercurio o un aceite ligero, construido de forma que la magnitud del desplazamiento del líquido indica la presión ejercida sobre el instrumento.

Micra: Unidad de longitud igual a la milésima parte de un milímetro o la millonésima parte de un metro.

Milímetro de columna de agua (mmcda): Unidad de presión igual a la presión ejercida por una columna de agua de un milímetro de altura a temperatura standard. Equivale a 1 kg/m².

Niebla: Pequeñas gotas de un material que es usualmente líquido a temperatura y presión ordinarias.

Pérdida de carga en la entrada: Caída de presión producida por el flujo de aire en la entrada a una campana o conducto (mmcda).

Peso específico: Cociente entre la masa de la unidad de volumen de una sustancia a la masa del mismo volumen de una sustancia standard a temperatura standard. Usualmente se toma como sustancia de referencia el agua a 4 °C. Para gases se acostumbra tomar como sustancia de referencia el aire seco a la misma presión y temperatura que el gas.

Pleno: Cámara para la igualación de la presión.

Polvo: Pequeñas partículas sólidas producidas por la ruptura de partículas de mayor tamaño mediante procesos mecánicos tales como molturación, perforación, pulido, explosiones, etc. Las partículas de polvo presentes en un material pueden pasar al aire a causa de operaciones tales como paleado, tamizado, transporte, etc.

Potencia al freno: Potencia realmente requerida para mover un ventilador. En ella se incluyen las pérdidas en el ventilador, y puede determinarse únicamente mediante ensayos. (No incluye las pérdidas en la transmisión entre el motor y el ventilador.)

Potencia teórica: Potencia teórica necesaria para el funcionamiento de un ventilador si éste tuviera un rendimiento del 100 %, es decir, si no tuviera pérdidas.

Presión de vapor: Presión ejercida por un vapor. Si sobre un líquido mantenido a temperatura constante se mantiene confinado su vapor, la presión ejercida por éste se aproxima a un límite fijo llamado presión de vapor o presión de saturación, valor que depende sólo de la temperatura y del líquido de que se trate. La expresión presión de vapor se emplea a veces como sinónimo de presión del vapor saturado.

Presión dinámica: Presión cinética en la dirección del flujo que es necesaria para hacer que un fluido en reposo fluya a una determinada velocidad. Se expresa normalmente en mmcda.

Presión estática: Presión potencial ejercida en todas direcciones por un fluido en reposo. Para un fluido en movimiento se mide en dirección perpendicular a la del flujo. Normalmente

se expresa, cuando se trata de aire, en mmcda. (Tendencia a dilatar o colapsar el conducto.)

Presión total: Suma algebraica de las presiones estática y dinámica (con especial atención al signo).

Radiación, radiación térmica: Transmisión de energía por medio de ondas electromagnéticas de longitud de onda muy larga. Cualquiera que sea la longitud de onda, la energía radiante puede, al ser absorbida, convertirse en calor y dar lugar a un aumento de la temperatura del cuerpo absorbente.

Temperatura efectiva: Índice arbitrario que combina en un único valor el efecto de la temperatura, la humedad y el movimiento del aire, sobre la sensación de calor o frío experimentada por el cuerpo humano. Su valor numérico es el de la temperatura de un aire tranquilo y saturado de humedad que produjera idéntica sensación.

Temperatura húmeda: La temperatura húmeda termodinámica es la temperatura a la cual el agua sólida o líquida, por evaporación en el aire, puede saturar adiabáticamente el aire a la misma temperatura. La temperatura húmeda (a secas) es la temperatura indicada por un termómetro húmedo construido y utilizado correctamente.

TLV's (valores TLV): Valores empleados como guías para el control de los riesgos para la salud provocados por sustancias o materiales tóxicos presentes en el aire, y que se expresan como las concentraciones medias ponderadas en el tiempo a las cuales casi todos los trabajadores pueden estar expuestos 8 horas al día durante largos períodos de tiempo sin efectos adversos (ver el Apéndice).

Vapor: Forma gaseosa de sustancias que se encuentran normalmente en estado sólido o líquido y que pueden cambiar a dichos estados ya sea aumentando la presión o disminuyendo la temperatura.

Velocidad de captura: Velocidad de aire en cualquier punto delante de la boca de una campana, o en la propia boca de la misma, necesaria para superar las corrientes de aire opuestas a la captación y aspirar el contaminante situado en ese punto arrastrándolo hacia la campana.

Velocidad de transporte: Ver velocidad mínima en el conducto.

Velocidad en rendija: Flujo lineal de aire a través de una rendija, m/s.

Velocidad mínima en el conducto: Velocidad mínima del aire necesaria para mover las partículas en la corriente de aire, m/s.

Zona de confort (promedio): Margen de temperaturas efectivas en el cual la mayoría (50 % o más) de adultos se sienten confortables.

Capítulo 1

PRINCIPIOS GENERALES DE VENTILACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN	1-2	1.7 PÉRDIDA DE CARGA EN CONDUCTOS .	1-8
1.2 SISTEMAS DE IMPULSIÓN	1-2	1.7.1 PÉRDIDA DE CARGA EN TRAMOS	
1.3 SISTEMAS DE EXTRACCIÓN	1-2	RECTOS	1-8
1.4 DEFINICIONES BÁSICAS	1-3	1.7.2 PÉRDIDA DE CARGA EN PUNTOS	
1.5 PRINCIPIOS DEL FLUJO DEL AIRE	1-5	SINGULARES	1-10
1.6 ACELERACIÓN DEL AIRE Y PÉRDIDAS		1.8 SISTEMAS CON VARIAS CAMPANAS	1-10
EN LA ENTRADA A LAS CAMPANAS ...	1-6	1.9 CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO DE AIRE	
		EN IMPULSIÓN Y EN EXTRACCIÓN	1-11
		REFERENCIAS	1-11

1.1 INTRODUCCIÓN

La importancia de disponer de aire limpio y sin contaminar en el ambiente de trabajo industrial es bien conocida. La industria moderna, con su complejidad de operaciones y procesos, utiliza un número creciente de sustancias y preparados químicos muchos de los cuales poseen una elevada toxicidad. El empleo de dichos materiales puede dar a lugar a que en el ambiente de trabajo estén presentes, en concentraciones que excedan los niveles de seguridad, partículas, gases, vapores y/o nieblas. El estrés térmico puede también originar ambientes de trabajo inseguros o incómodos. Una ventilación eficaz y bien diseñada ofrece una solución a estas situaciones, en las que se requiere la protección del trabajador. La ventilación puede también ser útil para controlar olores, humedad y otras condiciones ambientales indeseables.

El riesgo potencial para la salud asociado a una sustancia presente en el aire viene indicado por su Valor Límite (TLV). El TLV se define como la concentración en el aire de una sustancia a la que se considera que casi todos los trabajadores pueden exponerse repetidamente, día tras día, sin sufrir efectos adversos. El valor TLV-TWA se define como la concentración media ponderada en el tiempo, para una jornada normal de trabajo de 8 horas y una semana laboral de 40 horas, que no producirá efectos adversos en la mayoría de los trabajadores, es empleado usualmente como referencia de seguridad. Los valores TLV son publicados por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists, y se revisan anualmente para incorporar los nuevos conocimientos sobre toxicidad de las sustancias. El Capítulo 12 de este Manual incluye una lista de los valores TLV en vigor en el momento de la publicación.*

En las plantas industriales se emplean dos tipos generales de sistemas de ventilación. Los sistemas de IMPULSIÓN se utilizan para impulsar aire, habitualmente templado, a un local de trabajo. Los sistemas de EXTRACCIÓN se emplean para eliminar los contaminantes generados por alguna operación, con la finalidad de mantener un ambiente de trabajo saludable.

Un programa completo de ventilación debe incluir tanto la impulsión como la extracción. Si la cantidad global de aire que se extrae de un local de trabajo es superior a la cantidad de aire exterior que se aporta, la presión en el interior será más baja que la atmosférica. Esta situación puede ser deseable cuando se emplea ventilación por dilución para controlar o aislar ciertos contaminantes en una zona determinada de la planta, pero a menudo el fenómeno se produce porque se han instalado sistemas de extracción sin tener en cuenta la sustitución del aire que extraen. Cuando ello ocurra, el aire entrará en la planta de una manera incontrolada, a través de rendijas, puertas, ventanas, etc. Habitualmente esta situación trae como consecuencia, en primer lugar, malestar en la época invernal para quienes

trabajan cerca de los límites del local. En segundo lugar, se produce una reducción de la eficacia de funcionamiento de los sistemas de extracción, que puede dar lugar a una disminución del grado de control de los contaminantes y originar posibles riesgos para la salud. Finalmente, se producirán mayores costes de calefacción y refrigeración. El Capítulo 7 de este manual analiza este asunto con mayor detalle.

1.2 SISTEMAS DE IMPULSIÓN

Los sistemas de impulsión se emplean con dos finalidades: 1) para crear un ambiente confortable en la planta (sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación); y 2) para sustituir el aire extraído de la planta (sistemas de sustitución). En muchos casos los sistemas de impulsión y de extracción están acoplados, como en los sistemas de control por dilución (ver la sección 1.3 del Capítulo 2).

Un sistema de impulsión bien diseñado debe incluir una sección de toma de aire; filtros, equipo de calefacción y/o refrigeración, un ventilador, conductos y registros o rejillas para la distribución del aire por el espacio de trabajo. Los filtros, el equipo de calefacción y/o refrigeración y el ventilador se encuentran a menudo integrados en un conjunto único denominado unidad de impulsión y tratamiento del aire. Si se recircula una parte del aire impulsado por el sistema es necesario instalar un sistema de RETORNO para devolver el aire recirculado a la unidad de tratamiento.

1.3 SISTEMAS DE EXTRACCIÓN

Los sistemas de ventilación por extracción se clasifican en dos grupos genéricos: 1) los sistemas de extracción GENERAL y 2) los sistemas de extracción LOCALIZADA.

Los sistemas de extracción general pueden emplearse para el control del ambiente térmico y/o para la eliminación de los contaminantes generados en un área, mediante el barrido de un espacio dado con grandes cantidades de aire. Cuando se emplea para el control térmico, el aire debe ser templado y recirculado. Cuando se emplea para el control de los contaminantes (sistema de dilución), éstos deben mezclarse con una cantidad de aire suficiente para que la concentración se reduzca hasta niveles seguros. Normalmente el aire contaminado se descarga a la atmósfera. A fin de reemplazar el aire extraído suele emplearse un sistema de impulsión, que funciona asociado al de extracción.

Los sistemas de ventilación por dilución acostumbran a utilizarse para el control de la contaminación sólo cuando no es posible el empleo de la extracción localizada, pues las grandes cantidades de aire templado que son necesarias para sustituir el aire que se extrae pueden dar lugar a elevados costes de funcionamiento. El Capítulo 2 describe las características básicas de los sistemas de ventilación general y sus

* Los valores TLV se publican en castellano con permiso de ACGIH por la Conselleria de Trabajo y Asuntos Sociales de la Generalitat Valenciana.

aplicaciones para el control de los contaminantes y del riesgo de incendio.

Los sistemas de extracción localizada se basan en el principio de capturar el contaminante en, o muy cerca de, su origen. Es el método de control preferido porque es el de mayor eficacia y, al emplear caudales más pequeños, redundan en menores costes de calefacción con respecto a los elevados caudales requeridos por los sistemas de extracción general. La importancia actual del control de la contaminación atmosférica refuerza la necesidad del empleo, en los sistemas de ventilación industrial, de equipos de depuración eficaces, cuyo coste es más reducido en los sistemas de extracción localizada debido al menor caudal de aire que utilizan.

Los sistemas de extracción localizada se componen de hasta cuatro tipos de elementos básicos: el(los) elemento(s) de captación, el sistema de conductos (incluyendo la chimenea de salida y/o el conducto de recirculación), el depurador y el ventilador. El objetivo del elemento de captación es captar el contaminante atrapándolo en una corriente de aire dirigida hacia dicho elemento, que en lo sucesivo denominaremos genéricamente campana. Para transportar el aire contaminado hasta el depurador, cuando existe, o hasta el ventilador, es necesario disponer de un sistema de conductos. En el depurador el contaminante es separado del aire. El ventilador ha de vencer todas las pérdidas debidas al rozamiento, la entrada a la campana y las uniones de conductos y, al mismo tiempo, producir el caudal de aire previsto. A la salida del ventilador existe habitualmente un conducto dispuesto en tal forma que el aire descargado por él no sea reintroducido en el local por la impulsión de aire en el mismo, o por el sistema de aire acondicionado o calefacción. En ciertos casos el aire depurado es reintroducido en el local. En el Capítulo 7 se discute cuándo es ello posible y de qué forma ha de realizarse.

El presente Manual trata los aspectos de diseño de los sistemas de ventilación por extracción, pero los principios que se describen son aplicables también a los sistemas de impulsión.

1.4 DEFINICIONES BÁSICAS

Para describir el flujo del aire se emplean las siguientes definiciones básicas, que serán repetidamente usadas en el resto de este Manual.

La densidad (d) del aire se define como su masa por unidad de volumen y se expresa habitualmente en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3). A la presión de 1 atm. y 20°C de temperatura, su valor es de $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$, valor que se obtiene de la ecuación de los gases perfectos, que relaciona la presión, la densidad y la temperatura:

$$P = dRT/M \quad [1.1]$$

donde:

P = presión absoluta, atmósferas

d = densidad, kg/m^3

R = constante de los gases perfectos que vale $0,082 \text{ atm l}/\text{grado mol}$

M = peso molecular; para el aire se adopta un valor de 28,8

T = Temperatura absoluta, grados Kelvin $T = ^\circ\text{C} + 273$

De la ecuación anterior se deduce que la densidad es inversamente proporcional a la temperatura, a presión constante. Por lo tanto, en cualquier situación en la que se maneje aire seco (ver el Capítulo 5 para el cálculo con aire húmedo), se tendrá:

$$dT = (dT)_{\text{standard}}$$

es decir,

$$d = d_{\text{standard}} \frac{T_{\text{standard}}}{T} = 1,2 \frac{293}{T} \quad [1.2]$$

Así, por ejemplo, la densidad del aire seco a 150°C será:

$$d = 1,2 \frac{293}{273 + 150} = 0,831 \text{ kg}/\text{m}^3$$

El flujo volumétrico, habitualmente denominado "caudal", se define como el volumen o cantidad de aire que atraviesa una sección determinada por unidad de tiempo. Está relacionado con la velocidad media y el área de la sección atravesada por la expresión:

$$Q = A V \quad [1.3]$$

donde:

Q = caudal, m^3/s

V = velocidad media, m/s

A = área de la sección, m^2

Dadas dos cualesquiera de estas tres variables, la tercera puede ser determinada fácilmente.

El aire o cualquier otro fluido circulan siempre de las regiones de mayor presión total a las de menor, en ausencia de aporte de energía (un ventilador). Una masa de aire en movimiento tiene asociadas tres presiones distintas, pero matemáticamente relacionadas.

La presión estática (PE) se define como la presión que tiende a hinchar o colapsar el conducto, y se expresa en milímetros de columna de agua (mmcda). Normalmente se mide con un manómetro de columna de agua, de ahí las unidades empleadas. La presión estática puede ser positiva o negativa con respecto a la presión atmosférica local, pero debe medirse perpendicularmente a la dirección del flujo de aire. La presión estática puede medirse empleando un tubo de Pitot (ver Figura 9-3) o a través de un orificio perforado (nunca con un punzón) en la pared del tubo, cuidando de evitar las rebabas en la pared interna, que distorsionarían el flujo del aire.

La presión dinámica (PD) se define como la presión requerida para acelerar el aire desde velocidad cero hasta una cierta velocidad (V), y es proporcional a la energía cinética de la corriente de aire. La relación entre PD y V viene dada por:

$$V = 4,43 \sqrt{\frac{PD}{d}} \quad [1.4]$$

o bien por:

$$PD = d \left(\frac{V}{4,43} \right)^2$$

donde:

- V = velocidad, m/s
- PD = presión dinámica, mmcda

Si se supone que el aire se encuentra en condiciones standard, la ecuación anterior se reduce a:

$$V = 4,043 \sqrt{PD} \quad [1.5]$$

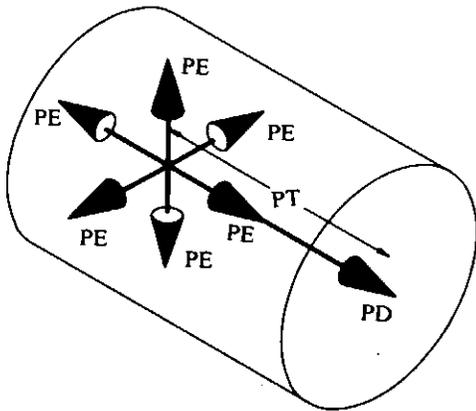


FIGURA 1-1 PE, PD Y PT EN UN PUNTO

o bien:

$$PD = \left(\frac{V}{4,043} \right)^2$$

PD se ejerce únicamente en la dirección del flujo y es siempre positiva. La Figura 1-1 muestra gráficamente la diferencia entre PE y PD.

La presión total (PT) se define como la suma algebraica de las presiones estática y dinámica:

$$PT = PE + PD \quad [1.6]$$

La presión total puede ser positiva o negativa con respecto a la presión atmosférica, y es una medida del contenido energético del aire, por lo que va siempre descendiendo a medida que se produce el avance del aire por el interior del conducto. Únicamente aumenta al pasar a través del ventilador.

La presión total puede medirse con un tubo de impacto dirigido aguas arriba de la corriente de aire y conectado a un manómetro. Los valores de PT en distintos puntos de una misma sección no son coincidentes debido a las diferencias de velocidad entre ellos; por esta razón, una sola lectura del valor de PT no es indicativa del contenido energético del aire. En el Capítulo 9 se indica la metodología a seguir para la medición de las distintas presiones en un sistema de conductos.

El significado de estas presiones puede explicarse como sigue. Supongamos un tramo de un conducto, sellado por ambos extremos, que es presurizado a una presión estática de 0,005 atm. por encima de la presión atmosférica, tal como se indica en la Figura 1-2. Si se perfora en la pared del tubo un pequeño agujero (de 2 a 3 mm de diámetro) y se le conecta una de las ramas de un manómetro en U, la lectura será aproximadamente 50 mmcda. Obsérvese la diferencia de niveles entre las dos ramas del manómetro. Si el agua de la rama abierta a la atmósfera se encuentra a un nivel superior al de la rama conectada al conducto, la presión es positiva (mayor que la atmosférica). Puesto que no hay velocidad, la presión dinámica es nula, y PE = PT. Una

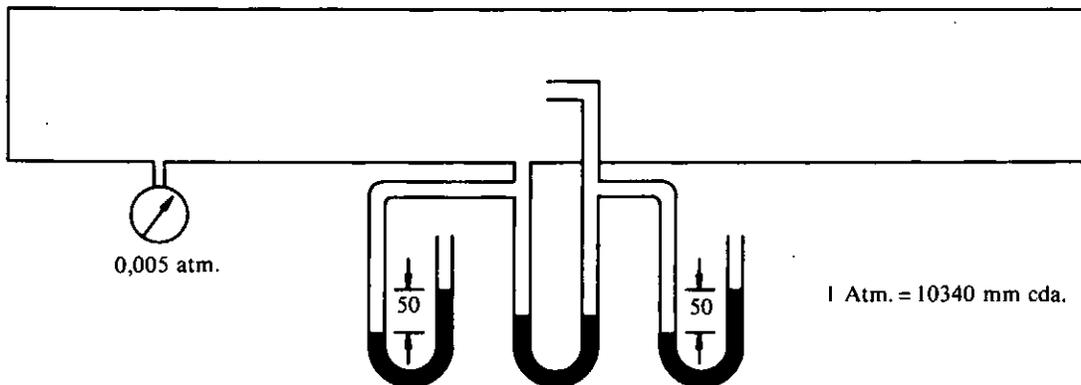


FIGURA 1-2 MEDICIÓN DE PE, PD Y PT EN UN CONDUCTO PRESURIZADO

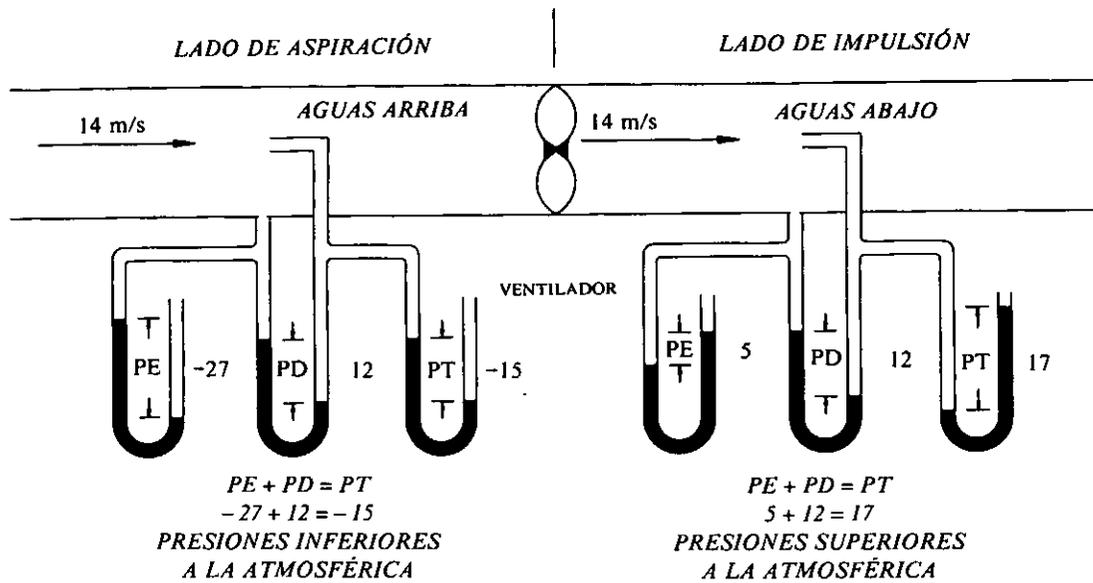


FIGURA 1-3 PE, PD, PT EN DISTINTOS PUNTOS DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN

sonda cuyo extremo esté dirigido en sentido opuesto al del movimiento del aire se denomina tubo de impacto, y medirá la presión total. En este ejemplo, si conectamos un manómetro a un tubo de impacto (el situado a la derecha), indicará también 50 mmca. Finalmente, si uno de los lados del manómetro se conecta al tubo de impacto y el otro a la sonda de presión estática (el central en el dibujo), el manómetro indicará la diferencia entre ambas presiones. Puesto que $PD = PT - PE$, un manómetro conectado de esta forma indicará directamente PD. En este ejemplo, puesto que no hay flujo, $PD = 0$, como nos muestra la igualdad de niveles entre ambas ramas.

Si se destaparan los extremos del conducto y en su interior se colocara un ventilador, la situación podría modificarse hasta la indicada; por ejemplo, en la Figura 1-3. Aguas arriba del ventilador PE y PT son negativas (inferiores a la atmosférica). Es el llamado *lado de aspiración*. Aguas abajo del ventilador PE y PT son ambas positivas. Éste es el llamado *lado de impulsión*. Independientemente del lado del ventilador, PD es siempre positiva. Obsérvese que las diferencias de nivel en cada manómetro indican si los valores respectivos de PE y PT son positivos o negativos con respecto a la presión atmosférica local.

1.5 PRINCIPIOS DEL FLUJO DEL AIRE

El flujo del aire en los sistemas de ventilación industrial está gobernado por dos principios básicos de la mecánica de fluidos: la conservación de la masa y la conservación de la energía. Se trata de leyes "contables" que, básicamente, establecen que la masa y la energía no desaparecen y han de ser, por tanto, tenidas en cuenta en su totalidad. Este Manual no pretende efectuar un estudio en profundidad de

este tema; la demostración de los citados principios puede encontrarse en cualquier texto de mecánica de fluidos. Sin embargo, es importante conocer cuáles son las hipótesis simplificadoras que se incluyen en los principios que se exponen más adelante; dichas hipótesis son:

1. Se desprecian los efectos del intercambio térmico. Si la temperatura en el interior del conducto es significativamente distinta de la del aire en los alrededores del conducto, se producirá un intercambio de calor. En consecuencia tendrá lugar un cambio en la temperatura del aire en el interior del conducto y, por tanto, se modificará el caudal.
2. Se considera que el aire es incompresible. Si la pérdida global de presión en el sistema supera 500 mmca, aproximadamente, la densidad cambiará alrededor de un 5% y el caudal también se modificará (véase el Capítulo 5).
3. Se supone que el aire es seco. La presencia de vapor de agua en el aire reduce la densidad de éste, por lo que debe efectuarse una corrección para tener en cuenta este efecto. El Capítulo 5 describe el análisis psicrométrico necesario.
4. Se ignoran el peso y el volumen del contaminante presente en la corriente de aire. Se trata de una hipótesis admisible en la gama de concentraciones que son habituales en los sistemas típicos de extracción. Si existen altas concentraciones de sólidos, o cantidades significativas de gases distintos del aire, deben efectuarse correcciones para tener en cuenta su efecto.

La conservación de la masa exige que el balance neto del flujo másico debe ser nulo. Si se desprecian los efectos que acabamos de describir, la densidad permanecerá constante y el balance neto del flujo volumétrico (caudal) deberá ser cero. Por ello, el caudal que entra en una campana debe ser

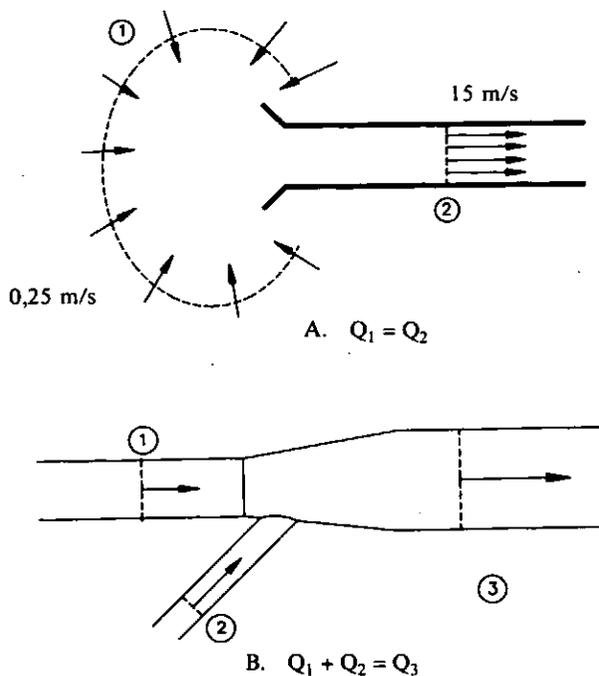


FIGURA 1-4 CAUDALES EN DISTINTAS SITUACIONES. A. FLUJO A TRAVÉS DE UNA CAMPANA; B. FLUJO EN UNA UNIÓN DE CONDUCTOS

el mismo que el que atraviesa el conducto que sale de ella. En la unión de dos conductos, el caudal de salida debe ser igual a la suma de los caudales de cada uno de ellos. Cuando un conducto se divide en otros dos, el caudal que llega debe ser igual a la suma de los dos caudales de salida. La Figura 1-4 ilustra estos conceptos.

La conservación de la energía exige tener en cuenta todos los cambios de energía que se producen a medida que el aire fluye de un punto a otro. En términos de las presiones previamente definidas, este principio puede expresarse de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} PT_1 &= PT_2 + h_p \\ PE_1 + PD_1 &= PE_2 + PD_2 + h_p \end{aligned} \quad [1.7]$$

donde:

- subíndice 1 = un punto cualquiera aguas arriba
- subíndice 2 = un punto cualquiera aguas abajo
- h_p = pérdida de energía sufrida por el aire mientras fluye desde un punto al otro.

Obsérvese que, según este principio, la *presión total debe disminuir en la dirección en la que discurre el flujo*.

La aplicación de estos principios se mostrará mediante el análisis del sencillo sistema dibujado en la Figura 1-5. La chimenea de salida, usualmente vertical, se ha situado horizontal para facilitar el trazado de las variaciones de las presiones estática, dinámica y total. Se trata de una campana

na de una muela de desbarbado que requiere un caudal de $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$ y un conducto de 100 mm de diámetro (sección de $0,007854 \text{ m}^2$).

1.6 ACELERACIÓN DEL AIRE Y PÉRDIDAS EN LA ENTRADA A LAS CAMPANAS

El aire fluye desde el local (punto 1 de la Figura 1-5), a través de la campana, hasta el conducto (punto 2 de la Figura 1-5), en el que la velocidad viene dada por la expresión:

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{A} = \frac{0,15}{0,007854} = 19,1 \text{ m/s} \\ PD &= \left(\frac{V}{4,043} \right)^2 = \left(\frac{19,1}{4,043} \right)^2 = 22,31 \end{aligned}$$

Esta velocidad corresponde a una presión dinámica de $22,31 \text{ mmcd}$, suponiendo aire en condiciones standard.

Si no existen pérdidas asociadas a la entrada en la campana, la aplicación del principio de conservación de la energía (ecuación 1-7) da:

$$PE_1 + PD_1 = PE_2 + PD_2$$

Éste es el bien conocido principio de Bernoulli de la mecánica de fluidos. El subíndice 1 se refiere a las condiciones en el local, donde la presión estática es la atmosférica ($PE_1 = 0$) y la velocidad del aire puede admitirse que es muy próxima a cero ($PD_1 = 0$). Por ello, el principio de conservación de la energía conduce a

$$PE_2 = -PD_2 = -22,31 \text{ mmcd}$$

Incluso aunque no existieran pérdidas en la entrada a la campana, la *presión estática debe disminuir a causa de la aceleración sufrida por el aire hasta alcanzar la velocidad en el conducto*.

En realidad se producen pérdidas en la entrada a la campana. Estas pérdidas en la entrada (hc_e) se expresan normalmente mediante un factor de pérdidas (F_c) multiplicado por la presión dinámica en el conducto de manera que $hc_e = F_c PD$. El principio de conservación de la energía se expresa entonces

$$PE_2 = -(PD_2 + hc_e) \quad [1.8]$$

El valor absoluto de PE_2 se denomina succión estática de la campana (PE_c). Por tanto

$$PE_c = -PE_2 = PD_2 + hc_e \quad [1.9]$$

En la Figura 1-5, por ejemplo, suponiendo un coeficiente de pérdidas en la entrada de $0,40$ tendremos

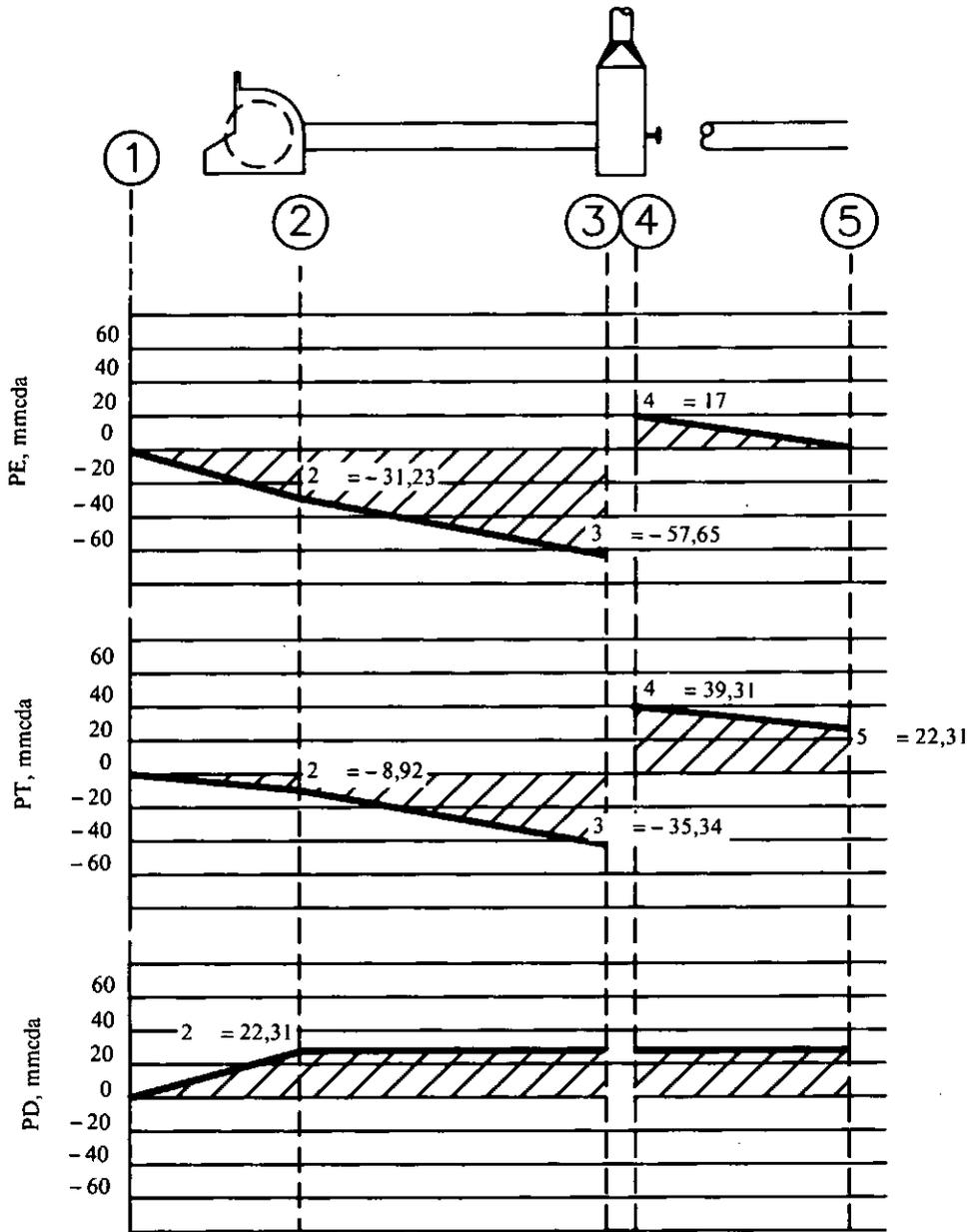


FIGURA 1-5 VARIACIÓN DE PE, PD Y PT A LO LARGO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN.

$$\begin{aligned}
 PE_c &= PD_2 + F_c PD_2 \\
 &= 22,31 + (0,4) (22,31) \\
 &= 22,31 + 8,92 \\
 &= 31,23 \text{ mmca}
 \end{aligned}$$

En resumen, la presión estática aguas abajo de la campana es negativa (inferior a la atmosférica), por dos razones:

1. La aceleración del aire hasta la velocidad en el conducto; y

2. Las pérdidas en la entrada a la campana.

Obsérvese en el gráfico que $PT_2 = -PE_c$, lo que confirma la afirmación de que la presión total decrece en el sentido del flujo.

Un método alternativo para describir las pérdidas en la entrada de la campana es el empleo del coeficiente de entrada a la campana (C_e). Este coeficiente se define como la raíz cuadrada del cociente entre la presión dinámica en el conducto y la presión estática de la campana, es decir,

$$C_e = \sqrt{\frac{PD}{PE_c}} \quad [1.10]$$

Si no se produjeran pérdidas sería $PE_c = PD$ y $C_e = 1$. Sin embargo, puesto que en la campana siempre se producen pérdidas, C_e es siempre inferior a la unidad. En la Figura 1-5,

$$C_e = \sqrt{\frac{PD}{PE_c}}$$

$$= \sqrt{\frac{22,31}{31,23}} = 0,845$$

Una propiedad importante de C_e es que es constante para una campana dada. Por tanto, puede emplearse para determinar el caudal si se conoce la presión estática. En efecto,

$$Q = AV = 4,43 A \sqrt{\frac{PD}{d}} = 4,43 A C_e \sqrt{\frac{PE_c}{d}} \quad [1.11]$$

Para aire standard esta ecuación se convierte en

$$Q = 4,043 A C_e \sqrt{PE_c} \quad [1.12]$$

que para el ejemplo de la Figura 1-5, da

$$Q = 4,043 (0,007854) (0,845) \sqrt{31,23} = 0,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

Empleando C_e y midiendo PE_c es posible determinar rápidamente el caudal de una campana y tomar medidas correctoras si el valor hallado no coincide con el de diseño.

1.7 PÉRDIDA DE CARGA EN CONDUCTOS

Existen dos componentes de la pérdida global de presión total en un tramo de conducto: 1) pérdida de carga en los tramos rectos y 2) pérdida de carga en los puntos singulares (codos, uniones, etc.).

1.7.1 Pérdida de carga en tramos rectos: La pérdida de carga en los tramos rectos es una función compleja de la velocidad del aire, del diámetro del conducto, de la densidad y viscosidad del aire, y de la rugosidad superficial del conducto. Los efectos de la velocidad, diámetro, densidad y viscosidad se combinan en el *número de Reynolds* (Re), que se define como:

$$Re = \frac{dVD}{\mu} \quad [1.13]$$

donde:

- d = densidad, kg/m³
- D = diámetro, m
- V = velocidad, m/s
- μ = viscosidad, kg/m s

El efecto de la rugosidad superficial se da usualmente mediante la *rugosidad relativa*, que es el cociente entre la altura absoluta de las rugosidades (ϵ), definida como la altura media de las rugosidades para un material determinado, y el diámetro del conducto. Algunos valores típicos de rugosidad absoluta empleados en los sistemas de ventilación se dan en la Tabla 1-1.

TABLA 1.1 Rugosidad superficial absoluta

Material	Rugosidad absoluta (ϵ), cm
Chapa galvanizada	0,015
Acero	0,005
Aluminio	0,005
Acero inoxidable	0,005
Conducto flexible (alma descubierta)	0,3
Conducto flexible (alma recubierta)	0,09

Estas cifras son valores de diseño, que pueden sufrir variaciones notables según cuál sea el proceso de fabricación.

L. F. Moody (1.1) combinó todos estos efectos en un gráfico único, usualmente llamado *diagrama de Moody* (ver Figura 1-6), mediante el cual, si se conoce el número de Reynolds y la rugosidad relativa, es posible hallar el *factor de fricción* (f).

Una vez determinado, el factor de fricción se utiliza en la *ecuación del factor de fricción de Darcy-Weisbach* a fin de determinar la pérdida de carga global en el tramo:

$$h = f \frac{L}{D} PD \quad [1.14]$$

donde:

- h = pérdida de carga en el conducto, mmca
- f = factor de fricción del diagrama de Moody (adimensional)
- L = longitud el tramo, m
- D = diámetro del conducto, m
- PD = presión dinámica, mmca

Existen muchas ecuaciones que permiten resolver por ordenador el diagrama de Moody. Una de ellas es la de Churchill (1.2), que da un pequeño porcentaje de error en toda la gama de flujos laminares, críticos y turbulentos, con una única ecuación. Esta ecuación es:

$$f = 8 \left[\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + (A + B)^{-3/2} \right]^{1/12} \quad [1.15]$$

donde:

$$A = \left\{ -2,457 \ln \left[\left(\frac{7}{Re} \right)^{0,9} + \left(\frac{\epsilon}{3,7 D} \right) \right] \right\}^{16}$$

$$B = \left(\frac{37,530}{Re} \right)^{16}$$

Aunque útil, esta ecuación es difícil de usar si no se dispone de un ordenador. Se han efectuado varias propuestas para simplificar el cálculo de la pérdida de carga en tramos rectos para situaciones especiales. Durante muchos años se han empleado, para el diseño de sistemas de ventilación, gráficos basados en la ecuación de Wright (1.3):

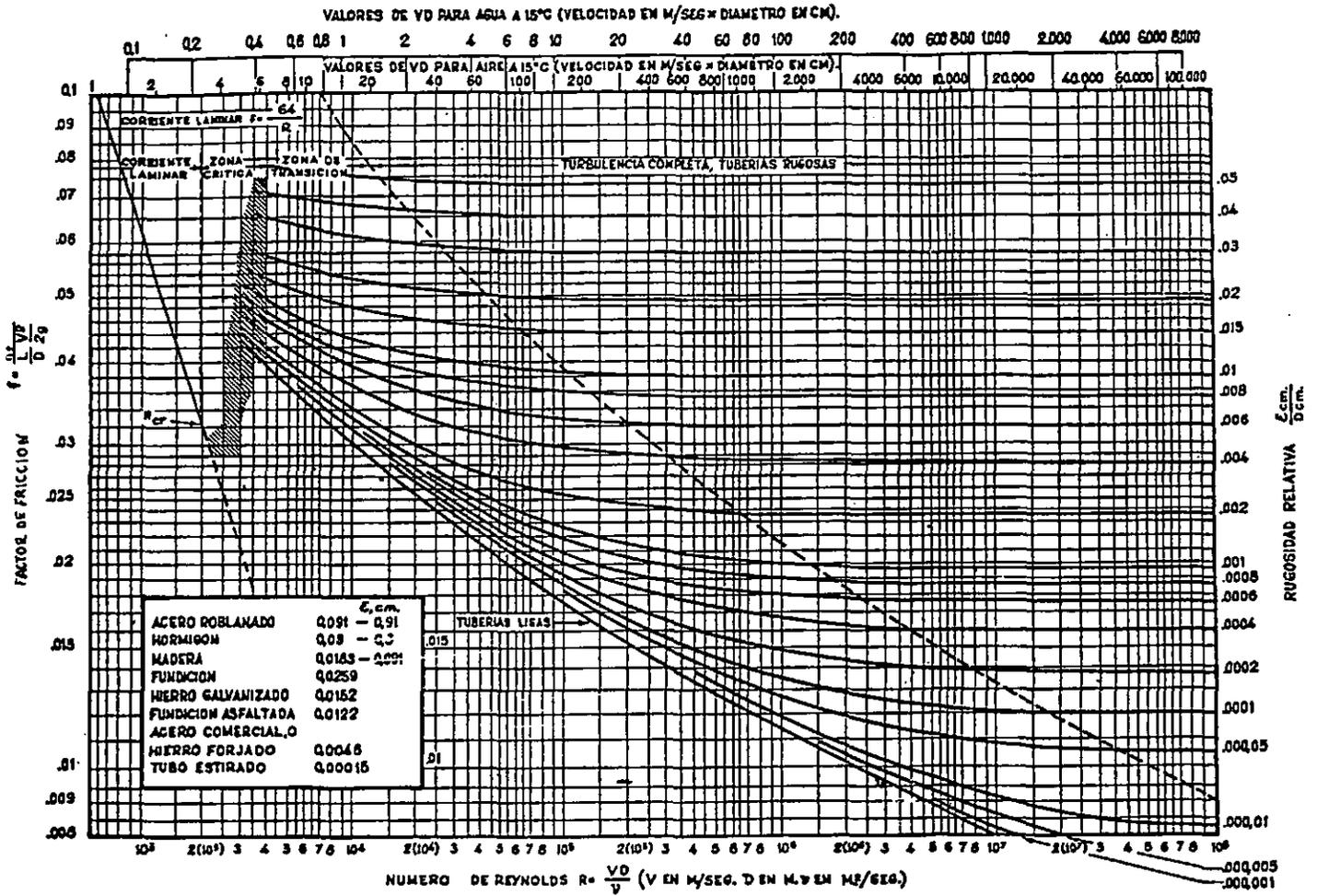


FIGURA 1-6 DIAGRAMA DE MOODY (adaptado de la referencia 1.1)

$$h = 5,3845 \frac{V^{1.9}}{D^{1.22}} \quad 1.16$$

donde:

- V = velocidad en el conducto, m/s
- D = diámetro del conducto, m

Esta ecuación da la pérdida de carga expresada en mmca por metro de conducto, para aire standard de densidad 1,2 kg/m³ que circula por un conducto limpio, de hierro galvanizado y sección circular, con aproximadamente cuatro tramos cada tres metros ($\epsilon = 0,015$ cm), y es la base del diagrama para el cálculo de la pérdida de carga expresada en longitud equivalente que se muestra en la Figura 5-16.

Trabajos posteriores de Loeffler^(1.4) produjeron ecuaciones útiles para el empleo del método de cálculo de "presión dinámica". Mediante el empleo de los valores standard de rugosidad superficial se obtuvieron ecuaciones que pueden combinarse con la de Darcy-Weisbach en la forma:

$$h = H_f L P D \quad [1.17]$$

El valor de H_f se determinó experimentalmente para el flujo de aire standard en conductos de varios materiales, obteniéndose ecuaciones de la forma:

$$H_f = \frac{a V^b}{Q^c} \quad [1.18]$$

que proporcionan una buena exactitud (error inferior al 5%). La constante "a" y los exponentes "b" y "c" varían

TABLA 1.2 Constantes de la ecuación de correlación

Material	ϵ , cm	a	b	c
Aluminio, acero, acero inoxidable	0,005	0,0162	0,465	0,602
Chapa galvanizada	0,015	0,0155	0,533	0,612
Conducto flexible, alma recubierta	0,09	0,0186	0,604	0,639

en función del material, como se indica en la Tabla 1-2. Obsérvese que no se desarrolló una correlación para el conducto flexible de alma no recubierta, extremadamente rugoso. Esta ecuación, empleando las constantes de la Tabla 1-2 para conducto de chapa de acero galvanizado, es la que se empleó para desarrollar el gráfico de la Figura 5-18. Obsérvese que el valor obtenido del gráfico o de la ecuación 1.18 debe multiplicarse por la longitud del conducto y por la presión dinámica.

1.7.2 Pérdida de carga en puntos singulares: Los puntos singulares (codos, uniones, etc.) de un conducto también producen una pérdida de presión total. Estas pérdidas se calculan mediante uno de los dos siguientes métodos: 1) el método de la presión dinámica y 2) el método de la longitud equivalente.

En el método de la presión dinámica, las pérdidas de los puntos singulares vienen dadas por un coeficiente de pérdida (F) multiplicado por la presión dinámica en el conducto. Así,

$$h_p = F PD \quad [1.19]$$

En las reducciones, uniones o ensanchamientos, coexisten varias presiones dinámicas. El valor adecuado para su empleo con el coeficiente de pérdida se indica en las tablas correspondientes.

En el método de la longitud equivalente se considera que el punto singular es equivalente a una cierta longitud de conducto recto que produciría la misma pérdida de carga que él. Esta pérdida es función del tamaño del conducto y de la presión dinámica. La Figura 5-20 corresponde a las pérdidas esperadas a velocidades del aire de alrededor de 20 m/s.

En la Figura 1-5, un conducto recto de 5 metros de longitud, de diámetro constante y construido en chapa galvanizada, une la campana a la entrada del ventilador. Puesto que la sección del conducto es constante, la velocidad y por tanto la presión dinámica lo son también, para un caudal dado. El principio de conservación de la energía se expresa:

$$PE_2 + PD_2 = PE_3 + PD_3 + h_p$$

donde el subíndice 3 se refiere a la entrada del ventilador. Puesto que $PD_2 = PD_3$, la pérdida de carga se manifiesta como una reducción de la presión estática (y existirá, por supuesto, una reducción equivalente en la presión total). La pérdida de carga puede obtenerse de la ecuación 1.17 con la ayuda de la ecuación 1.18:

$$H_f = 0,0155 \frac{V^{0.533}}{Q^{0.612}} = 0,0155 \frac{19,1^{0.533}}{0,15^{0.612}} = 0,237$$

De la ecuación 1.17, $h_p = (0,237) (5) (22.31) = 26,42$ mmca.

Y empleando este resultado en el principio de conservación de la energía,

$$PE_3 = PE_2 - h_p = -31,23 - 26,42 = -57,65 \text{ mmca}$$

Otros 3 metros de conducto recto están conectados en la descarga del ventilador. Las pérdidas desde el ventilador hasta la salida del sistema serán alrededor de 17 mmca. Puesto que la presión estática a la salida del conducto debe ser la atmosférica ($PE_5 = 0$), el principio de la conservación de la energía conduce a:

$$PE_4 = PE_5 + h_p = 0 + 17 = 17 \text{ mmca}$$

Por ello, la presión estática a la salida del ventilador debe ser superior a la atmosférica en una cantidad igual a la pérdida de carga en el conducto de descarga.

1.8 SISTEMAS CON VARIAS CAMPANAS

La mayor parte de los sistemas de extracción son más complejos que el ejemplo precedente. Usualmente es más económico comprar un solo ventilador y un único depurador para conectarlos a una serie de operaciones similares, que crear un sistema completo para cada una de ellas. Por ejemplo, la extracción en diez muelas de desbarbado que se

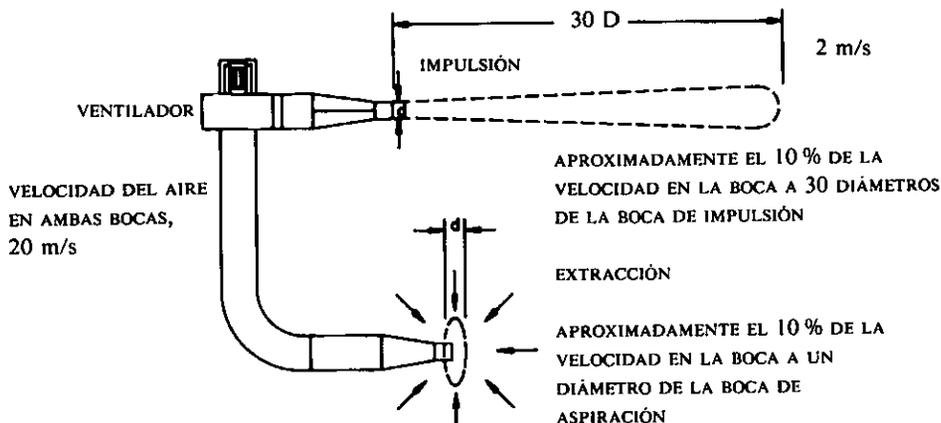


FIGURA 1-7 COMPARACIÓN ENTRE ASPIRACIÓN E IMPULSIÓN

usan continuamente puede combinarse en un conducto común que lleva a un depurador y un ventilador también comunes. Esta situación se trata de manera similar a la de un sistema simple, aunque hay que tomar algunas precauciones para asegurarse de que el caudal de cada una de las campanas es el deseado (ver el capítulo 5).

1.9 CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO DE AIRE EN IMPULSIÓN Y EN EXTRACCIÓN

Cuando el aire es impulsado a través de una pequeña abertura mantiene su efecto direccional durante una distancia considerable más allá del plano de la abertura. Sin embargo, si el flujo de aire a través de la misma abertura fuera invertido, de manera que actuara como una extracción con el mismo caudal, el flujo se volvería casi no direccional y su radio de influencia se vería fuertemente reducido. Por esta razón la extracción localizada no debe emplearse cuando el proceso no pueda desarrollarse en la proximidad *inmediata* de la campana. Asimismo, debido a este efecto,

debe hacerse todo lo posible para encerrar la operación tanto como se pueda. La Figura 1-7 ilustra la gran diferencia existente entre impulsión y extracción.

Este efecto muestra también que las rejillas de descarga de aire de impulsión o renovación pueden influir en un sistema de extracción. Si no se toman precauciones, el flujo de impulsión de una rejilla puede distorsionar seriamente la distribución del flujo de aire de una campana de extracción.

REFERENCIAS

- 1.1 L. F. Moody: "Friction Factors for Pipe Flow." *ASME Trans.* 66:672 (1944).
- 1.2 S. W. Churchill: "Friction Factor Equation Spans all Fluid Flow Regimes." *Chemical Engineering*, Vol. 84 (1977).
- 1.3 D. K. Wright, Jr.: "A New Friction Chart for Round Ducts." *ASHVE Trans.*, Vol. 51, Appendix I, p. 312 (1945).
- 1.4 J. J. Loeffler: "Simplified Equations for HVAC Duct Friction Factors." *ASHRAE J.*, p. 76 (enero 1980).

Capítulo 2

VENTILACIÓN GENERAL

2.1	INTRODUCCIÓN	2-2	2.11.1	Golpe de calor	2-10
2.2	PRINCIPIOS DE VENTILACIÓN POR DILUCIÓN	2-2	2.11.2	Agotamiento por calor	2-11
2.3	VENTILACIÓN POR DILUCIÓN PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD	2-2	2.11.3	Calambres por calor	2-11
2.3.1	Ecuación general de la ventilación por dilución	2-2	2.11.4	Erupción por calor	2-11
2.3.2	Cálculo de la ventilación por dilución en condiciones de concentración estacionaria	2-5	2.12	MEDICIÓN DEL ESTRÉS TÉRMICO	2-11
2.3.3	Aumento de la concentración	2-5	2.12.1	Temperatura del aire (seca)	2-11
2.3.4	Velocidad de eliminación	2-6	2.12.2	Temperatura húmeda natural	2-11
2.4	MEZCLAS - VENTILACIÓN POR DILUCIÓN PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD	2-7	2.12.3	Temperatura húmeda psicrométrica	2-11
2.5	VENTILACIÓN POR DILUCIÓN PARA LA PREVENCIÓN DE INCENDIOS Y EXPLOSIONES	2-7	2.12.4	Velocidad del aire	2-11
2.6	VENTILACIÓN POR DILUCIÓN PARA LA PREVENCIÓN DE INCENDIOS EN EL CASO DE MEZCLAS	2-8	2.12.5	Calor radiante	2-11
2.7	VENTILACIÓN PARA EL CONTROL DEL AMBIENTE TÉRMICO	2-8	2.12.6	Estimación de la carga térmica metabólica	2-12
2.8	BALANCE TÉRMICO E INTERCAMBIO DE CALOR	2-9	2.13	ÍNDICES DE ESTRÉS TÉRMICO	2-12
2.8.1	Convección	2-9	2.13.1	Índice de Temperaturas Húmeda y de Globo (Índice WBGT)	2-12
2.8.2	Radiación	2-9	2.13.2	Índice de Temperatura de Globo Húmedo (Índice WGT)	2-13
2.8.3	Evaporación	2-9	2.14	CONTROL DEL CALOR MEDIANTE VENTILACIÓN	2-13
2.9	MECANISMO DE ADAPTACIÓN DEL CUERPO	2-10	2.15	SISTEMAS DE VENTILACIÓN	2-13
2.10	ACLIMATACIÓN	2-10	2.16	ENFRIAMIENTO POR VELOCIDAD	2-15
2.11	EFFECTOS AGUDOS DEL CALOR	2-10	2.17	CONTROL DEL CALOR RADIANTE	2-16
			2.18	PRENDAS DE PROTECCIÓN PARA EXPOSICIONES CORTAS	2-16
			2.19	INTERCAMBIADORES DE CALOR RESPIRATORIOS	2-16
			2.20	TRAJES REFRIGERADOS	2-17
			2.21	CABINAS	2-17
			2.22	AISLAMIENTO	2-17
				REFERENCIAS	2-17

2.1 INTRODUCCIÓN

“Ventilación general” es un término amplio que hace referencia al suministro o extracción de aire de una zona, local o edificio. Según sus objetivos puede clasificarse de la siguiente forma:

1. *Ventilación por dilución* – consiste en la dilución del aire contaminado con aire sin contaminar, con el objetivo de controlar riesgos para la salud, riesgos de incendio y explosión, olores y contaminantes molestos. La ventilación por dilución puede también incluir el control de contaminantes ambientales (vapores, gases y partículas) generados en el interior de edificios cerrados.

La ventilación por dilución es menos satisfactoria que la extracción localizada para controlar los riesgos para la salud. Aunque en determinadas circunstancias es posible que la ventilación por dilución proporcione el mismo nivel de protección que la extracción localizada a un coste menor, debe ponerse atención en no considerar únicamente la inversión inicial y olvidar el coste de funcionamiento, puesto que la ventilación por dilución extrae usualmente cantidades importantes de calor cuya reposición puede incrementar en gran medida su coste energético global.

2. *Ventilación de control térmico* – consiste en el control de las condiciones ambientales asociadas con los ambientes industriales muy calurosos, tal como los que se encuentran en fundiciones, lavanderías, panaderías, etcétera, con la finalidad de prevenir daños o molestias.

2.2 PRINCIPIOS DE VENTILACIÓN POR DILUCIÓN

Los principios básicos del diseño de sistemas de ventilación por dilución son los siguientes:

1. Elegir, a partir de los datos disponibles, la cantidad de aire suficiente para conseguir una dilución satisfactoria del contaminante. Los valores indicados en la Tabla 2-1 suponen una dilución y distribución perfectas del aire y de los vapores de disolvente. Dichos valores han de multiplicarse por el valor de K elegido (ver el párrafo 2.3.1).
2. Situar, si es posible, los puntos de extracción cerca de los focos del contaminante, a fin de beneficiarse de la “ventilación puntual”.
3. Situar los puntos de introducción y extracción del aire de tal forma que el aire pase a través de la zona contaminada. El trabajador debe estar situado entre la entrada de aire y el foco contaminante.
4. Sustituir el aire extraído mediante un sistema de reposición del mismo. El aire aportado debe ser calentado durante las épocas frías. Los sistemas de ventilación por dilución manejan usualmente grandes cantidades de aire mediante ventiladores de baja presión. Para

que el sistema funcione satisfactoriamente es imprescindible reponer el aire extraído.

5. Evitar que el aire extraído vuelva a introducirse en el local descargándolo a una altura suficiente por encima de la cubierta o asegurándose de que ninguna ventana, toma de aire exterior u otra abertura se encuentra situada cerca del punto de descarga.

2.3 VENTILACIÓN POR DILUCIÓN PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD

El empleo de la ventilación por dilución para la protección de la salud está sometido a cuatro limitaciones: 1) la cantidad de contaminante generada no debe ser demasiado elevada, pues en ese caso el caudal de aire que sería necesario resultaría excesivo; 2) los trabajadores deben estar suficientemente alejados del foco de contaminante o la dispersión del contaminante debe producirse en concentraciones lo bastante bajas, de forma que la exposición de los trabajadores no supere el correspondiente valor TLV; 3) la toxicidad del contaminante debe ser baja; y 4) la dispersión del contaminante debe ser razonablemente uniforme.

La ventilación por dilución encuentra su aplicación más frecuente en el control de vapores orgánicos cuyo TLV sea igual o superior a 100 ppm. Para aplicar con éxito los principios de la dilución a esta clase de problemas es necesario disponer de datos reales sobre la velocidad de generación de vapor, o sobre la velocidad de evaporación del líquido. Normalmente estos datos pueden obtenerse en la propia planta si ésta dispone de registros adecuados sobre el consumo de materiales.

2.3.1 Ecuación general de la ventilación por dilución: El caudal de ventilación necesario para mantener constante la concentración, para un valor dado de la velocidad de generación de contaminante, se deduce a partir de un balance de contaminante en el local suponiendo que el aire introducido está libre de contaminación,

$$\text{Acumulación} = \text{Generación} - \text{Eliminación}$$

es decir,

$$VdC = Gdt - Q' Cdt \quad [2.1]$$

donde:

$$\begin{aligned} V &= \text{volumen del local} \\ G &= \text{velocidad de generación} \\ Q' &= \text{Caudal efectivo de ventilación} \\ C &= \text{Concentración del gas o vapor} \\ t &= \text{tiempo} \end{aligned}$$

En estado estacionario,

$$\begin{aligned} dC &= 0 \\ Gdt &= Q' Cdt \end{aligned}$$

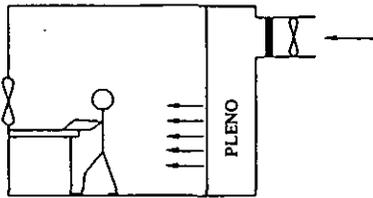
TABLA 2-1 Volúmenes de aire de dilución para vapores

Los valores siguientes se han calculado empleando los valores TLV indicados entre paréntesis, en ppm. Si el TLV hubiese cambiado deberían recalcularse los requerimientos de aire de dilución. Los valores dados en la tabla deben multiplicarse por la velocidad de evaporación (l/h) para obtener el caudal efectivo de ventilación (Q') (ver la ecuación 2.5).

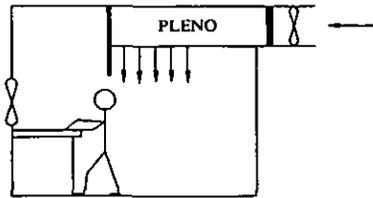
Líquido (TLV en ppm)*	m ³ de aire (std)**
	por litro evaporado
Acetona (750)	437
Acetato de n-amilo (100)	1619
Acetato de n-butilo (150)	1214
Acetato de etilo (400)	613
Acetato de 2-etoxi-etilo (5)	NO RECOMENDADO
Acetato de metilo (200)	1448
Acetato de 2-metoxietilo (5)	NO RECOMENDADO
Acetato de n-propilo (200)	1042
Alcohol n-butílico (50)	5238
Alcohol etílico (1.000)	411
Alcohol isoamílico (100)	2214
Alcohol isopropílico (400)	786
Alcohol metílico (200)	2923
Benceno (10)	NO RECOMENDADO
2-Butoxietanol (25)	NO RECOMENDADO
Cloroformo (10)	NO RECOMENDADO
1,2 Dicloroetileno (200)	1601
Dicloruro de etileno (10)	NO RECOMENDADO
Dioxano (25)	NO RECOMENDADO
Disolvente Stoddard (100)	1786-2083
Eter etílico (400)	573
Eter isopropílico (250)	679
2-Etoxietanol (5)	NO RECOMENDADO
Gasolina (300)	REQUIERE CONSIDERACIONES ESPECIALES
Metil n-butil cetona (5)	NO RECOMENDADO
Metilcloroformo (350)	678
Metiletilcetona (200)	1339
Metilisobutilcetona (50)	3845
Metilpropilcetona (200)	1185
2-Metoxietanol (5)	NO RECOMENDADO
Nafta (alquitrán de hulla)	REQUIERE CONSIDERACIONES ESPECIALES
Nafta VM y P (300)	REQUIERE CONSIDERACIONES ESPECIALES
Nitrobenceno (1)	NO RECOMENDADO
Sulfuro de carbono (10)	NO RECOMENDADO
1,1,2,2-Tetracloroetano (1)	NO RECOMENDADO
Tetracloroetileno (50)	4712
Tetracloruro de carbono (5)	NO RECOMENDADO
Tolueno (100)	2262
Tricloroetileno (50)	5357
Xileno (100)	1964

* Ver los valores TLV 1991-1992 en el Apéndice A.

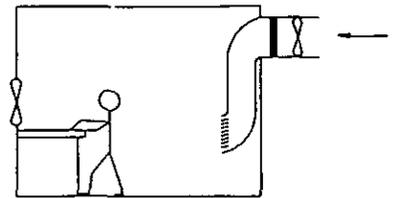
** Las cantidades de aire de dilución tabuladas deben multiplicarse por el valor elegido para K.



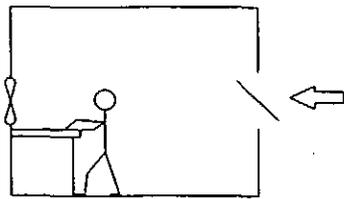
ENTRADA DE AIRE ÓPTIMA
EXTRACCIÓN ÓPTIMA
K = 1,0 MÍNIMO



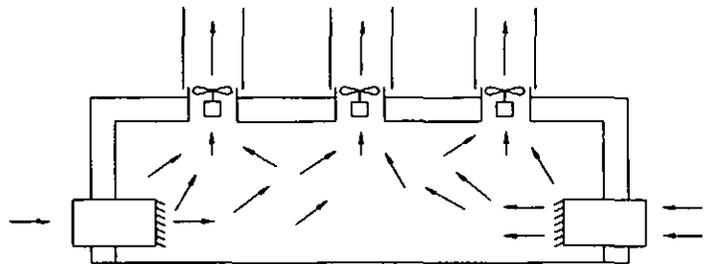
ENTRADA DE AIRE ÓPTIMA
EXTRACCIÓN ÓPTIMA
K = 1,0 MÍNIMO



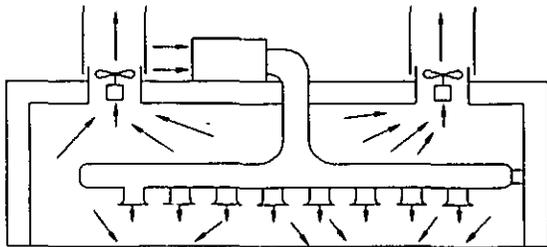
ENTRADA DE AIRE ÓPTIMA
EXTRACCIÓN ÓPTIMA
K = 1,5 MÍNIMO



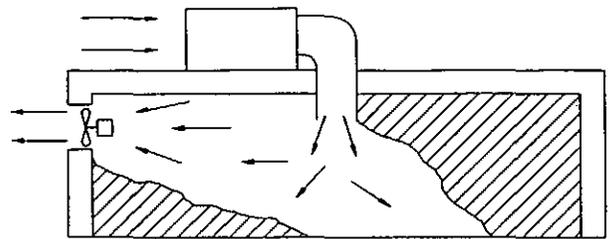
ENTRADA DE AIRE CORRECTA
EXTRACCIÓN ÓPTIMA
K = 2,5 MÍNIMO



CORRECTO
K = 2 A 5
REF. 2.2



BUENO
K = 1,5 A 2
REF. 2.2



MALO
K = 5 A 10
REF. 2.2

NOTA: LOS VALORES DE K INDICADOS TIENEN SÓLO EN CUENTA LAS ENTRADAS Y SALIDAS DEL AIRE, Y SON ORIENTATIVOS. PARA ELEGIR EL VALOR DE K A EMPLEAR EN LA ECUACIÓN DEBE TENERSE TAMBIÉN EN CUENTA EL NÚMERO Y SITUACIÓN DE LOS TRABAJADORES, EL FOCO DE CONTAMINANTE Y LA TOXICIDAD DEL MISMO.

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

VALORES DE K SUGERIDOS PARA
DISTINTAS ENTRADAS Y SALIDAS DEL AIRE

FECHA 1-88

FIGURA 2-1

$$\int_{t_1}^{t_2} G dt = \int_{t_1}^{t_2} Q' C dt$$

Si la concentración, C, y la velocidad de generación, G, son constantes, tendremos,

$$G (t_2 - t_1) = Q' C (t_2 - t_1)$$

$$Q' = \frac{G}{C} \tag{2.2}$$

Debido a que la mezcla no es completa, se introduce un factor de seguridad en el cálculo del caudal, de modo que:

$$Q' = \frac{Q}{K} \tag{2.3}$$

donde:

- Q = caudal real de ventilación, m³/h
- Q' = caudal efectivo de ventilación, m³/h
- K = factor de seguridad para tener en cuenta que la mezcla no es completa

La ecuación 2.2 queda entonces:

$$Q = \left(\frac{G}{C} \right) K \tag{2.4}$$

Este factor K se basa en varias consideraciones:

1. La eficacia de mezcla y distribución del aire introducido en el local o espacio que se ventila (ver la Figura 2-1).
2. La toxicidad del disolvente. Aunque el TLV y la toxicidad no son sinónimos, se han sugerido las siguientes recomendaciones para elegir el valor de K más apropiado:
 - Sustancia ligeramente tóxica: TLV > 500 ppm
 - Sustancia moderadamente tóxica: TLV 100 ÷ 500 ppm
 - Sustancia altamente tóxica: TLV < 100 ppm
3. La consideración de cualquier otra circunstancia que el higienista considere importante en base a su experiencia y a las características de la situación concreta. Incluidas en este criterio se encuentran circunstancias como:
 - a. La duración del proceso, el ciclo de operaciones y la ubicación habitual de los trabajadores en relación a los focos de contaminante.
 - b. La ubicación y número de focos contaminantes en el local o área de trabajo.
 - c. Los cambios estacionales en la cantidad de ventilación natural.
 - d. La reducción en la eficacia funcional de los equipos mecánicos de ventilación.
 - e. Otras circunstancias que puedan afectar a la concentración de sustancias peligrosas en la zona respiratoria de los trabajadores.

El valor de K, elegido de acuerdo con estas consideraciones, se encuentra entre 1 y 10.

2.3.2 Cálculo de la ventilación por dilución en condiciones de concentración estacionaria: La concentración de un gas o vapor en estado estacionario puede expresarse mediante la ecuación del balance de materia

$$Q' = \frac{G}{C}$$

Por ello, el caudal de aire sin contaminar que se requiere para mantener la concentración ambiental de una sustancia tóxica a un nivel aceptable puede calcularse fácilmente si se determina la velocidad de generación. Normalmente la concentración aceptable (C), expresada en partes por millón (ppm), se toma igual al valor TLV. Para disolventes líquidos la velocidad de generación viene dada por la siguiente expresión,

$$G = \frac{24 \times d \times E}{M}$$

donde:

- G = velocidad de generación, m³/h
- 24 = el volumen de vapor, en m³ en condiciones standard, generado por la evaporación de 1 litro de un disolvente de densidad unitaria y peso molecular unitario
- d = densidad relativa del disolvente líquido
- E = velocidad de evaporación del disolvente, l/h
- M = peso molecular del disolvente

Por tanto, Q' = G/C puede expresarse como

$$Q' = \frac{24 \times 10^6 \times d \times E}{M \times C} \tag{2.5}$$

EJEMPLO

De un depósito que contiene metilcloroformo se evapora éste a una velocidad de 0,71 litros por hora. ¿Cuáles son los caudales efectivos (Q') y real (Q) de ventilación que deben emplearse para mantener la concentración del vapor por debajo del valor TLV?

$$TLV = 350 \text{ ppm, } d = 1,32, M = 133,4, \text{ supóngase } K = 5$$

Suponiendo una mezcla perfecta, el caudal efectivo de ventilación (Q') será

$$Q' = \frac{24 \times 10^6 \times 1,32 \times 0,71}{133,4 \times 350} = 481 \text{ m}^3/\text{h}$$

Debido a la mezcla incompleta el caudal real deberá ser

$$Q = Q' K = 481 \times 5 = 2405 \text{ m}^3/\text{h}$$

2.3.3 Aumento de la concentración del contaminante (ver Figura 2-2): La concentración de contaminante puede

calcularse al cabo de cualquier período de tiempo. De la expresión diferencial del balance de materia se obtiene

$$\frac{dC}{G - Q' C} = -\frac{dt}{V}$$

que puede integrarse, dando:

$$\ln \left(\frac{G - Q' C_2}{G - Q' C_1} \right) = -\frac{Q' (t_2 - t_1)}{V} \quad [2.6]$$

donde el subíndice 1 se refiere a las condiciones iniciales y el 2 a la situación en el instante final. Si se desea calcular el tiempo necesario para alcanzar una concentración determinada, el valor de $t_2 - t_1$, o Δt , vale:

$$\Delta t = -\frac{V}{Q'} \left[\ln \left(\frac{G - Q' C_2}{G - Q' C_1} \right) \right] \quad [2.7]$$

Si $C_1 = 0$, la ecuación queda:

$$\Delta t = -\frac{V}{Q'} \left[\ln \left(\frac{G - Q' C_2}{G} \right) \right] \quad [2.8]$$

Nota: la concentración C_2 se expresa en tanto por uno, es decir, 200 ppm se expresa como $200/10^6$.

Si se desea determinar el nivel de concentración (C_2) al cabo de un cierto intervalo de tiempo, $t_2 - t_1$ o Δt , y si $C_1 = 0$, la ecuación queda:

$$C_2 = \frac{G \left[1 - e \left(-\frac{Q' \Delta t}{V} \right) \right]}{Q'} \quad [2.9]$$

Nota: para convertir C_2 a ppm, multiplique el resultado por 10^6 .

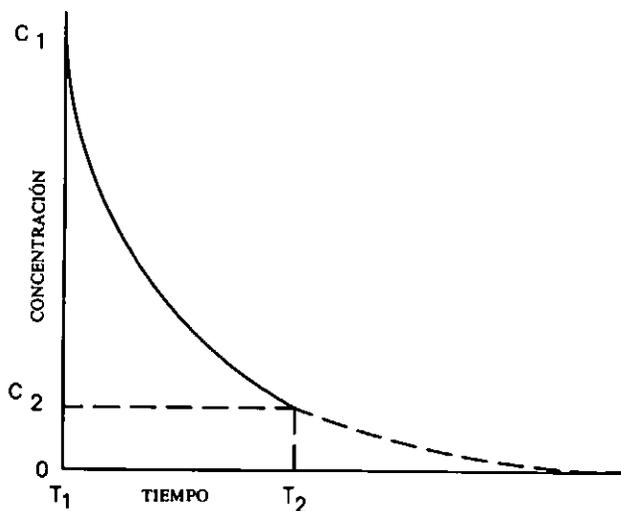


FIGURA 2-3

EJEMPLO

Se generan vapores de metilcloroformo en las siguientes condiciones: $G = 2,034 \text{ m}^3/\text{h}$; $Q' = 3.400 \text{ m}^3/\text{h}$; $V = 2.832 \text{ m}^3$; $C_1 = 0$; $K = 3$. ¿Cuánto tiempo tardará la concentración (C_2) en alcanzar 200 ppm?

$$\Delta t = -\frac{V}{Q'} \left[\ln \left(\frac{G - Q' C_2}{Q'} \right) \right] = 0,338 \text{ horas}$$

Empleando los mismos valores que en el ejemplo anterior, ¿cuál será la concentración al cabo de 60 minutos?

$$C_2 = \frac{G \left[1 - e \left(-\frac{Q' \Delta t}{V} \right) \right]}{Q'} \times 10^6 = 419 \text{ ppm}$$

2.3.4 Velocidad de eliminación (ver Figura 2-3): Cuando una masa de aire se encuentra contaminada pero no se produce una cantidad adicional de contaminación o de generación del contaminante, la velocidad de disminución de la concentración en un período de tiempo se expresa como sigue:

$$VdC = -Q' C dt$$

$$\int_{C_1}^{C_2} \frac{dC}{C} = -\frac{Q'}{V} \int_{t_1}^{t_2} dt$$

$$\ln \left(\frac{C_2}{C_1} \right) = -\frac{Q'}{V} (t_2 - t_1)$$

es decir,

$$C_2 = C_1 e \left[-\frac{Q' (t_2 - t_1)}{V} \right] \quad [2.10]$$

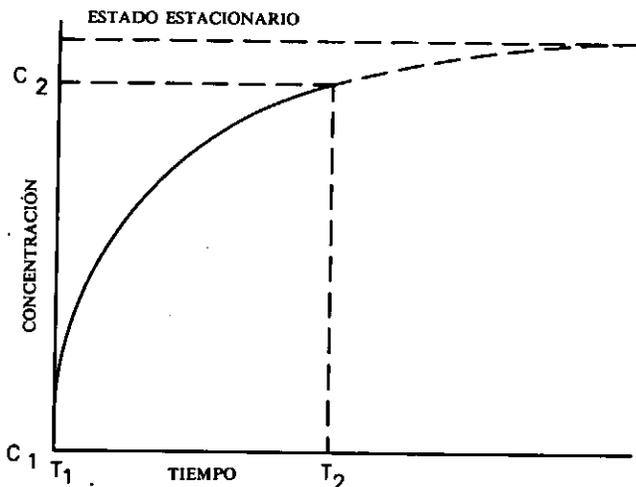


FIGURA 2-2

EJEMPLO

En el local del ejemplo del párrafo 2.3.3, supóngase que el caudal de ventilación sigue siendo el mismo ($Q' = 3400 \text{ m}^3/\text{h}$), pero el proceso contaminante se interrumpe. ¿Cuánto tiempo será necesario para que la concentración se reduzca desde 100 (C_1) hasta 25 (C_2) ppm?

$$t_2 - t_1 = -\frac{V}{Q'} \ln \left(\frac{C_2}{C_1} \right) = 1,155 \text{ horas (69,3 minutos)}$$

En el problema anterior, si la concentración (C_1) en el instante t_1 vale 100 ppm, ¿cuál será la concentración (C_2) al cabo de 60 minutos (Δt)?

$$C_2 = C_1 e \left(-\frac{Q' \Delta t}{V} \right) = 30,1 \text{ ppm}$$

2.4 MEZCLAS - VENTILACIÓN POR DILUCIÓN PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD

En muchos casos el líquido para cuyos vapores se pretende establecer una ventilación por dilución, se tratará de una mezcla. El procedimiento usualmente empleado en estos casos es el siguiente.

Cuando se encuentran presentes dos o más sustancias tóxicas debe tomarse en consideración su efecto conjunto más que los efectos individuales. A falta de información en contrario, los efectos individuales han de considerarse aditivos. Es decir, se considerará que se supera el TLV de la mezcla si la suma de las siguientes fracciones,

$$\frac{C_1}{\text{TLV}_1} + \frac{C_2}{\text{TLV}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{TLV}_n} \quad [2.11]$$

supera la unidad. "C" indica la concentración ambiental existente, y TLV el valor límite respectivo. En ausencia de información en contrario, la ventilación por dilución debe por tanto ser calculada sobre la base de que los diferentes riesgos son aditivos. Se calcula la cantidad de aire necesaria para diluir cada uno de los componentes de la mezcla hasta su nivel seguro de concentración, y se toma como caudal de ventilación la suma de dichas cantidades individuales.

Pueden hacerse excepciones a dicha regla cuando existen buenas razones para creer que los efectos principales de los diferentes componentes de la mezcla no son aditivos sino independientes, como ocurre cuando los efectos de dichos componentes son de tipo puramente local sobre distintos órganos del cuerpo. En tal caso, ordinariamente, sólo se excede el valor límite cuando alguna de las fracciones

$$\frac{C_1}{\text{TLV}_1} \text{ o } \frac{C_2}{\text{TLV}_2}, \text{ etc.,}$$

supera la unidad.

Por tanto, cuando se encuentran presentes dos o más sustancias tóxicas y se sabe que sus efectos respectivos no

son aditivos, sino que actúan independientemente sobre los distintos órganos del cuerpo, debe calcularse el caudal de ventilación necesario para cada componente de la mezcla y emplear el mayor de los valores obtenidos como caudal de ventilación global.

EJEMPLO

Se realiza una operación de limpieza y encolado, en las que se liberan metil etil cetona (MEK) y tolueno. Ambos tienen efectos narcóticos y sus efectos se consideran aditivos. La toma de muestras da una concentración de 150 ppm de MEK y de 50 ppm de tolueno. Empleando la ecuación dada, la suma de las fracciones $[(150/200) + (50/100) = 1,25]$ es superior a la unidad, por lo que se supera el TLV de la mezcla. El caudal necesario, en condiciones standard, para diluir la mezcla hasta el TLV, será:

Supóngase que se liberan 0,95 litros de cada uno cada hora. Elijase un valor de $K = 4$ para la MEK y de 5 para el tolueno; la densidad de la MEK es de 0,805, y la del tolueno, 0,866; el peso molecular de la MEK es de 72,1, y el del tolueno de 92,13.

$$Q \text{ para MEK} = \frac{(24)(0,805)(10^6)(4)(0,95)}{72,1 \times 200} = 5091 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q \text{ para el tolueno} = \frac{(24)(0,866)(10^6)(5)(0,95)}{92,13 \times 100} = 10723 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q \text{ para la mezcla} = 5091 + 10723 = 15823 \text{ m}^3/\text{h}$$

2.5 VENTILACIÓN POR DILUCIÓN PARA LA PREVENCIÓN DE INCENDIOS Y EXPLOSIONES

Otra función de la ventilación por dilución es reducir la concentración de vapores en el interior de un recipiente hasta valores inferiores al límite inferior de inflamabilidad (LII). Debe insistirse en que esta aplicación carece de sentido cuando se trata de locales de trabajo en los que están presentes trabajadores. En este caso se aplican siempre los caudales adecuados para la protección de la salud. La razón de ello es evidente cuando se comparan los valores numéricos de los TLV y los LII.

El TLV del xileno es 100 ppm. El LII del xileno es 1 %, es decir, 10000 ppm. Para que una mezcla de aire y xileno sea segura contra incendios y explosiones ha de ser mantenida por debajo del 25 % del LII, es decir, 2500 ppm. La exposición a tal concentración puede causar daños severos e incluso la muerte. Sin embargo, en hornos de cocción, estufas de secado, en secaderos cerrados, en el interior de conductos de ventilación, etc., debe emplearse ventilación por dilución a fin de mantener las concentraciones por debajo del LII.

La ecuación 2.5 puede modificarse para calcular las cantidades de aire necesarias para lograr la dilución por debajo del LII. Sustituyendo el TLV por el LII:

$$Q = \frac{(24 (d) (100) (E) (Fs))}{(M) (LII) (B)} \text{ (para condiciones standard)} \quad [2.12]$$

- Notas:
1. Puesto que el LII se expresa en porcentaje (partes por 100), en lugar de en ppm (partes por millón, como el TLV), el factor 1.000.000 se convierte en 100.
 2. Fs es un factor de seguridad que depende del porcentaje del LII que debe alcanzarse para estar en condiciones de seguridad. En la mayor parte de hornos y estufas de secado se ha encontrado que un procedimiento razonable consiste en mantener una concentración inferior al 25 % del LII en todo momento y en todo punto del equipo. En los secaderos continuos adecuadamente ventilados se emplea un valor de Fs de 4 (25 % del LII). En las estufas discontinuas, con buena distribución de aire, la existencia de picos en el flujo de secado exige valores de Fs entre 10 y 12 para mantener las condiciones de seguridad en todo momento. En estufas de secado continuas o discontinuas sin recirculación o deficientemente ventiladas, pueden ser necesarios valores de Fs más elevados.
 3. B es una constante que tiene en cuenta el hecho de que el límite inferior de inflamabilidad de las mezclas de vapores en aire disminuye a temperaturas elevadas. B se toma igual a la unidad para temperaturas hasta 120 °C y 0,7 cuando la temperatura supera dicho valor.

EJEMPLO

Una partida de estanterías esmaltadas por inmersión es cocida en un horno con recirculación a 175 °C durante 60 minutos. El esmalte aplicado a las estanterías contiene, como sustancias volátiles, 0,95 litros de xileno. ¿Qué caudal de ventilación será necesario para diluir la concentración de vapor de xileno en el interior del horno, hasta un valor seguro en todo momento?

Para el xileno, LII = 1 %; d = 0,88; M = 106; Fs = 10; B = 0,7. De la ecuación 2.12:

$$Q = \frac{(24 (0,88) (0,95) (100) (10))}{(106) (1,0) (0,7)} = 270 \text{ m}^3/\text{h}$$

Puesto que la ecuación anterior se refiere a condiciones standard, el caudal debe convertirse desde 20 °C a 175 °C (que son las condiciones de funcionamiento):

$$Q_r = (Q_{std}) \left(\frac{\text{Cociente de temperaturas absolutas}}{1} \right) \\ = 270 \left(\frac{273 + 175}{273 + 20} \right) = 413 \text{ m}^3/\text{h}$$

EJEMPLO

En muchos casos la velocidad de evaporación de disol-

vente no es uniforme, debido a las variaciones de temperatura del proceso o a la forma en que se emplea el disolvente.

Un mezclador de 1,8 m de diámetro se emplea para mezclar arena y resina en ciclos de 10 minutos. En cada operación se utilizan 181 kg de arena, 8,61 kg de resina, y 3,8 litros de alcohol etílico (el alcohol se evapora en los dos primeros minutos). ¿Cuál es el caudal de ventilación necesario?

Para el alcohol etílico, LII = 3,28 %; d = 0,789; M = 46,07; Fs = 4; B = 1

$$Q = \frac{(24 (0,789) (114) (100) (4))}{(46,07) (3,28) (1)} = 5714 \text{ m}^3/\text{s}$$

Otra fuente de datos es la publicación número 86 del National Board of Fire Underwriter's titulada *Standard for Class A Ovens and Furnaces* (2.3). En ella se encuentra una lista más completa de disolventes y sus propiedades. Además, relaciona y describe diversos dispositivos de seguridad y enclavamientos que deben ser siempre tenidos en cuenta al considerar la ventilación por dilución para la prevención de incendios y explosiones. Véase también la referencia 2.4.

2.6 VENTILACIÓN POR DILUCIÓN PARA LA PREVENCIÓN DE INCENDIOS EN EL CASO DE MEZCLAS

Es práctica habitual considerar que la mezcla se compone exclusivamente del componente que requiere una mayor cantidad de aire de dilución por unidad de volumen líquido y calcular la ventilación necesaria a partir de esta hipótesis. (Este componente será el que tenga un mayor valor para la expresión [d] / [M] [LII].)

2.7 VENTILACIÓN PARA EL CONTROL DEL AMBIENTE TÉRMICO

Una de las aplicaciones específicas de la ventilación general es el control del ambiente térmico en ambientes industriales muy calurosos. La función primaria del sistema de ventilación es, en este caso, prevenir las molestias importantes o el posible daño de aquellas personas que trabajan en dicho tipo de ambientes. Aquellas situaciones en las que la carga térmica puede superar la capacidad de defensa del organismo, dando lugar a estrés térmico, pueden tener como consecuencia una reducción en la productividad, patologías profesionales y accidentes. En consecuencia, la introducción de cualquier sistema de ventilación, u otro método de control, debe ser precedida de una evaluación fisiológica en términos de estrés térmico potencial para los ocupantes del ambiente caluroso de que se trate.

Debido a la complejidad de una evaluación fisiológica, los criterios que se presentan aquí se limitan a consideraciones generales. Por ello se recomienda que en el proceso de

diseño de un sistema de ventilación para el control del ambiente térmico se incluya un estudio en profundidad de la publicación *NIOSH* número 86-113, "Criteria for a Recommended Standard, Occupational Exposure to Hot Environments", (2.5).

El diseño de un sistema de ventilación para ambientes laborales muy calurosos incluye usualmente el caudal de aire, su velocidad, temperatura, humedad y distribución en el espacio en cuestión. Es posible que ello exija la incorporación de elementos de refrigeración, cuyo diseño se encuentra fuera del ámbito de este manual. Los criterios de diseño apropiados para este caso pueden obtenerse de la colección de manuales publicados por la American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).

2.8 BALANCE TÉRMICO E INTERCAMBIO DE CALOR

Un requerimiento esencial para el mantenimiento continuo de las funciones corporales es que la temperatura interna del cuerpo se encuentre dentro de un margen de un grado alrededor de 37 °C. Para ello es necesario mantener un intercambio térmico constante entre el cuerpo y el ambiente. La magnitud y la velocidad de dicho intercambio se rigen por las leyes fundamentales de la termodinámica del intercambio térmico entre objetos. La cantidad global de calor que debe intercambiarse es función de 1) el calor total producido por el cuerpo (calor metabólico), que puede variar entre 1 kilocaloría (kcal) por kilogramo (kg) de peso corporal por hora (1,16 vatios) en situación de reposo, hasta 5 kcal/kg de peso/hora (7 vatios) para trabajo industrial moderado; y 2) el calor recibido, en su caso, del medio ambiente. La velocidad (flujo) de calor intercambiado con el ambiente es función de la temperatura y humedad del aire, de la temperatura de la piel, de la velocidad del aire, de la evaporación del sudor, de la temperatura radiante y del tipo, cantidad y características del vestido utilizado. La pérdida de calor de origen respiratorio es generalmente muy pequeña, excepto en trabajos muy intensos en ambientes muy secos.

La ecuación básica del balance térmico es:

$$A = (M - W) \pm C \pm R - E \quad [2.13]$$

donde:

- A = acumulación de calor en el cuerpo
- (M-W) = metabolismo total - trabajo efectivo realizado
- C = intercambio por convección
- R = intercambio por radiación
- E = pérdida de calor por evaporación

Para resolver la ecuación es necesario efectuar mediciones de la producción metabólica de calor, la temperatura del aire, la presión parcial del vapor de agua en el aire, la velocidad del aire y la temperatura radiante media.

Las formas principales de intercambio térmico entre el hombre y el medio ambiente son la convección, la radiación y la evaporación. La conducción juega un papel menor en el estrés térmico industrial, salvo durante breves períodos de contacto con herramientas, máquinas, pavimentos, etc., muy calientes, que pueden causar quemaduras.

Las ecuaciones para el cálculo del intercambio térmico por convección, radiación y evaporación están disponibles en unidades del Sistema Internacional (SI), unidades métricas y unidades inglesas. En unidades SI el intercambio térmico se expresa en vatios por metro cuadrado de superficie corporal (W/m^2). Se dispone de ecuaciones de intercambio térmico, tanto en unidades métricas como inglesas, para individuos semidesnudos así como para trabajadores con ropa de trabajo convencional (pantalones y camisa de trabajo de manga larga). Los valores se dan en kcal/h o en unidades térmicas británicas por hora (Btu/h) referidas al "trabajador standard" como aquel que pesa 70 kg y cuya superficie corporal es de 1,8 m².

2.8.1 Convección: El flujo de intercambio térmico por convección entre la piel de una persona y el aire ambiente inmediatamente en contacto con ella es función de la diferencia entre la temperatura del aire (t_a) y la temperatura media ponderada de la piel (t_p), y de la velocidad del aire en contacto con la piel (V_a). Para el "trabajador standard" con ropa habitual de trabajo, esta relación se expresa:

$$C = 7 V_a^{0.6} (t_a - t_p) \quad [2.14]$$

donde:

- C = calor intercambiado por convección, kcal/h
- V_a = velocidad del aire, m/s
- t_a = temperatura del aire, °C
- t_p = temperatura media ponderada de la piel, usualmente tomada como 35 °C

Cuando $t_a > 35$ °C el cuerpo recibirá del aire calor por convección; inversamente, cuando $t_a < 35$ °C el cuerpo perderá calor por convección.

2.8.2 Radiación: El flujo de intercambio térmico por radiación entre la piel de una persona y una fuente de calor radiante es función de la cuarta potencia de la diferencia de temperatura absoluta entre la fuente y la piel, $(T_{rm} - T_p)^4$ aunque una aproximación aceptable cuando se usa la ropa habitual de trabajo viene dada por:

$$R = 6,8 (t_{rm} - t_p) \quad [2.15]$$

donde:

- R = calor intercambiado por radiación, kcal/h
- t_{rm} = temperatura radiante media, °C
- t_p = temperatura media ponderada de la piel

2.8.3 Evaporación: La evaporación de agua (sudor) desde la superficie de la piel representa, para el cuerpo, una pérdida de calor. La capacidad máxima de evaporación (y de pérdida de calor) es función del movimiento del aire (V_a)

y de la diferencia entre la presión parcial del vapor de agua en el aire (p_a) y la presión de vapor del agua a la temperatura de la piel (p_p). Para personas con la ropa habitual de trabajo, la ecuación que relaciona estas variables es la siguiente:

$$E = 14,4 V_a^{0,6} (p_p - p_a) \quad [2.16]$$

donde:

- E = calor perdido por evaporación
- V_a = velocidad del aire, m/s
- p_p = presión de vapor del agua a la temperatura de la piel, que vale 42 mm Hg a 35 °C
- p_a = presión parcial del vapor de agua en el aire, mm Hg

2.9 MECANISMO DE ADAPTACIÓN DEL CUERPO

El cuerpo humano sólo puede adaptarse perfectamente a las condiciones ambientales, a través de un complejo mecanismo, para un estrecho margen de aquéllas. Cuando ello ocurre no se produce acumulación de calor y se alcanza un confort óptimo. Los principales mecanismos de adaptación de que dispone el cuerpo son la circulación periférica, la sudoración y la modificación del metabolismo.

En ambientes fríos se reduce la circulación sanguínea en la piel, mientras que en ambientes cálidos la circulación periférica se incrementa. Este aumento de la circulación en la superficie de la piel se produce a costa de los órganos internos y del cerebro y, si llega a ser excesiva, puede provocar un agotamiento por calor.

La sudoración se incrementa enormemente en ambientes cálidos. Sin embargo, para que se logre un efecto refrigerante la humedad debe ser baja y/o la velocidad del aire elevada, pues dicho efecto es debido a la evaporación de la parte líquida del sudor. Una sudoración abundante disminuye el contenido salino del cuerpo de las personas no aclimatadas, por lo que, cuando debe realizarse un trabajo en ambientes extremadamente secos y calurosos, ha de proporcionarse una dieta rica en sal.

El metabolismo es prácticamente constante en ambientes térmicamente moderados. En cambio, en ambientes fríos o cálidos se produce un incremento del metabolismo. A elevadas temperaturas un aumento brusco del metabolismo indica que los mecanismos fisiológicos de regulación se encuentran próximos a su límite (ver Figura 2-4).

2.10 ACLIMATACIÓN

La aclimatación de las personas expuestas al calor durante períodos de tiempo prolongados es un fenómeno bien conocido. Al cabo de un período de unas dos semanas, la capacidad de los individuos para soportar el calor aumenta considerablemente. La aclimatación comienza con un descenso en la producción metabólica de calor, a medida que el individuo aprende a utilizar su energía de una forma más

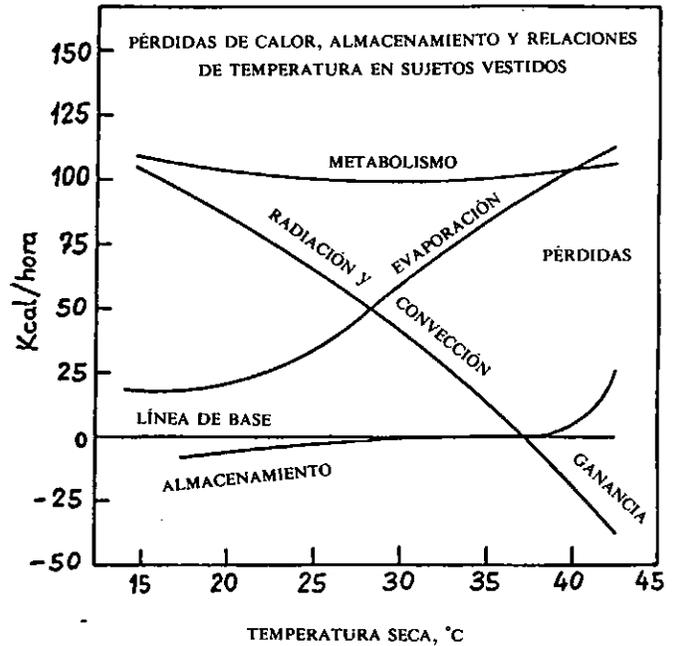


FIGURA 2-4

eficaz y a relajarse cuando la situación lo permite. Durante los primeros días se produce un aumento en la sudoración. El mecanismo de regulación se vuelve aparentemente más sensible y permite al individuo reaccionar mejor ante los cambios de las condiciones ambientales. Se incrementa el volumen sanguíneo, así como el volumen de líquido extracelular; al mismo tiempo se produce un marcado descenso en el ritmo del pulso. La concentración de sal en el sudor desciende hasta niveles en los que es virtualmente imposible que se produzca déficit salino incluso aunque el trabajo se realice en ambientes extremadamente secos y calurosos.

2.11 EFECTOS AGUDOS DEL CALOR

Cuando las personas se exponen a un calor excesivo se presentan diversas patologías clínicamente diferenciadas. A continuación se da una breve descripción de las mismas.

2.11.1 Golpe de calor: El golpe de calor incluye 1) una afección importante del sistema nervioso central (inconsciencia o convulsiones), 2) ausencia de sudoración, y 3) una temperatura rectal superior a 41 °C. El golpe de calor es una EMERGENCIA MÉDICA, y cualquier procedimiento que sirva para enfriar al paciente mejora el pronóstico. Colocarlos en una zona a la sombra, quitarle la ropa, humedecer la piel y aumentar el movimiento del aire a su alrededor para incrementar el enfriamiento evaporativo, son recursos que deben utilizarse urgentemente hasta que se disponga de métodos profesionales de enfriamiento y evaluación del grado de afección.

mide mediante un termómetro de globo, que consiste en una esfera de cobre, hueca, de 15 cm de diámetro y pintada de negro mate, en cuyo centro se inserta un termómetro. La lectura del instrumento se emplea directamente para determinar la "temperatura de globo con bulbo húmedo" (WBGT). (Ver la Figura 2-5).

2.12.6 Estimación de la carga térmica metabólica - puede realizarse empleando tablas de consumo metabólico o de análisis de tareas, y puede aplicarse tanto a actividades de corta como de larga duración. Para conseguir un grado razonable de fiabilidad es necesario que el empleo de las citadas tablas vaya precedido de un programa de formación. El empleo del análisis de tareas para estimar la carga térmica metabólica de una actividad se indica en la Tabla 2-2.

2.13 ÍNDICES DE ESTRÉS TÉRMICO

Se han efectuado diversas propuestas para la adopción de un índice empírico de estrés térmico. Entre ellas se encuentran varias adaptaciones de la temperatura efectiva (TE), el índice de estrés térmico de Belding y Hatch, el humedecimiento de la piel y muchos otros. Los más frecuentemente usados y recomendados son el Índice de Temperatura de Globo con Bulbo Húmedo (Índice WBGT) y el Índice de Temperatura del Globo Húmedo (Índice WGT).

2.13.1 Índice de Temperaturas Húmeda y de Globo (Índice WBGT) - es el índice recomendado por el National

Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) para los límites de alerta para el ambiente térmico, según lo indicado en el documento-guía (2.5). Posee la ventaja de que las mediciones son pocas y fáciles de hacer; la instrumentación es sencilla, relativamente económica y robusta; y los cálculos son rápidos. Para interiores sin carga solar el valor del índice WBGT se calcula como:

$$WBGT = 0,7 t_{hn} + 0,3 t_g \tag{2.17}$$

donde:

t_{hn} = temperatura húmeda natural
 t_g = temperatura de globo

En exteriores con carga solar, el WBGT se calcula como:

$$WBGT = 0,7 t_{hn} + 0,2 t_g + 0,1 t_a \tag{2.18}$$

donde:

t_a = temperatura del aire

El índice WBGT combina el efecto de la humedad y del movimiento del aire, de la temperatura del aire y de la radiación, y de la temperatura del aire como un factor explícito en exteriores con carga solar. Si existe radiación térmica, pero no carga solar, la temperatura de globo refleja los efectos de la velocidad y la temperatura del aire. La instrumentación sugerida por NIOSH para determinar el índice WBGT se muestra en la Figura 2-5. Existen en el

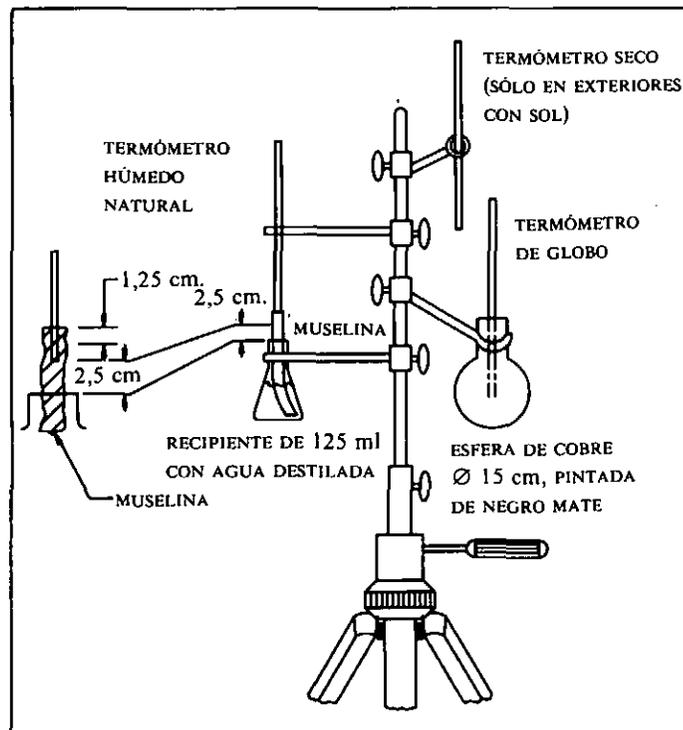


FIGURA 2-5

mercado instrumentos que proporcionan lecturas instantáneas de los componentes individuales del WBGT o una lectura digital integrada o combinada.

Una vez que se han determinado el valor del índice WBGT y la carga térmica metabólica correspondiente a una tarea determinada, es posible efectuar una evaluación del posible estrés térmico. Los límites recomendados distinguen entre trabajadores aclimatados y no aclimatados, incluyen el efecto del vestido y especifican valores techo de la forma siguiente:

1. Trabajadores no aclimatados: La exposición total de los trabajadores al calor ha de controlarse de forma que aquellos que no estén aclimatados al trabajo en ambientes muy calurosos no sean expuestos a combinaciones de cargas térmicas metabólicas y ambientales superiores a las representadas por los Límites de Alerta Recomendados (LAR) de la Figura 2-6.

2. Trabajadores aclimatados: La exposición total de los trabajadores al calor debe controlarse de forma que aquellos que estén aclimatados al trabajo en ambientes muy calurosos no sean expuestos a combinaciones de cargas térmicas metabólicas y ambientales superiores a las representadas por los Límites de Exposición Recomendados (LER) de la Figura 2-7.

3. Efecto del vestido: Los límites recomendados dados en las Figuras 2-6 y 2-7 se refieren a trabajadores sanos que están física y médicamente bien dotados para el nivel de actividad requerido por su trabajo y que llevan la ropa de trabajo ligera habitual, que no excede de una camisa de manga larga y pantalones (o su equivalente). Los valores LAR y LER dados en las Figuras 2-6 y 2-7 pueden no proporcionar una protección suficiente si los trabajadores llevan ropas con menor permeabilidad al aire o al vapor, o con valores de aislamiento superiores a los habituales en el vestido descrito más arriba.

4. Valores techo: Ningún trabajador debe ser expuesto a combinaciones de cargas térmicas metabólicas y ambientales superiores a las correspondientes a los Valores Techo de las Figuras 2-6 y 2-7 sin disponer de, y usar debidamente, vestidos y equipos de protección contra el calor.

2.13.2 Índice de Temperatura de Globo Húmedo (Índice WGT): El termómetro de globo húmedo es el más simple, más fácil de leer y más fácilmente transportable de los instrumentos para la medida del ambiente térmico. Consiste en una esfera hueca, de cobre, de 7,5 cm de diámetro, recubierta por una tela negra que se mantiene al 100 % de humedad mediante el agua conservada en un recipiente. El elemento sensor es un termómetro colocado en el interior de la esfera, en su centro, y la lectura se efectúa en un indicador situado en el extremo del vástago. Presumiblemente, la esfera húmeda intercambia calor con el ambiente de una forma similar al cuerpo humano, y el intercambio por convección, radiación y evaporación se integran en la lectura de un solo instrumento.

Durante los últimos años el WGT se ha empleado en distintas situaciones, comparándolo con el WBGT. En ge-

neral ambos métodos presentan un alto nivel de correlación, pero ésta no es constante para distintas combinaciones de los factores ambientales. Una aproximación sencilla a esta correlación puede expresarse de la forma siguiente:

$$\text{WBGT} = \text{WGT} + 2^\circ \text{C} \quad [2.19]$$

Esta aproximación presupone una intensidad de radiación y una humedad moderadas, y es probablemente adecuada para el control general en la industria. El WGT no proporciona datos que permitan resolver las ecuaciones del intercambio térmico, pero en cambio permite una estimación rápida y simple del nivel de estrés térmico.

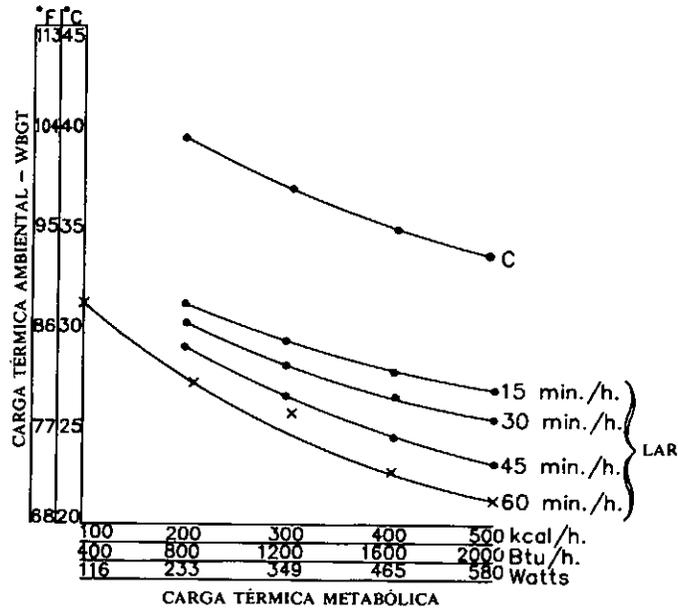
2.14 CONTROL DEL CALOR MEDIANTE VENTILACIÓN

El método de control que se presenta aquí está limitado a una aproximación de ingeniería de carácter general. Debido a la complejidad de la evaluación de la capacidad potencial de una situación para dar lugar a estrés térmico, es esencial que se recurra en toda su amplitud a la metodología de Higiene Industrial generalmente aceptada, de identificación, evaluación y corrección. Además de las habituales limitaciones de exposición, puede ser necesario especificar protecciones adicionales, que pueden incluir aislamiento, apantallamiento, separación, protección personal, control administrativo y otras medidas, a fin de prevenir la aparición de estrés térmico. Las medidas de control mediante ventilación pueden requerir una fuente de reposición de aire frío, una fuente refrigerada mecánicamente o por evaporación, un método de enfriamiento por velocidad, o cualquier combinación de los anteriores. Para diseñar un tal sistema de ventilación será necesario recurrir a recomendaciones específicas, textos y otras publicaciones o fuentes.

2.15 SISTEMAS DE VENTILACIÓN

La ventilación por extracción puede utilizarse para eliminar el calor y/o la humedad excesivos, siempre que se disponga de aire de sustitución más frío. Si es posible encerrar la fuente de calor, como en el caso de estufas o ciertos hornos, una chimenea de tiro natural o forzado puede ser suficiente para impedir que el exceso de calor penetre en el local de trabajo. Si sólo es posible un encerramiento parcial o una campana de extracción, pueden utilizarse los datos de los capítulos 3 y 10 para determinar el caudal de aire que debe extraerse.

En el caso de muchas operaciones que no admiten la extracción localizada, puede ser indicado recurrir a la ventilación general. Para calcular el caudal de ventilación necesario debe estimarse la cantidad de calor sensible y latente aportados por cada una de las fuentes, así como determinarse previamente el aumento de temperatura y humedad que se considerará aceptable. El caudal necesario para la elimi-

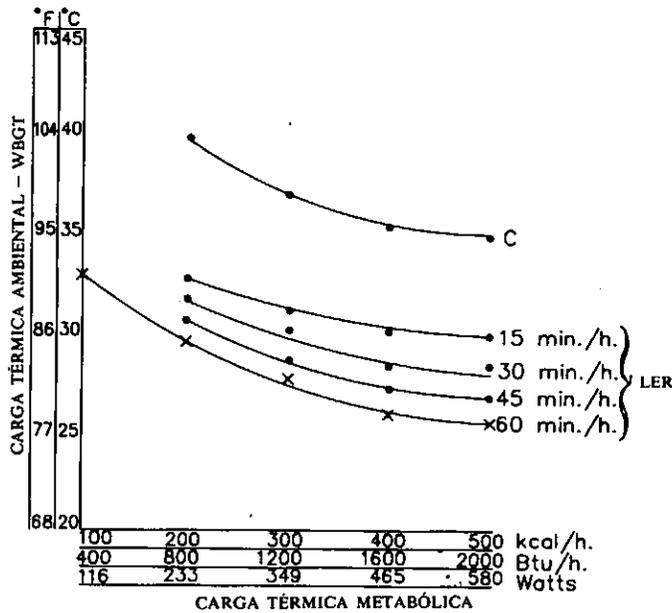


C = VALOR TECHO

LAR = LÍMITE DE ALERTA RECOMENDADO

* PARA EL "TRABAJADOR STANDARD" DE 70 kg DE PESO Y 1,8 m² DE SUPERFICIE CORPORAL

FIGURA 2-6 LÍMITES DE ALERTA RECOMENDADOS PARA TRABAJADORES NO ACLIMATADOS



C = VALOR TECHO

LER = LÍMITE DE EXPOSICIÓN RECOMENDADO

* PARA EL "TRABAJADOR STANDARD" DE 70 kg DE PESO Y 1,8 m² DE SUPERFICIE CORPORAL

FIGURA 2-7 LÍMITES DE EXPOSICIÓN RECOMENDADOS PARA TRABAJADORES ACLIMATADOS

nación del calor sensible puede estimarse a partir de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{\text{Carga térmica sensible, kcal/h}}{0,29 \times \text{incred. de temp., } ^\circ\text{C}} \quad [2.20]$$

Para emplear esta ecuación es necesario evaluar previamente la carga térmica, incluyendo el sol, las personas, la iluminación, los motores y cualquier otra fuente específica de calor. De ellas, el sol, los motores y la iluminación aportan exclusivamente calor sensible. La carga térmica de las personas es en parte sensible y en parte latente. En el caso de procesos que generen tanto calor sensible como latente, será necesario estimar las cantidades de uno y otro. Al emplear la ecuación anterior para el calor sensible es preciso fijar el incremento de temperatura que se admitirá. Por ello, en una localidad donde pueda esperarse una temperatura seca en el exterior de 32 °C, si se desea que la temperatura interior no exceda de 38 °C, es decir un aumento de 6 °C, será necesario un cierto caudal de aire. Si se desea que la temperatura interior no supere 35 °C será necesario doblar el caudal de aire.

Para la carga de calor latente el procedimiento es similar aunque más complicado. Si se conoce la cantidad total de vapor emitido, puede estimarse el caudal de ventilación necesario mediante la fórmula siguiente:

$$Q = \frac{\text{Carga térmica latente, kcal/h}}{\Delta H \times d} \quad [2.21]$$

Cuando se conoce la cantidad total de agua liberada, se emplea la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{\text{kg de agua liberada/h}}{\Delta H \times d} \quad [2.22]$$

donde d es la densidad del aire en kg/m³ y δH es la diferencia entre la humedad absoluta del aire exterior y el valor máximo de humedad absoluta que se considera tolerable en el interior del local, expresadas en kg de vapor por kg de aire seco. Los caudales de aire calculados a partir de las ecuaciones anteriores no deben ser sumados, sino que debe emplearse como caudal de ventilación el mayor de los valores hallados, ya que los calores sensible y latente son eliminados simultáneamente. Por otra parte, en la mayoría de los casos, la carga térmica sensible es muy superior a la latente, de manera que el caudal de ventilación puede ser calculado tomando sólo en cuenta la carga de calor sensible.

La ventilación debe diseñarse de manera que el aire circule por el local favoreciendo las corrientes de convección natural. Las Figuras 2-8 y 2-9 ilustran este principio.

2.16 ENFRIAMIENTO POR VELOCIDAD

Si la temperatura seca o la húmeda son inferiores a 35-38 °C, es posible enfriar al trabajador por convección o

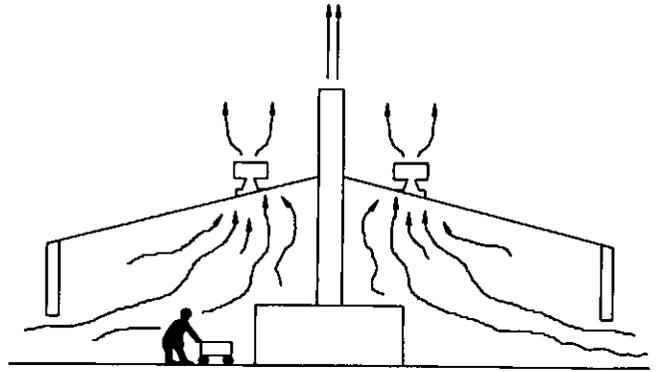


FIGURA 2-8 VENTILACIÓN NATURAL

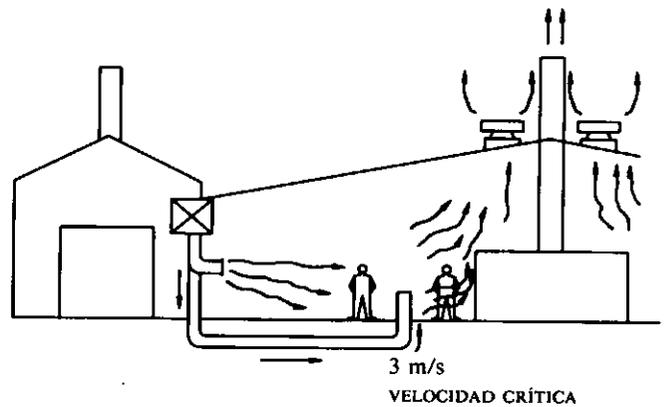


FIGURA 2-9 VENTILACIÓN MECÁNICA

TABLA 2-3 Velocidad del aire aceptablemente confortable para los trabajadores

	Velocidad del aire, m/s*
Exposición continua	
Espacios con aire acondicionado	0,25-0,35
Puestos de trabajo fijos, con ventilación general o enfriamiento localizado:	
Sentado	0,35-0,65
De pie	0,5-1
Exposición intermitente, enfriamiento localizado o zonas de reposo	
Carga de trabajo y actividad ligeras	5-10
Carga de trabajo y actividad moderadas	10-15
Carga de trabajo y actividad elevadas	15-20

* Nota: Velocidades superiores a 5 m/s pueden distorsionar la eficacia de las extracciones localizadas próximas. Debe ponerse atención en dirigir adecuadamente el aire a fin de evitar dichas interferencias.

evaporación. Cuando la temperatura seca es superior a 35-38 °C, un aumento de la velocidad del aire puede aumen-

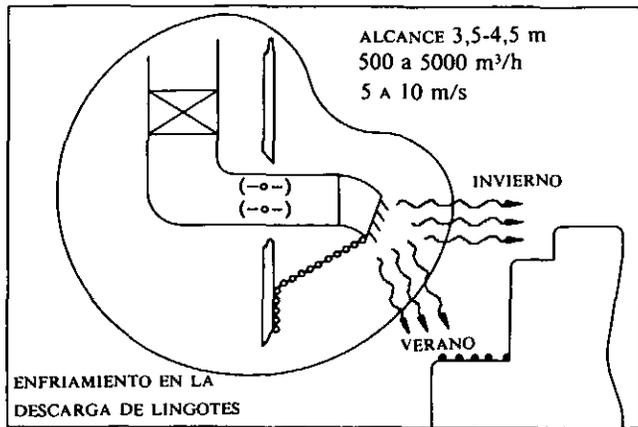


FIGURA 2-10 ENFRIAMIENTO LOCALIZADO CON CONTROL DE CAUDAL Y DIRECCIÓN

tar la carga térmica por convección; si la temperatura húmeda es también elevada, es posible que la pérdida de calor por evaporación no se incremente proporcionalmente, con lo que se incrementaría la carga térmica global del trabajador. Muchos proyectistas consideran que, para lograr una mejoría efectiva, la temperatura del aire de ventilación no debe ser superior a 27 °C.

La experiencia muestra que los valores de velocidad de aire de la Tabla 2-3 pueden ser utilizados con éxito para el enfriamiento directo de los trabajadores. Para un resultado óptimo debe preverse un control direccional del aire aportado (Fig. 2-10), a fin de ajustar la temperatura del mismo a las variaciones diarias y estacionales de la carga térmica.

2.17 CONTROL DEL CALOR RADIANTE

Puesto que el calor radiante es una forma de energía térmica que se transmite sin necesidad de medio material, los métodos descritos hasta ahora no son eficaces para su control. Uno de los medios para reducir la radiación consiste en pintar o recubrir la superficie de los objetos calientes con materiales de baja emisividad.

En el caso de masas fundidas de metal o vidrio, que no pueden ser controladas directamente, pueden emplearse pantallas que aíslen de la radiación. Estas pantallas pueden consistir en placas metálicas, mallas u otros materiales interpuestos entre la fuente de calor radiante y los trabajadores. El apantallamiento reduce la carga de calor radiante reflejando la mayor parte de la radiación incidente hacia puntos alejados del trabajador y reemitiendo hacia él sólo una pequeña parte del calor radiante absorbido. La Tabla 2-4 indica el porcentaje de reflexión y emisión de calor radiante de algunos materiales empleados usualmente en apantallamientos. El empleo adicional de ventilación reducirá la carga térmica sensible, pero tendrá poco o ningún efecto sobre la carga térmica por radiación. Ver la Figura 2-11.

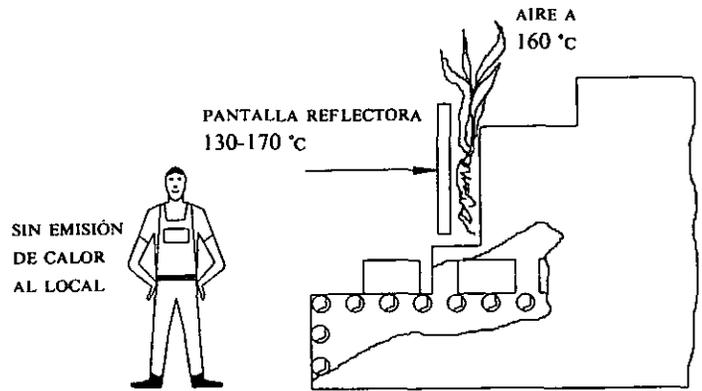


FIGURA 2-11 APANTALLAMIENTO DEL CALOR

2.18 PRENDAS DE PROTECCIÓN PARA EXPOSICIONES CORTAS

Para exposiciones cortas a temperaturas muy elevadas pueden emplearse trajes aluminizados u otras ropas protectoras. Estos trajes reducen el flujo de calor que llega al cuerpo pero no permiten que éste elimine el calor; por ello sólo pueden tolerarse exposiciones cortas.

2.19 INTERCAMBIADORES DE CALOR RESPIRATORIOS

Para exposiciones breves al aire de buena calidad pero alta temperatura, existen máscaras respiratorias equipadas con un intercambiador de calor. Este dispositivo hace posible que el aire que se respira se encuentre a una temperatura tolerable, pero no elimina los contaminantes ni aporta oxígeno en atmósferas pobres en el mismo.

TABLA 2-4 Eficacias relativas de materiales empleados usualmente para apantallamiento

Material de la pantalla	% del calor radiante incidente que es reflejado	Emisión de calor radiante desde la superficie
Aluminio, brillante	95	5
Zinc, brillante	90	10
Aluminio, oxidado	84	16
Zinc, oxidado	73	27
Pintura de aluminio, nueva y limpia	65	35
Pintura de aluminio, sin brillo, sucia	40	60
Plancha de acero, pulida	45	55
Plancha de acero, oxidada	35	65
Ladrillo	20	80
Lacado, negro	10	90
Lacado, blanco	10	90
Plancha de amianto	6	94
Lacado, negro mate	3	97

2.20 TRAJES REFRIGERADOS

Cuando los trabajadores deben desplazarse, es posible inyectar aire en un traje especial que constituye una especie de "cabina portátil". Pueden emplearse los métodos usuales de refrigeración si la conducción que lleva el aire al traje está aislada. Puede resultar difícil, sin embargo, que el aire llegue a una temperatura suficientemente baja. Si se dispone de aire comprimido es posible aportar aire frío mediante un tubo vortex instalado en el traje. En el mercado existen trajes de este tipo.

2.21 CABINAS

En ciertas industrias muy calurosas, como los altos hornos, carece de sentido intentar controlar el calor emitido por el proceso. Si las operaciones son tales que admiten el control remoto, la mejor solución es emplear una cabina con aire acondicionado para mantener a los trabajadores razonablemente confortables en un ambiente que, de otra forma, es intolerable.

2.22 AISLAMIENTO

Si la fuente de calor es una superficie que produce convección, su aislamiento puede reducir esta forma de transmisión térmica. El aislamiento, por sí mismo, no será usualmente suficiente si la temperatura es muy elevada o el contenido de calor es alto.

REFERENCIAS

- 2.1 U.S. Department of Health, Education and Welfare, PHS, CDC, NIOSH: *The Industrial Environment - Its Evaluation and Control*, 1973.
- 2.2 Air Force AFOSH Standard 161.2.
- 2.3 National Board of Fire Underwriters: Pamphlet # 86, *Standard for Class A Ovens and Furnaces*.
- 2.4 B. Feiner and L. Kingsley: "Ventilation of Industrial Ovens." *Air Conditioning, Heating and Ventilating*, diciembre 1956, pp. 82-89.
- 2.5 U.S. Department of Health and Human Services, PHS, CDC, NIOSH: *Occupational Exposure to Hot Environments*. Revised Criteria, 1986.

Capítulo 3

CAMPANAS DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA

3.1	INTRODUCCIÓN	3-2	3.6	VELOCIDAD MÍNIMA EN EL CONDUCTO	3-18
3.2	PROPIEDADES DE LOS CONTAMINANTES	3-2	3.7	CAMPANAS CON REQUERIMIENTOS ESPECIALES	3-18
3.2.1	Efectos de inercia	3-2	3.7.1	Ventilación de procesos radiactivos o de alta toxicidad	3-18
3.2.2	Efectos de la densidad	3-2	3.7.2	Operaciones de laboratorio	3-19
3.3	TIPOS DE CAMPANAS	3-2	3.8	VENTILACIÓN DE IMPULSIÓN-EXTRACCIÓN	3-19
3.3.1	Cabinas	3-2	3.8.1	Soplado de impulsión	3-19
3.3.2	Campanas exteriores	3-2	3.8.2	Campana de aspiración	3-20
3.4	PARÁMETROS DEL DISEÑO DE CAMPANAS	3-2	3.8.3	Diseño de sistemas de impulsión-extracción	3-20
3.4.1	Velocidad de captura	3-6	3.9	PROCESOS A TEMPERATURA ELEVADA	3-20
3.4.2	Determinación del caudal de aspiración	3-6	3.9.1	Campanas circulares elevadas	3-20
3.4.3	Efectos de pestañas y deflectores	3-7	3.9.2	Campanas rectangulares elevadas	3-21
3.4.4	Distribución del aire	3-8	3.9.3	Campanas a baja altura	3-21
3.4.5	Campanas circulares y rectangulares ..	3-15	REFERENCIAS		3-21
3.5	PÉRDIDA DE CARGA EN LAS CAMPANAS	3-15			
3.5.1	Campanas simples	3-15			
3.5.2	Campanas compuestas	3-18			

3.1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas de extracción localizada se diseñan para captar y eliminar los contaminantes antes de que se difundan al ambiente general del local de trabajo. La campana es el punto de entrada al sistema de extracción, y le daremos dicho nombre independientemente de cuál sea su configuración física. La función esencial de la campana es crear un flujo de aire que capture eficazmente el contaminante y lo transporte hacia la campana. En la Figura 3-1 se indica la nomenclatura asociada a las campanas de extracción.

3.2 PROPIEDADES DE LOS CONTAMINANTES

3.2.1 Efectos de inercia: Los gases, vapores y humos no presentan una inercia significativa. Lo mismo ocurre con las pequeñas partículas de polvo, de diámetro igual o inferior a 20 micras (que incluye las partículas respirables). Este tipo de materiales se mueve si lo hace el aire que les rodea. En este caso, la campana debe generar una velocidad de captura suficiente para controlar el movimiento del aire cargado de contaminante y, al mismo tiempo, vencer el efecto de las corrientes de aire producidas en el local por otras causas, como movimiento de personas, vehículos, etc.

3.2.2 Efectos de la densidad: Con frecuencia la ubicación de las campanas se decide, erróneamente, en base a la suposición de que el contaminante es "más pesado" o "más ligero" que el aire. En la mayor parte de las aplicaciones relacionadas con los riesgos para la salud, este criterio es de poco valor (véase la Figura 3-2). Las partículas de polvo, humos, vapores y gases que pueden representar un riesgo para la salud se comportan como si "fuera aire", no moviéndose apreciablemente hacia arriba o hacia abajo a causa de su densidad propia, sino exclusivamente siguiendo las corrientes de aire. El movimiento habitual del aire asegura una dispersión uniforme de los contaminantes, salvo en operaciones con gran desprendimiento de calor o de frío, o cuando un contaminante es generado en gran cantidad y se logra controlarlo antes de que se disperse.

3.3 TIPOS DE CAMPANAS

Aunque las campanas se construyen en una amplia variedad de configuraciones, es posible clasificarlas en dos grandes familias: cabinas y campanas exteriores. El tipo de campana a emplear dependerá de las características físicas del equipo o instalación, del mecanismo de generación de contaminante y de la posición relativa del equipo y el trabajador (véase la Figura 3-3).

3.3.1 Cabinas: Las cabinas son campanas que encierran total o parcialmente el proceso o el punto de generación del contaminante. Una cabina completa sería, por ejemplo, una cabina de laboratorio con manoplas, donde no existen ape-

nas aberturas. Una cabina parcial sería una campana de laboratorio o la clásica cabina de pintura. Una corriente de aire que penetre en la cabina a través de su abertura retendrá el contaminante en el interior de la misma, impidiendo que llegue al ambiente de trabajo.

La cabina es el tipo de campana a elegir siempre que la configuración y funcionamiento del proceso lo permitan. Si no es posible un encerramiento completo debe emplearse un encerramiento parcial en la mayor medida posible (ver la Figura 3-3).

3.3.2 Campanas exteriores: Denominamos campanas exteriores a las que se encuentran situadas adyacentes al foco de contaminante pero sin encerrarlo, como por ejemplo las rendijas a lo largo de la boca de una cuba o una abertura rectangular sobre una mesa de soldadura.

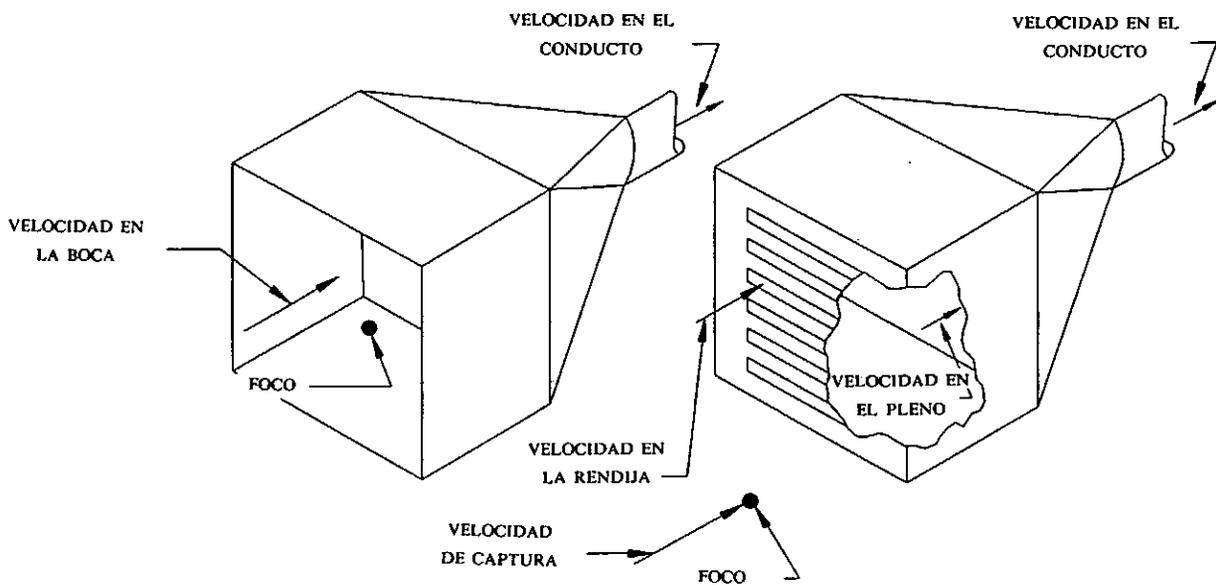
Quando el contaminante es un gas, vapor o polvo fino, y no es emitido con una velocidad significativa, la orientación de la campana no es crítica. Sin embargo, si el contaminante incluye partículas grandes que son emitidas con una velocidad apreciable, la campana debe colocarse en la dirección de dicha emisión. Un ejemplo sería una operación de desbarbado (ver VS-411-campana para amoladora).

Si el proceso emite aire contaminado muy caliente, éste ascenderá por efecto de su menor densidad. El empleo de una campana exterior situada lateralmente a la corriente de aire ascendente puede no producir una captación adecuada a causa de que la corriente de aire inducida por la campana sea insuficiente para contrarrestar el flujo de aire de origen térmico. Esto será especialmente cierto para los procesos a muy alta temperatura, como los hornos de fusión. En tales casos puede ser indicado el empleo de una campana colocada en la parte superior del proceso (ver el apartado 3.9).

Una variante de campana exterior es el sistema de impulsión-extracción (apartado 3.8). En este caso se impulsa un chorro de aire a través del foco contaminante, hacia una campana de extracción. El contaminante es controlado, esencialmente, por el chorro, mientras la función de la campana es "recibir" el chorro y aspirarlo. La ventaja esencial del sistema de impulsión-extracción es que el chorro impulsado puede desplazarse de forma controlada a través de una distancia mucho más grande de lo que es posible controlar el flujo de aspiración de una campana. El sistema de impulsión-extracción se utiliza con éxito para ciertas operaciones de tratamiento de superficies, donde se emplean cubas abiertas, pero es posible emplearlo en otros muchos procesos. Sin embargo, puede suceder que el chorro de impulsión aumente la exposición de los trabajadores si no se diseña, instala o utiliza debidamente. Debe ponerse un especial cuidado en su diseño, ejecución y empleo.

3.4 PARÁMETROS DEL DISEÑO DE CAMPANAS

La captación y control de los contaminantes se efectúa por el flujo de aire producido por la campana. El movimiento del aire hacia la abertura de la misma ha de ser lo



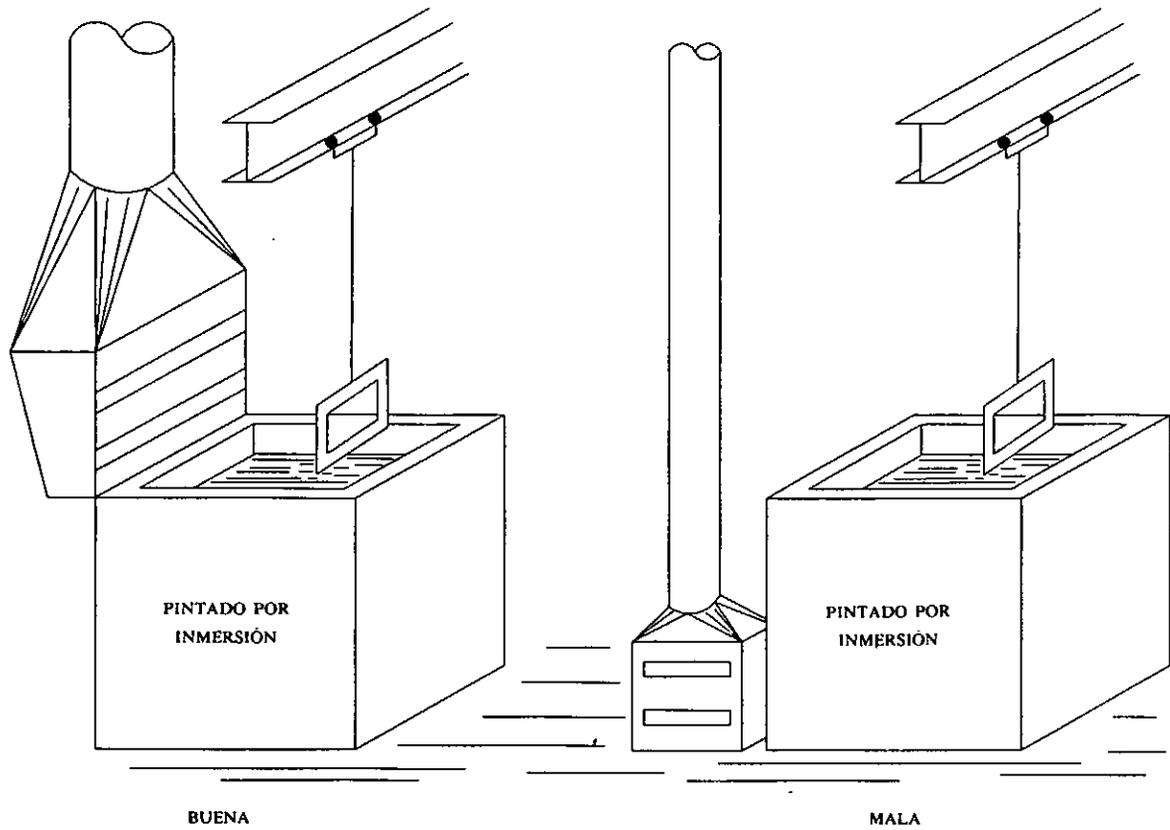
VELOCIDAD DE CAPTURA-	VELOCIDAD DEL AIRE EN UN PUNTO CUALQUIERA FRENTE A LA BOCA DE LA CAMPANA, QUE ES NECESARIA PARA SUPERAR LAS CORRIENTES DE AIRE OPUESTAS A LA CAPTACIÓN Y CAPTURAR EL CONTAMINANTE EN ESE PUNTO DIRIGIÉNDOLO HACIA LA CAMPANA.
VELOCIDAD EN LA BOCA-	VELOCIDAD EN LA ABERTURA DE LA CAMPANA.
VELOCIDAD EN LA RENDIJA-	VELOCIDAD DE AIRE EN EL PLENO, QUE PARA UNA BUENA DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO EN LAS RENDIJAS NO DEBE SER SUPERIOR A LA MITAD DE LA VELOCIDAD EN ÉSTAS.
VELOCIDAD EN EL PLENO-	VELOCIDAD EN LAS ABERTURAS DE UNA CAMPANA DEL TIPO RENDIJA. SU FUNCIÓN PRIMARIA ES LA DISTRIBUCIÓN DEL AIRE EN LA BOCA DE LA CAMPANA.
VELOCIDAD EN EL CONDUCTO-	VELOCIDAD DEL AIRE EN LA SECCIÓN DEL CONDUCTO. CUANDO EN LA CORRIENTE DEL AIRE EXISTEN PARTÍCULAS SÓLIDAS, LA VELOCIDAD EN EL CONDUCTO DEBE SER IGUAL O SUPERIOR A LA VELOCIDAD MÍNIMA REQUERIDA PARA QUE EL AIRE LAS ARRASTRE.

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

*CAMPANAS DE EXTRACCIÓN:
NOMENCLATURA*

FECHA 1-88

FIGURA 3-1



UBICACIÓN DE LA CAMPANA

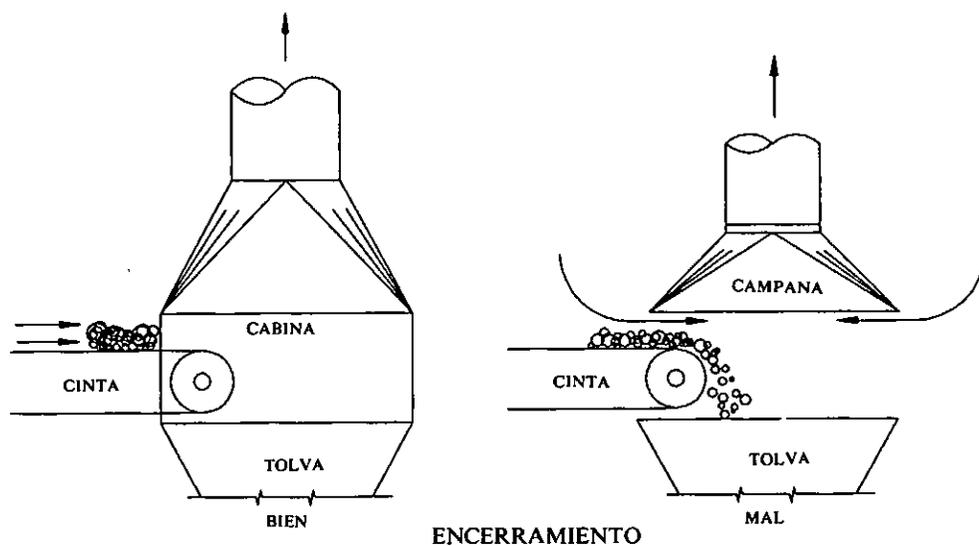
LOS VAPORES DE DISOLVENTE EN CONCENTRACIONES PELIGROSAS PARA LA SALUD NO SON APRECIABLEMENTE MÁS PESADOS QUE EL AIRE. LA EXTRACCIÓN A NIVEL DEL SUELO PROPORCIONA SÓLO PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

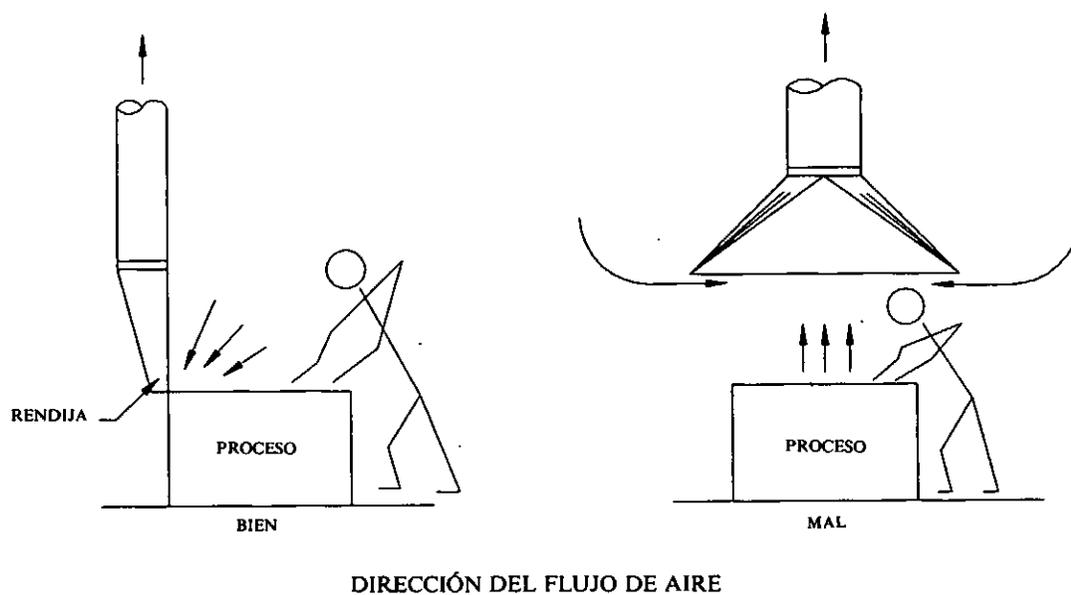
EFFECTOS DE LA DENSIDAD

FECHA 1-88

FIGURA 3-2



ENCIERRE LA OPERACIÓN TANTO COMO SEA POSIBLE. CUANTO MÁS ENCERRADO ESTÉ EL FOCO, MENOS AIRE ES NECESARIO PARA CONTROLARLO



SITÚE LA CAMPANA DE FORMA QUE EL CONTAMINANTE SEA ALEJADO DE LA ZONA RESPIRATORIA DEL TRABAJADOR

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

*ENCERRAMIENTO E INTERFASE
TRABAJADOR/EQUIPO*

FECHA 1-88

FIGURA 3-3

bastante intenso como para mantener controlado al contaminante hasta que alcanza la campana. Los movimientos del aire generados por otras causas pueden distorsionar el flujo inducido por la campana y requerir caudales de aire superiores a fin de superar dichas distorsiones. La eliminación de las posibles causas de esos movimientos de aire es un factor importante para lograr un control efectivo del contaminante sin tener que recurrir a caudales de aspiración excesivos e incurrir en los elevados costes asociados a ellos. Entre los orígenes importantes de movimiento de aire se encuentran

- * Los procesos a alta temperatura o las operaciones que generan calor, que dan lugar a corrientes de aire de origen térmico.
- * Movimiento de la maquinaria, como muelas de desbarbado, cintas transportadoras, etc.
- * Movimiento de materiales, como en la descarga de volquetes o el llenado de recipientes.
- * Movimiento del operario.
- * Corrientes de aire en el local (que se consideran habitualmente de 0,25 m/s pero pueden ser mucho mayores).
- * Movimiento rápido del aire producido por equipos de enfriamiento o calentamiento localizado.

La forma de la campana, su tamaño, localización y caudal de aire son las principales variables de diseño.

3.4.1 Velocidad de captura: Se denomina velocidad de captura a la velocidad mínima del aire, producida por la campana, que es necesaria para capturar y dirigir hacia ella el contaminante. La velocidad de aire lograda es función del caudal de aire aspirado y de la forma de la campana.

Las campanas que aspiran caudales de aire excepcionalmente elevados (por ejemplo, las grandes campanas laterales empleadas para el desmoldeo en las fundiciones) pueden requerir caudales de aire menores que los que se deducen de las velocidades de captura recomendadas para campanas pequeñas. Este fenómeno puede atribuirse a:

- * La presencia de grandes masas de aire en movimiento en dirección a la campana.
- * El hecho de que el contaminante permanezca bajo la influencia de la campana durante un tiempo mayor que en el caso de campanas pequeñas.
- * El hecho de que un caudal elevado proporciona una dilución considerable, tal como se ha expuesto anteriormente.

La Tabla 3-1 presenta datos sobre velocidades de captura. En el Capítulo 10 se presenta información adicional.

3.4.2 Determinación del caudal de aspiración: El aire se mueve hacia la boca de aspiración de una campana desde todas direcciones, salvo por las limitaciones fijadas por la existencia de pantallas deflectoras, paredes y otros impedimentos físicos. Para una cabina, la velocidad de captura en su(s) abertura(s) es el cociente de dividir el caudal de extracción por el área de la(s) abertura(s). La velocidad de captura en cualquier punto exterior a la campana será la que corresponda a la superficie de igual velocidad que pasa por ese punto para el caudal de aspiración empleado.

Por ejemplo, para un sumidero puntual, las superficies de igual velocidad serán esferas centradas en el punto de succión (Figura 3-4).

El área de una esfera vale $4\pi X^2$. Empleando $V = Q/A$ (ecuación 1.3), la velocidad en un punto X de la superficie

TABLA 3.1 Valores recomendados para la velocidad de captura^(3.1, 3.2)

Condiciones de dispersión del contaminante	Ejemplo	Velocidad de captura, m/s
Liberado prácticamente sin velocidad en aire tranquilo.	Evaporación desde depósitos; desengrase, etc.	0,25-0,5
Liberado a baja velocidad en aire moderadamente tranquilo.	Cabinas de pintura; llenado intermitente de recipientes; transferencia entre cintas transportadoras a baja velocidad; soldadura; recubrimientos superficiales; pasivado.	0,5-1
Generación activa en una zona de rápido movimiento de aire.	Cabinas de pintura poco profundas; llenado de barriles; carga de cintas transportadoras; machacadoras.	1-2,5
Liberado con alta velocidad inicial en una zona de movimiento muy rápido del aire.	Desbarbado; chorreado abrasivo; desmoldeo en fundiciones.	2,5-10

En cada una de las condiciones citadas se indica un margen para los valores de la velocidad de captura. La selección del valor adecuado depende de los siguientes factores:

Límite inferior

1. Corrientes de aire en el local mínimas o favorables a la captura del contaminante.
2. Contaminantes de baja toxicidad o únicamente molestos.
3. Producción de contaminantes baja o intermitente.
4. Campana de gran tamaño o con una gran masa de aire en movimiento.

Límite superior

1. Corrientes de aire distorsionantes en el local.
2. Contaminantes de alta toxicidad.
3. Gran producción, uso continuo.
4. Campana pequeña, únicamente control local.

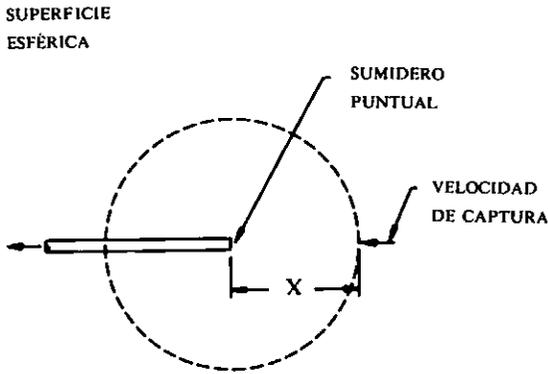


FIGURA 3-4 SUMIDERO PUNTUAL

de la esfera viene dada por:

$$Q = V (4\pi X^2) = 12,57 VX^2 \quad [3.1]$$

donde:

- Q = caudal de aspiración, m³/s
- V = velocidad a la distancia, X, m/s
- A = 4πX² = área de una esfera, m²
- X = radio de la esfera, m

Del mismo modo, si se considera un sumidero lineal las superficies de igual velocidad serán cilindros, y el caudal de aspiración (despreciando el efecto de los extremos) vendrá dado por:

$$Q = V(2\pi XL) = 6,28 VXL \quad [3.2]$$

donde:

- L = longitud del sumidero, m

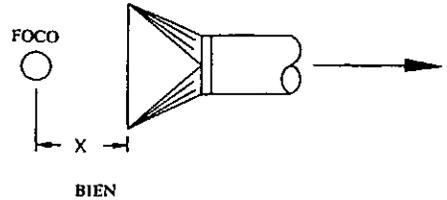
Las ecuaciones 3.1 y 3.2 muestran la relación teórica existente entre distancia, caudal y velocidad de captura, relación que puede emplearse como primera aproximación. En la práctica real, sin embargo, las campanas de aspiración no son puntos ni líneas, sino que poseen dimensiones físicas que hacen que las superficies de igual velocidad no se ajusten a formas geométricas simples. Los perfiles de velocidad han sido determinados experimentalmente. El caudal (3.3) de aspiración para campanas de boca circular o rectangular no muy distinta de un cuadrado, viene dado, aproximadamente, por la expresión:

$$Q = V(10X^2 + A) \quad [3.3]$$

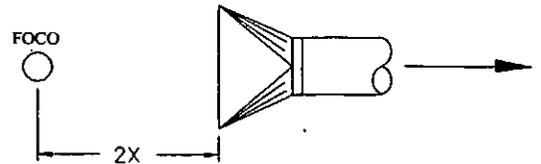
donde:

- Q = caudal de aire, m³/s
- V = velocidad del aire en el eje de la campana a una distancia X de la boca, m/s
- X = distancia a la boca de la campana, m

SE REQUIEREN 1500 m³/h



SE REQUIEREN 6000 m³/h



UBICACIÓN

COLOQUE LA CAMPANA TAN CERCA DEL FOCO DE CONTAMINANTE COMO SEA POSIBLE. EL CAUDAL NECESARIO AUMENTA CON EL CUADRADO DE LA DISTANCIA AL FOCO

FIGURA 3-5 VARIACIÓN DEL CAUDAL CON LA DISTANCIA A LA CAMPANA

- A = área de la boca de la campana, m²
- D = diámetro de la boca en campanas circulares o lado en las aproximadamente cuadradas, m

Cuando el valor de la distancia X es superior a 1,5D, el caudal se incrementa con la distancia en menor medida que la indicada por la ecuación [3.3].

Se deduce de la ecuación [3.3] que la velocidad disminuye inversamente al cuadrado de la distancia a la campana (véase la Figura 3-5).

Las Figuras 3-6 y 3-7 muestran las superficies de igual velocidad y las líneas de flujo para campanas de boca circular con y sin pestaña, respectivamente. En cualquier punto de una superficie de igual velocidad, la velocidad del aire será la misma. Por ello, las líneas de flujo son perpendiculares a las superficies de igual velocidad. (La tangente a una línea de flujo en cualquier punto indica la dirección que tendrá el aire en ese punto.)

En las Figuras 3-8, 3-9 y 3-10 se indican las ecuaciones que relacionan el caudal y la velocidad de captura para distintas configuraciones de campanas.

3.4.3 Efecto de pestañas y deflectores: Una pestaña es una superficie, situada en la propia boca de la campana y paralela a la misma, que representa una barrera al flujo indeseado que procede de la zona posterior de la campana. Un deflector es una superficie que impide el flujo del aire procedente de ciertas direcciones situadas enfrente o lateralmente a la campana.

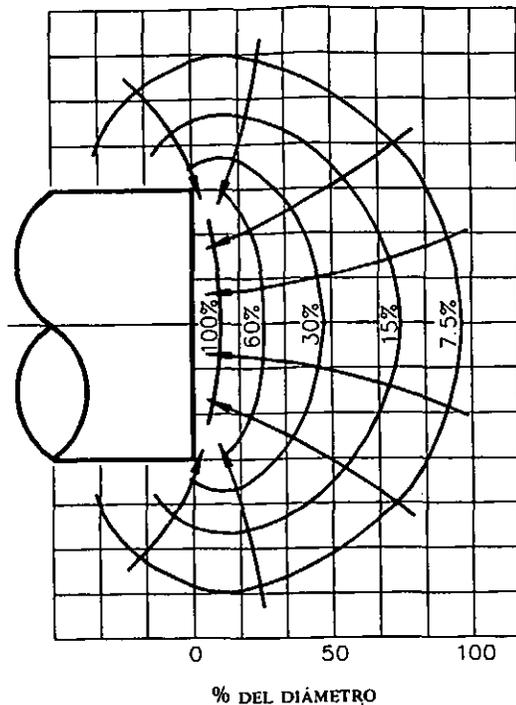


FIGURA 3-6 PERFILES DE VELOCIDAD - ABERTURA CIRCULAR SIMPLE - % DE LA VELOCIDAD EN LA BOCA

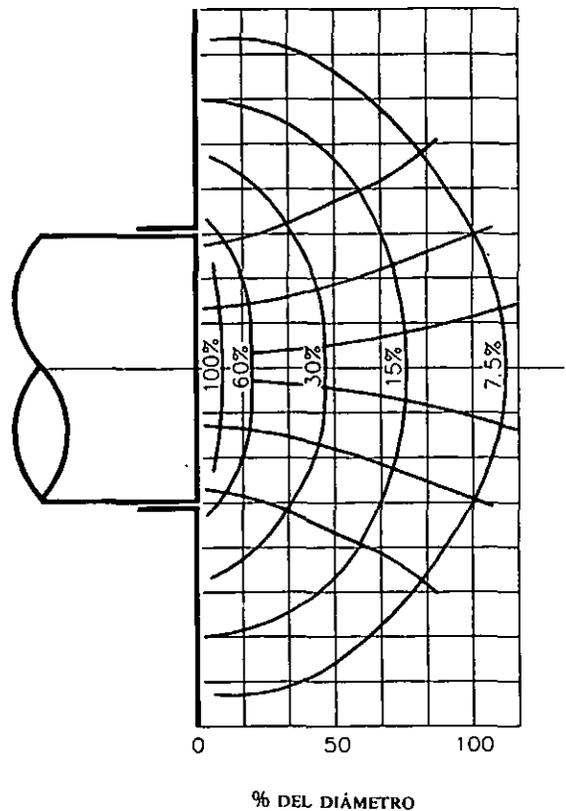


FIGURA 3-7 PERFILES DE VELOCIDAD - ABERTURA CIRCULAR CON PESTAÑA - % DE LA VELOCIDAD EN LA BOCA

Si la boca de aspiración estuviera situada en un plano, el área a través de la cual fluye el aire se reduciría en un 50 %, y por tanto disminuiría el caudal necesario para conseguir la misma velocidad. Una pestaña situada en la boca de una campana tiene un efecto similar, disminuyendo el caudal de aspiración necesario para conseguir una velocidad de captura determinada. En la práctica, la utilización de pestañas puede disminuir el caudal necesario (o incrementar la velocidad) en aproximadamente un 25 % (ver las Figuras 3-6, 3-7 y 3-11). Para la mayor parte de las aplicaciones la anchura de la pestaña debería ser igual a la raíz cuadrada del área de la boca de la campana (\sqrt{A}).

Los deflectores pueden producir un efecto similar. La magnitud del resultado dependerá del tamaño y ubicación del deflector.

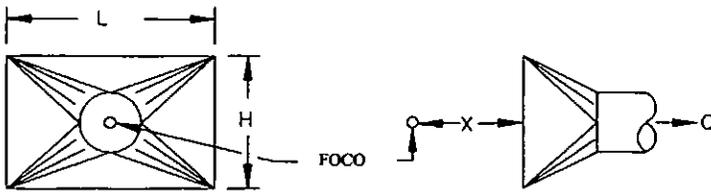
La figura 3-11 muestra varios tipos de campanas e indica las ecuaciones caudal/velocidad aplicables.

3.4.4 Distribución del aire: Las rendijas se definen como campanas cuya boca posee una relación anchura/longitud igual o inferior a 0,2. Las rendijas se usan habitualmente para conseguir un flujo de extracción uniforme y una velocidad de captura adecuada en una superficie de generación de contaminante, por ejemplo una cuba abierta o en la boca de una campana de gran tamaño, como en ciertos diseños de aspiración lateral. La función de la rendija es únicamente proporcionar una distribución uniforme del

aire. La velocidad en la rendija no contribuye, en sí misma, a la velocidad de captura. Una velocidad de rendija elevada genera simplemente una alta pérdida de carga. Obsérvese que la ecuación de la velocidad de captura (Figura 3-11) muestra que ésta depende del caudal de aspiración y de la longitud de la rendija, pero no de la velocidad en ella.

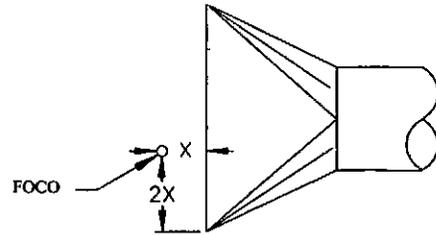
Las campanas que denominamos rendijas constan normalmente de una abertura estrecha y un pleno. La uniformidad de la distribución del aire a lo largo de la rendija se logra dimensionando adecuadamente la anchura de la rendija y la profundidad del pleno, de manera que la velocidad del aire en la rendija sea muy superior a la del pleno. En el pleno pueden emplearse aletas directrices, pero en la mayor parte de los sistemas industriales de extracción las aletas se ven sometidas a los efectos de la corrosión y la erosión y constituyen además un punto donde se acumula suciedad. Pueden emplearse rendijas ajustables, pero usualmente se estropean y desajustan. El diseño más práctico es el de rendija fija y pleno sin obstrucciones internas. El diseño de rendija y pleno es tal que la pérdida de carga en la rendija es alta en comparación con la pérdida de carga en el pleno. Por lo tanto, todos los puntos de la rendija están sujetos a una succión esencialmente idéntica y por ello la velocidad es prácticamente uniforme.

No existe un método directo para calcular la pérdida de



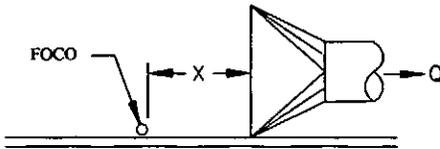
CAMPANA LIBREMENTE SUSPENDIDA

$$Q = V(10X^2 + A)$$



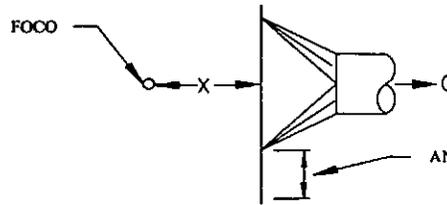
CAMPANA GRANDE

CAMPANA GRANDE, X PEQUEÑO - LA DISTANCIA X, MEDIDA PERPENDICULARMENTE A LA BOCA DE LA CAMPANA, LA DISTANCIA AL BORDE DE LA CAMPANA NO HA DE SER INFERIOR A 2 X



CAMPANA APOYADA SOBRE UNA MESA O EL SUELO

$$Q = V(5X^2 + A)$$



CAMPANA CON PESTAÑA ANCHA

$$Q = V 0.75(10X^2 + A)$$

ANCHURA DE LA PESTAÑA $\geq \sqrt{A}$

CAMPANAS SUSPENDIDAS

(CAMPANAS PEQUEÑAS DE ASPIRACIÓN LATERAL)

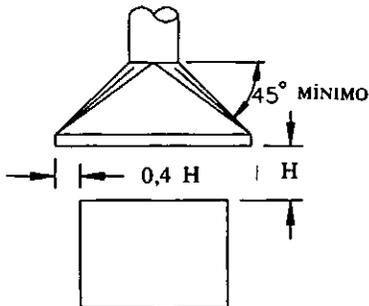
Q = CAUDAL DE ASPIRACIÓN REQUERIDO, m³/s.

X = DISTANCIA DESDE LA BOCA DE LA CAMPANA HASTA EL FONDO MÁS ALEJADO DE LIBERACIÓN DEL CONTAMINANTE, m.

A = ÁREA DE LA BOCA DE LA CAMPANA, m².

V = VELOCIDAD DE CAPTURA A DISTANCIA, m/s.

NOTA: EL CAUDAL DE ASPIRACIÓN DEBE INCREMENTARSE PROPORCIONALMENTE AL CUADRADO DE LA DISTANCIA A LA CAMPANA. EL APANTALLAMIENTO MEDIANTE PESTAÑAS O COLOCANDO LA CAMPANA SOBRE UNA MESA, EL SUELO, ETC. TIENE UN EFECTO BENEFICIOSO.



CAMPANA ELEVADA

$$Q = 1,4 PHV \quad (P = \text{PERÍMETRO DE LA CUBA, m})$$

NO RECOMENDADO SI LOS TRABAJADORES DEBEN INCLINARSE SOBRE EL FOCO. V VARÍA ENTRE 0,25 Y 2,5 m/s EN FUNCIÓN DE LAS CORRIENTES DE AIRE TRANSVERSALES.

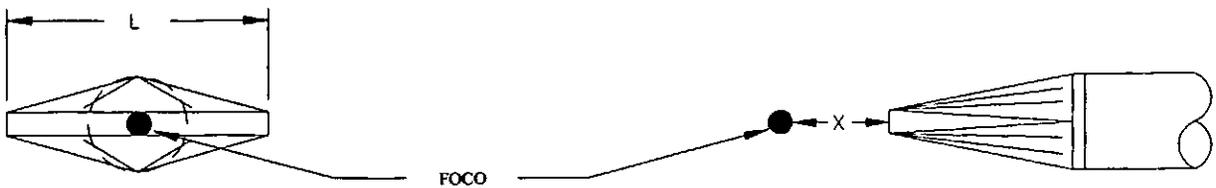
ES RECOMENDABLE INSTALAR PANTALLAS LATERALES EN DOS O TRES LADOS PARA CREAR UNA CABINA O SEMICABINA

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

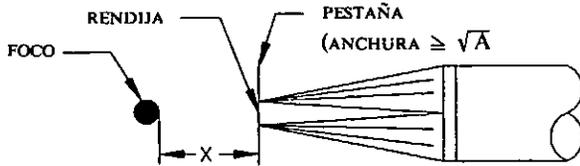
CAUDAL/VELOCIDAD DE CAPTURA

FECHA 1-88

FIGURA 3-8

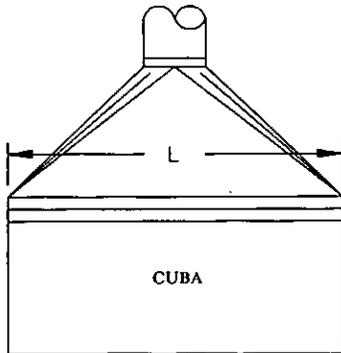


CAMPANA LIBREMENTE SUSPENDIDA
 $Q = 3,7 LVX$

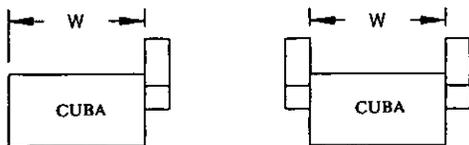
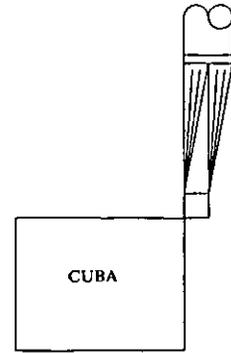


RENDIJA CON PESTAÑA
 $Q = 2,6 LVX$

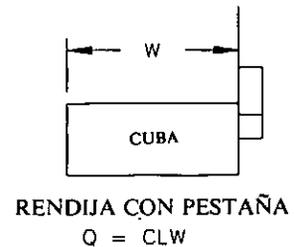
- Q = CAUDAL DE ASPIRACIÓN REQUERIDO, m³/s.
- X = DISTANCIA DESDE LA BOCA DE LA CAMPANA HASTA EL PUNTO DEL FOCO MÁS ALEJADO (NORMALMENTE MEDIDO EN LA DIRECCIÓN DEL EJE). m.
- V = VELOCIDAD DE CAPTURA A DISTANCIA X, m/s.
- L = LONGITUD DE LA CAMPANA, RENDIJA, MESA, CUBA, ETC., m.
- W = ANCHURA DE LA MESA, CUBA, ETC., m.
- A = ÁREA DE LA BOCA DE LA CAMPANA, m².



RENDIJA CON PESTAÑA
 $Q = CLW$



RENDIJA EN UNA CUBA
 $Q = CLW$
 SI HAY UNA RENDIJA EN CADA LADO,
 POR CADA UNA DEBE PASAR LA MITAD DEL CAUDAL



RENDIJA CON PESTAÑA
 $Q = CLW$

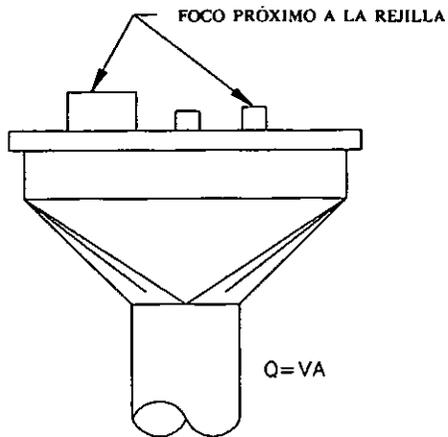
- L = LONGITUD DE LA RENDIJA, m.
- W = ANCHURA DE LA MESA O CUBA, m.
- C = CONSTANTE, VARIA DE 5 A 50.
- USUALMENTE SE ELIGE DE 15 A 25.
- LAS RENDIJAS CON PESTAÑA REQUIEREN MENOS CAUDAL. VER CAPÍTULO 10.

AMERICAN CONFERENCE
 OF GOVERNMENTAL
 INDUSTRIAL HYGIENISTS

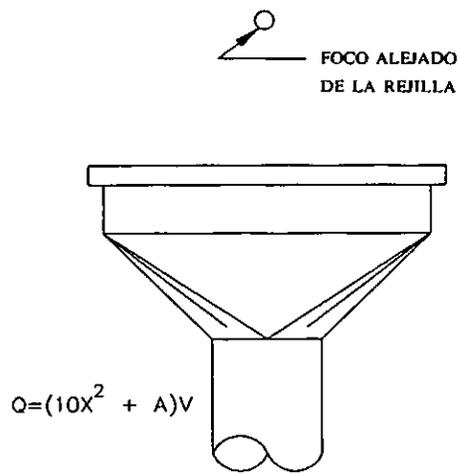
CAUDAL/VELOCIDAD DE CAPTURA

FECHA 1-88

FIGURA 3-9



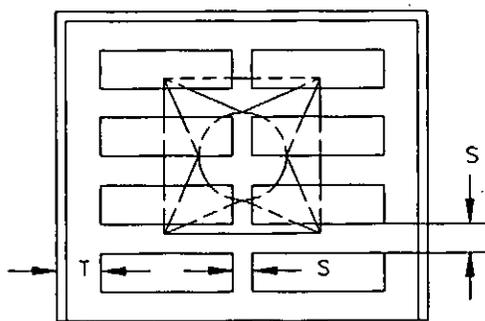
SIMILAR A UNA CABINA



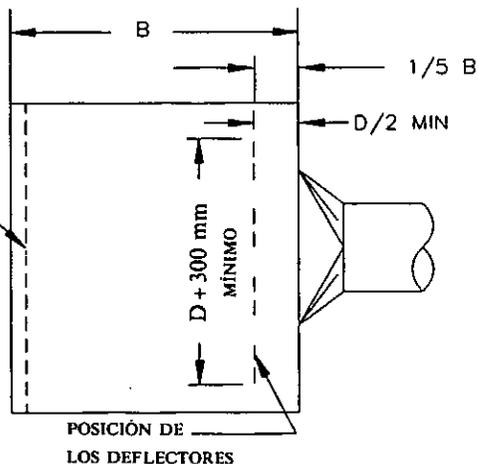
SIMILAR A UNA CAMPANA SUSPENDIDA

CAMPANAS DE FLUJO DESCENDENTE

NO RECOMENDADO PARA PROCESOS A TEMPERATURA ELEVADA O QUE PRODUCEN CALOR SI EL ÁREA DE ASPIRACIÓN ES GRANDE, VER "VELOCIDAD DE CAPTURA" EN ESTE CAPÍTULO.



DEFLECTOR INCLINADO OPCIONAL



CAMPANAS TIPO CABINA

$Q = AV$ (A = ÁREA DE LA BOCA, m²; V = VELOCIDAD EN LA BOCA, m/s.

LAS PANTALLAS SON OPCIONALES PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL AIRE; NO SON NECESARIOS SI EXISTE CORTINA DE AGUA U OTRO MEDIO DE DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO.

S VARÍA DE 10 a 20 cm, SEGÚN EL TAMAÑO DE LA CABINA.

T VARÍA DE 15 a 30 cm, SEGÚN EL TAMAÑO DE LA CABINA.

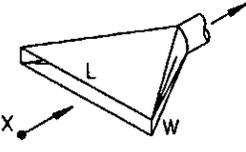
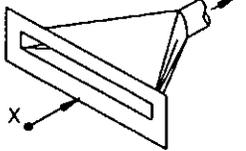
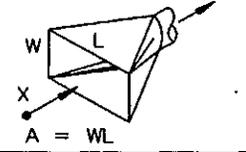
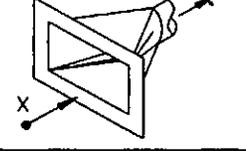
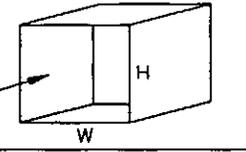
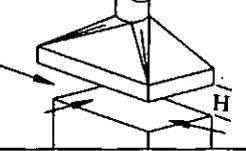
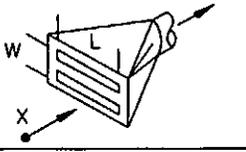
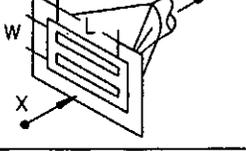
EL NÚMERO DE PANELES AUMENTA CON EL TAMAÑO DE LA CABINA.

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

CAUDAL/VELOCIDAD DE CAPTURA

FECHA 1-88

FIGURA 3-10

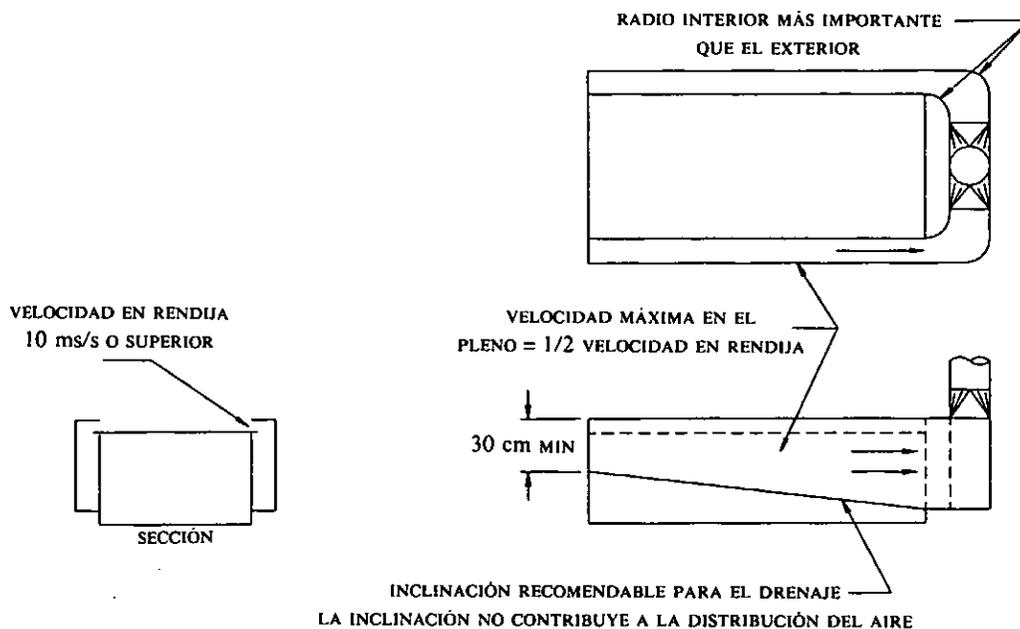
TIPO DE CAMPANA	DESCRIPCIÓN	FACTOR DE FORMA W/L	CAUDAL
	RENDIJA	0,2 ó MENOS	$Q = 3,7 LVX$
	RENDIJA CON PESTAÑA	0,2 ó MENOS	$Q = 2,6 LVX$
	CAMPANA SIMPLE	0,20 ó SUPERIOR Y CIRCULAR	$Q = V(10X^2 + A)$
	CAMPANA SIMPLE CON PESTAÑA	0,2 ó SUPERIOR Y CIRCULAR	$Q = 0,75V(10X^2 + A)$
	CABINA	ADAPTADA A LA OPERACIÓN	$Q = VA = VWH$
	CAMPANA ELEVADA	ADAPTADA A LA OPERACIÓN	$Q = 1,4 PVH$ VER VS-903 P = PERÍMETRO H = ALTURA SOBRE LA OPERACIÓN
	RENDIJA MÚLTIPLE. 2 Ó MÁS RENDIJAS	0,2 ó SUPERIOR	$Q = V(10X^2 + A)$
	RENDIJA MÚLTIPLE CON PESTAÑA. 2 Ó MÁS RENDIJAS	0,2 ó SUPERIOR	$Q = 0,75V(10X^2 + A)$

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

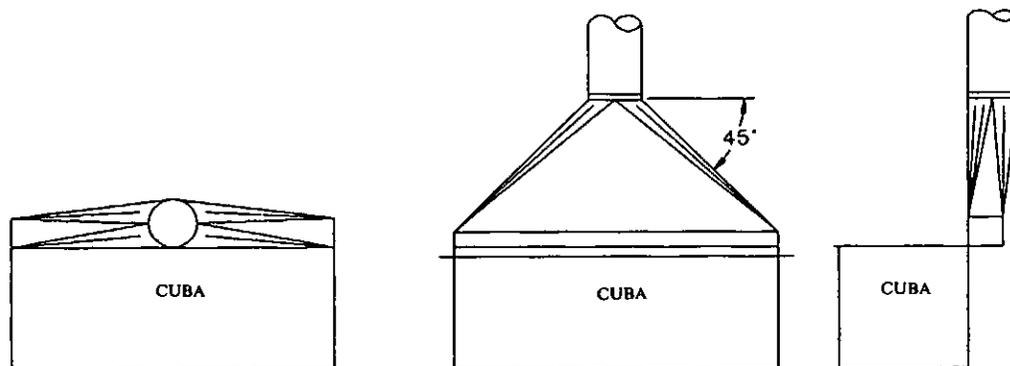
TIPOS DE CAMPANAS

FECHA 1-88

FIGURA 3-11



DISTRIBUCIÓN POR RESISTENCIA EN LA RENDIJA



DISTRIBUCIÓN EN "COLA DE PESCADO"

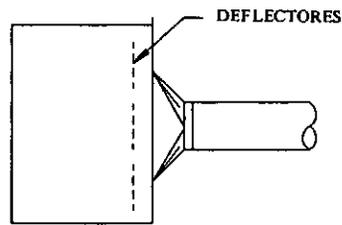
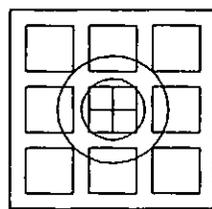
CON VELOCIDADES BAJAS EN EL PLENO Y ALTAS EN LA RENDIJA SE OBTIENE UNA BUENA DISTRIBUCIÓN.
 LAS RENDIJAS DE LONGITUD SUPERIOR A 2,5-3 mm REQUIEREN USUALMENTE VARIAS SALIDAS

AMERICAN CONFERENCE
 OF GOVERNMENTAL
 INDUSTRIAL HYGIENISTS

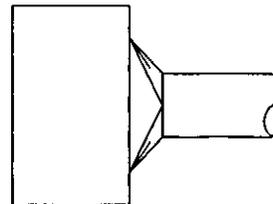
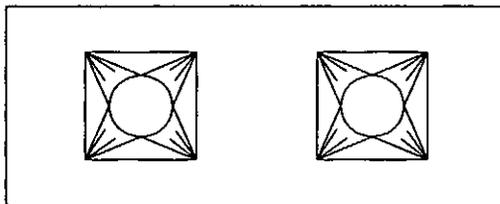
TÉCNICAS DE DISTRIBUCIÓN

FECHA 1-88

FIGURA 3-12



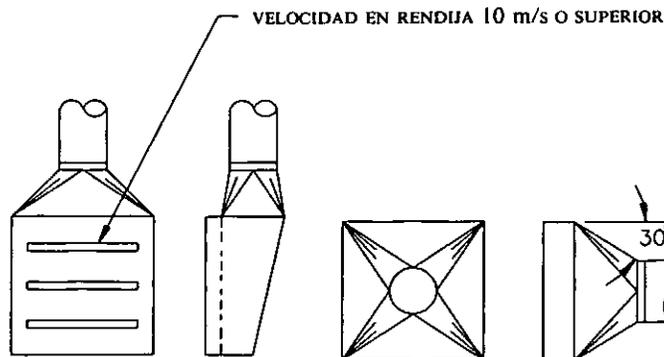
DISTRIBUCIÓN POR DEFLECTORES
VER FIG. 3-10



CABINAS LARGAS – DISTRIBUCIÓN POR CONDUCTOS
MÚLTIPLES Y ADAPTACIONES PROGRESIVAS

CABINAS

(IDÉNTICOS PRINCIPIOS SE APLICAN A LAS
CAMPANAS ELEVADAS)



DISTRIBUCIÓN POR
RENDIJA (0 DEFLECTORES)

DISTRIBUCIÓN MEDIANTE
ADAPTACIÓN PROGRESIVA

CAMPANAS SUSPENDIDAS Y DE ASPIRACIÓN LATERAL

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

TÉCNICAS DE DISTRIBUCIÓN

FECHA 1-88

FIGURA 3-13

carga para un conjunto rendija-pleno. Una aproximación muy útil, aplicable a la mayor parte de las campanas, consiste en diseñar el pleno de forma que la velocidad máxima en él sea la mitad de la velocidad en la rendija. Para la mayoría de los casos una velocidad de 10 m/s en la rendija y de 5 m/s en el pleno representa un equilibrio razonable entre la uniformidad del flujo y una pérdida de carga moderada. Los diseños en los que la conducción de extracción se encuentra en el centro del pleno permiten dimensiones de pleno mínimas, puesto que el aire se aproxima a la salida en direcciones opuestas. Cuando es posible emplear plenos grandes y profundos, como en las campanas para el desmoldeo en las fundiciones, la velocidad en la rendija puede ser tan pequeña como 5 m/s, con velocidades en el pleno de 2,5 m/s.

3.4.5 Campanas circulares y rectangulares: La distribución del aire en campanas circulares y rectangulares se logra por el flujo del aire hacia la campana, en lugar de mediante la pérdida de carga, como en las rendijas. El pleno (longitud de campana desde la boca hasta la unión de entrada al conducto), debe ser tan largo como sea posible. La pieza de unión entre la campana y el conducto debe tener un ángulo de apertura total entre 60° y 90°. Para campanas largas puede ser necesario el empleo de varias salidas. Los diseños con la salida en un extremo requieren plenos de tamaño grande, porque todo el aire debe pasar en la misma dirección.

Las Figuras 3-12 y 3-13 muestran diversas técnicas de distribución.

3.5 PÉRDIDA DE CARGA EN LA CAMPANA

Las campanas de boca ancha, con o sin pestañas, sólo tienen un factor que origine pérdida de carga significativa. A medida que el aire entra en el conducto se origina una vena contracta, y a continuación el aire se expansiona para llenar todo el conducto, convirtiendo la presión dinámica en presión estática. Es en esta zona de expansión desde la vena contracta hasta alcanzar la velocidad correspondiente al conducto, donde se origina la mayor parte de la pérdida de carga. Cuanto más pronunciada sea la vena contracta, mayores serán la pérdida de carga y la presión estática después de la campana. La pérdida de carga en la entrada de la campana (PC_c) puede por tanto expresarse en términos de un factor de pérdidas en la campana (F_c) que, multiplicado por la presión dinámica en el conducto (PD), dará la pérdida de carga en la entrada (PC_c) en mmca. La Figura 3-15 da los valores del coeficiente de pérdidas F_c para diversos tipos de campanas.

3.5.1 Campana simple: En una campana simple (Fig. 3-16), la presión estática después de la campana es igual a la suma de la presión dinámica en el conducto más la pérdida de carga en la entrada (ver el Capítulo 1, apartado

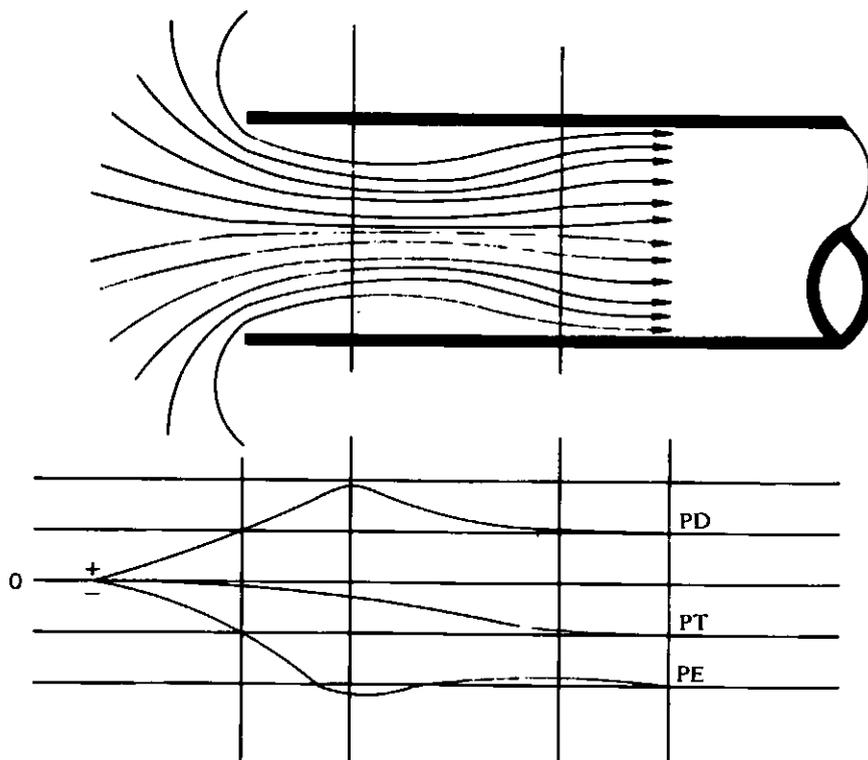
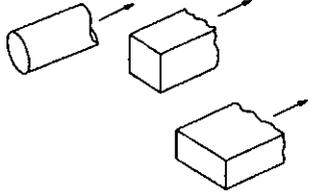
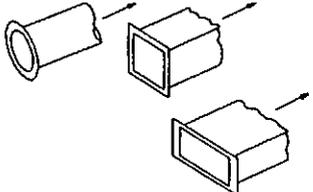
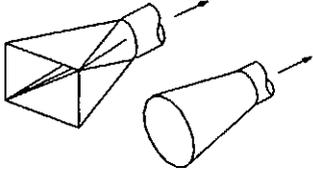
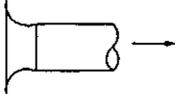
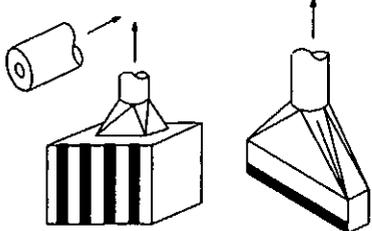
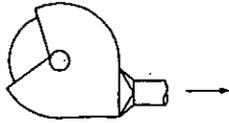


FIGURA 3-14 DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO EN LA VENA CONTRACTA

TIPO DE CAMPANA	DESCRIPCIÓN	FACTOR DE PÉRDIDAS EN LA ENTRADA A LA CAMPANA (F_c)
	ABERTURA SENCILLA	0,93
	ABERTURA SENCILLA CON PESTAÑA	0,49
	CAMPANA EN CONO O CON ADAPTADOR	VER FIGURA 5-15
	ENTRADA CAMPANA REDONDEADA	0,04
	ORIFICIO (RENDIJAS)	VER FIGURA 5-15
	CAMPANA TÍPICA PARA DESBARBADO	(SALIDA RECTA) 0,65
		(SALIDA CON ADAPTACIÓN) 0,40

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

*FACTOR DE PÉRDIDAS
EN CAMPANAS*

FECHA 7-89

FIGURA 3-15

1.6, "Aceleración del aire y pérdidas en la entrada a las campanas"). La presión dinámica representa la presión necesaria para acelerar el aire desde el reposo hasta la velocidad en el conducto; la pérdida de carga en la entrada a la campana representa la energía necesaria para superar las pérdidas a medida que el aire penetra en el conducto. Esto puede expresarse así:

$$PE_c = PD_c + h_{ec} \quad [3.4]$$

donde:

- PE_c = presión estática de la campana, mmca
- h_{ec} = pérdida de carga en la entrada al conducto, mmca
(véase la Figura 5-15) = $F_c \times PD_c$
- PD_c = presión dinámica en el conducto, mmca

La ecuación 3.4 se emplea cuando la velocidad en la boca es inferior a 5 m/s. Cuando es superior, la campana debe tratarse como una campana compuesta.

EJEMPLO

Dados: Velocidad en la boca $V_b = \frac{Q}{A_b} = 1,25 \text{ m/s}$

Velocidad en el conducto $V_c = \frac{Q}{A_c} = 10 \text{ m/s}$

$$PD_c = \left(\frac{V_c}{4,043} \right)^2 = 6,12 \text{ mmca}$$

$F_c = 0,25$ como se indica en la Figura 5-15
 $PE_c = h_{ec} + PD_c = (0,25 \times 6,12) + 6,12 = 7,65 \text{ mmca}$

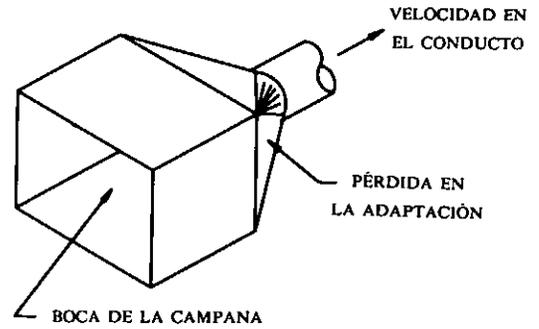


FIGURA 3-16 CAMPANA SIMPLE

de las campanas de extracción debido a la pequeña longitud del pleno. En el caso de campanas muy grandes o de recintos cerrados dotados de extracción, sin embargo, debe tenerse en cuenta la pérdida de velocidad.) Finalmente, el aire converge hacia el conducto a través de la zona de transición, donde ocurre la segunda pérdida significativa de energía.

En la Figura 3-17 el aire entra en la rendija, y se produce una pérdida de carga a medida que se acelera hasta la velocidad en la rendija. El aire pasa a través del pleno y entra en la zona de transición donde se produce una nueva pérdida a medida que es acelerado de nuevo hasta la velocidad, más elevada, en el conducto. La presión estática de una campana con dos puntos de pérdida de carga puede expresarse como:

$$PE_c = h_{er} + h_{ec} + PD_c \quad [3.5]$$

EJEMPLO

Dados: Velocidad en rendija = 10 m/s
 $PD_r = 6,12 \text{ mmca}$
 $h_{er} = 1,78 PD_r$
 Velocidad en el conducto = 17,5 m/s
 $PD_c = 18,73 \text{ mmca}$
 $h_{ec} = 0,25 PD_c$
 $PE_c = h_{er} + h_{ec} + PD_c$
 $= (1,78 \times 6,12) + (0,25 \times 18,73) + 18,73 = 34,31 \text{ mmca}$

3.5.2 Campanas compuestas: Llamamos campanas compuestas a las que tienen dos o más puntos significativos de pérdida de energía y que, por tanto, deben ser considerados separadamente y luego sumados para calcular la pérdida de carga total en la campana. Ejemplos corrientes de este tipo de campanas los encontramos en las rendijas, las campanas laterales de múltiples aberturas usualmente empleadas en recubrimientos superficiales, pintura por inmersión, cubas de desengrase, y campanas de desmoldeo en las fundiciones.

La figura 3-17 muestra una campana compuesta con dos puntos de pérdida de carga. Se trata de una campana con una sola rendija, un pleno y una zona de transición desde el pleno hasta el conducto. El objetivo del pleno es proporcionar una velocidad uniforme a lo largo de la rendija. El aire entra en la rendija, en este caso un orificio de bordes agudos, y pierde energía debido a la vena contracta que se crea en ese punto. El aire atraviesa entonces el pleno, donde se conserva la mayor parte de la velocidad en la rendija porque la corriente de aire se comporta como el chorro de impulsión mostrado en la Figura 1-7. (La conservación de la velocidad en el pleno es característica de la mayor parte

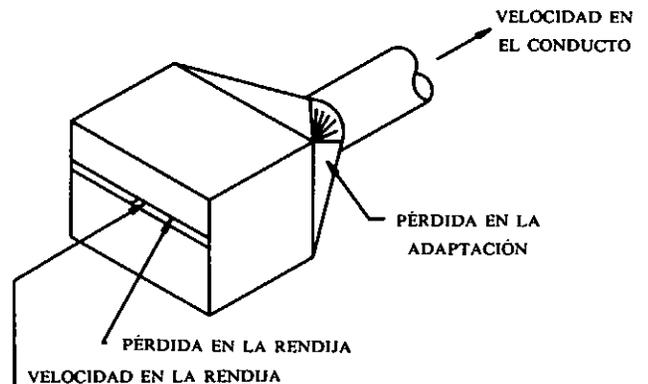


FIGURA 3-17 CAMPANA COMPUESTA

TABLA 3.2 Valores recomendados para la velocidad de diseño de conductos

Naturaleza del contaminante	Ejemplos	Velocidad de diseño (m/s)
Vapores, gases, humos de combustión	Todos los vapores, gases y humos	Indiferente (la velocidad óptima económicamente suele encontrarse entre 5 y 10 m/s)
Humos de soldadura	Soldadura	10-12,5
Polvo muy fino y ligero	Hilos de algodón, harina de madera, polvo de talco	12,5-15
Polvos secos	Polvo fino de caucho, baquelita en polvo para moldeo, hilos de yute, polvo de algodón, virutas (ligeras), polvo de detergente, raspaduras de cuero	15-20
Polvo ordinario	Polvo de desbarbado, hilos de muela de pulir (secos), polvo de lana de yute (residuos de sacudidor), polvo de granos de café, polvo de cuero, polvo de granito, harina de sílice, manejo de materiales pulverulentos en general, corte de ladrillos, polvo de arcilla, fundiciones (en general), polvo de caliza, polvo en el embalado y pesado de amianto en industrias textiles	17,5-20
Polvos pesados	Polvo de aserrado (pesado y húmedo), viruta metálica, polvo de desmoldeo en fundiciones, polvo en el chorreado con arena, pedazos de madera, polvo de barrer, virutas de latón, polvo en el taladrado de fundición, polvo de plomo	20-22,5
Polvo pesado húmedo	Polvo de plomo con pequeños pedazos, polvo de cemento húmedo, polvo del corte de tubos de amianto-cemento, hilos de muela de pulir (pegajosos)	> 22,5

3.6 VELOCIDAD MÍNIMA EN EL CONDUCTO

La presión dinámica en el conducto, PD_c , empleada para determinar la pérdida de carga en la campana en los ejemplos anteriores, se determina a partir de la velocidad del aire en la zona del conducto inmediatamente posterior a la conexión de éste con la campana. Esta velocidad viene fijada por el tipo de material que se transporta en el conducto.

Para sistemas que manejan partículas es necesario establecer una velocidad mínima de diseño a fin de impedir su deposición y el taponamiento del conducto. Por otra parte, velocidades demasiado elevadas implican un derroche de energía y pueden causar rápidamente la abrasión de los conductos. (3.6-3.13) Las velocidades de diseño mínimas recomendadas son superiores a los valores teóricos y experimentales a fin de tener en cuenta contingencias tales como las siguientes:

1. Si una o más ramas se obstruyen o son puestas fuera de servicio se reducirá el caudal total en el sistema y por tanto disminuirá la velocidad en, al menos, algunas de las partes del mismo.
2. El deterioro de los conductos, por ejemplo por abolladuras, aumentará la resistencia y disminuirá el caudal y la velocidad en la parte dañada del sistema.
3. Las fugas en los conductos aumentarán el caudal y la velocidad aguas abajo de la fuga, pero disminuirá el caudal aguas arriba y en otras partes del sistema.
4. La corrosión o la erosión de las palas del ventilador o el deslizamiento de la correa de tracción del mismo reducirá el caudal y las velocidades.
5. Las velocidades deben ser adecuadas para atrapar o arrastrar de nuevo el polvo que haya podido depositar-

se a causa de una utilización inadecuada del sistema de extracción.

Los proyectistas deben tener en cuenta que en ciertas condiciones, tales como en productos pegajosos, situaciones en las que puede producirse condensación en presencia de polvo, fuertes efectos electrostáticos, etc., la velocidad, por sí sola, puede no ser suficiente para impedir el taponamiento, por lo que puede ser necesario adoptar medidas especiales.

En la Tabla 3-2 se indican algunos valores típicos para la velocidad en conductos. El empleo de la velocidad mínima en conductos se trata con detalle en el Capítulo 5.

3.7 CAMPANAS CON REQUERIMIENTOS ESPECIALES

3.7.1 Ventilación de procesos radiactivos o de alta toxicidad: La ventilación de los procesos radiactivos o de alta toxicidad exige el conocimiento de los riesgos, el empleo de métodos de control extraordinariamente efectivos y un mantenimiento adecuado que incluye un control permanente. Cuando se trate de procesos radiactivos debe tenerse en cuenta lo dispuesto en las normas y reglamentos específicos establecidos por los organismos competentes al respecto.

Las campanas deben ser del tipo cabina y adoptar el máximo grado posible de encerramiento. Cuando no es posible un encerramiento completo o casi completo, deben emplearse velocidades de control superiores en un 50 a un 100 % a las recomendadas en este manual. Si el encerramiento no es completo y un trabajador debe estar situado próximo a una abertura tal como la parte frontal de una cabina de laboratorio, la velocidad máxima de control no

debe superar 0,6 m/s. Velocidades de aire superiores a este valor producirán, frente al trabajador, turbulencias que podrían arrastrar contaminante desde el interior de la cabina hacia la zona respiratoria del trabajador. El aire de sustitución del que se extrae debe introducirse a baja velocidad y en una dirección que no produzca corrientes de aire distorsionadoras en la boca de la cabina.

3.7.2 Operaciones de laboratorio: Para la manipulación de emisores alfa o beta de actividad elevada, sustancias de alta toxicidad y material biológico, deben emplearse cabinas con manoplas, para las cuales es normalmente suficiente un caudal de extracción de 60 a 85 m³/h. Las cámaras de aire intermedias que se usan con las cabinas con manoplas deben ventilarse, en el caso de que abran directamente al local.

Para trabajos de laboratorio con material de baja radioactividad puede ser aceptable una cabina de laboratorio convencional, para las que se recomienda una velocidad en la boca de 0,6 m/s. Véanse VS-202 a 204, 204.1, 205 y 205.2.

En los edificios nuevos es corriente que deba diseñarse el aire acondicionado antes de conocer con detalle las especificaciones de los equipos que se instalarán. Para efectuar una estimación previa pueden emplearse las indicaciones dadas en VS-204.1 para el cálculo del caudal de cabinas y del aire de sustitución.

3.8 VENTILACIÓN DE IMPULSIÓN-EXTRACCIÓN

La ventilación de impulsión-extracción consiste en una tobera de impulsión y una campana de extracción para recibir y captar el chorro de aire impulsado. La impulsión-extracción es empleada habitualmente en las cubas abiertas como las empleadas en los tratamientos electrolíticos^(3,14) pero puede utilizarse con efectividad en muchas otras situaciones (véase VS-504). La ventaja de la impulsión-extracción es que un chorro impulsado mantiene su velocidad durante una distancia larga, 6-9 metros o más, mientras la velocidad enfrente de la boca de una campana de extracción disminuye muy rápidamente a medida que aumenta la distancia a ella. Si se emplea adecuadamente, el chorro de impulsión intercepta el aire contaminado y lo arrastra distancias relativamente largas hacia la campana, permitiendo así un control en situaciones en las que, de otro modo, sería difícil o imposible.

3.8.1 Soplado de impulsión: Debido a que el chorro de impulsión arrastra aire del ambiente, el caudal del chorro que llega a la campana de extracción es varias veces superior al emitido por la tobera de impulsión. La velocidad del chorro disminuirá al aumentar la distancia a la tobera. La proporción de aire arrastrado en el caso de una tobera en forma de rendija estrecha (o tubo) viene dada, aproximadamente, por:

$$\frac{Q_x}{Q_o} = 1,2 \sqrt{\left(\frac{ax}{b_o}\right) + 0,41} \tag{3.6}$$

La relación de velocidades viene dada, aproximadamente por la ecuación: (3.15)

$$\frac{V_x}{V_o} = \frac{1,2}{\sqrt{\left(\frac{ax}{b_o}\right) + 0,41}} \tag{3.7}$$

donde:

- Q_o = caudal proporcionado por la tobera
- Q_x = caudal del chorro a una distancia x de la tobera
- V_o = velocidad de salida del aire por la tobera
- V_x = velocidad máxima en el chorro a una distancia x
- a = factor característico de la tobera (0,13 para rendijas y tubos)
- x = distancia desde la tobera
- b_o = anchura de la rendija*

[* Si la tobera está suspendida libremente (chorro plano libre), b_o vale la mitad de la anchura total de la rendija. Si

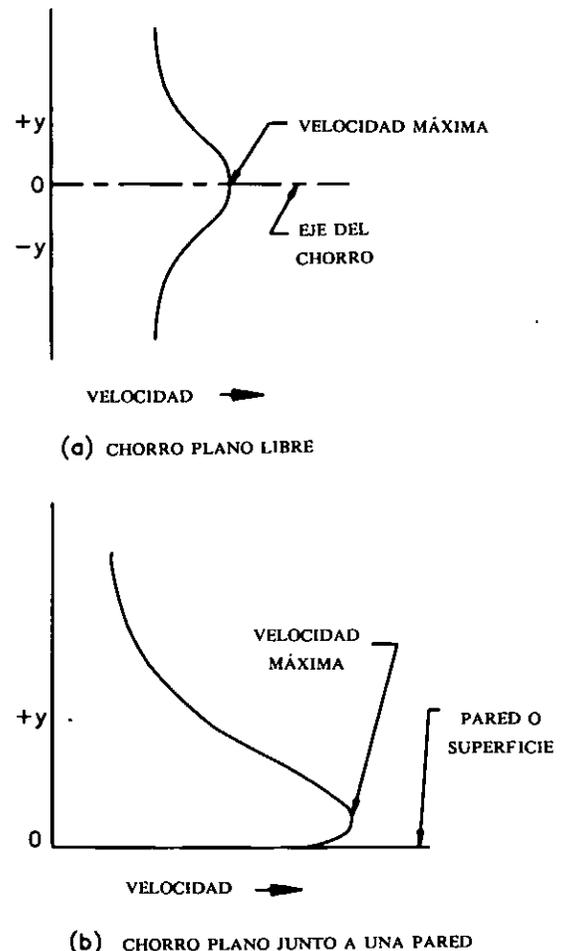


FIGURA 3-18 PERFILES DE VELOCIDAD DE CHORROS

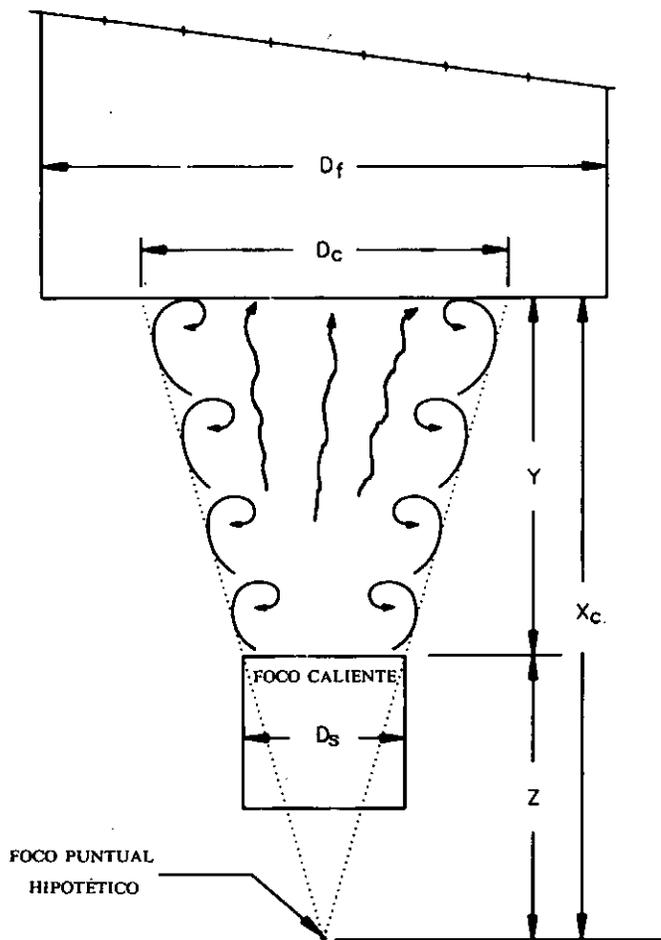


FIGURA 3-19 DIMENSIONES EMPLEADAS EN EL DISEÑO DE CAMPANAS ELEVADAS PARA FOCOS CALIENTES (HEMEON, 1955)

la tobera está situada sobre o muy cerca de una superficie plana (chorro paralelo a una pared), b_o es igual a la anchura total de la rendija. Para conductos con orificios, b_o es la anchura de una rendija con un área equivalente].

En la Figura 3-18 se muestran algunos perfiles de velocidad típicos.

Deben minimizarse las obstrucciones al chorro en las proximidades de su origen. Los objetos con poca superficie, como ganchos de colgar piezas, por ejemplo, no causan problemas serios; sin embargo, deben evitarse los objetos con grandes superficies planas. A mayores distancias de la tobera, cuando el chorro ya se ha expandido, son admisibles objetos de mayor tamaño situados dentro del chorro.

La tobera puede construirse como una rendija estrecha, un tubo con orificios, o toberas individuales. El área total de salida del aire no debe superar el 25 % de la sección recta del pleno de la tobera, a fin de garantizar una distribución uniforme del aire impulsado. La anchura de la rendija puede tomarse desde 3 a 6 mm para longitudes de impulsión del tipo de las empleadas en recubrimientos electrolíticos (1,2 a 2,5 m). El tamaño de los orificios debe ser de 6 mm

y estar separados entre 3 y 8 diámetros. El factor de cantidad de movimiento de la tobera, que es proporcional al caudal de impulsión por metro de longitud de tobera, multiplicado por la velocidad de impulsión ($Q_o \times V_o$) debe ser suficiente para lograr un chorro eficaz, pero no tan potente que supere la capacidad de extracción de la campana de aspiración. Para distancias de impulsión de 1,2 a 2,5 m el valor de $Q_o V_o$ debe tomarse entre 0,4 y 0,6 por metro de longitud de tobera.

3.8.2 Campana de aspiración: La campana de aspiración debe recoger y eliminar el caudal del chorro de impulsión. En relación a la distribución del flujo, pérdidas de carga, etc., deben utilizarse los mismos criterios de diseño que los empleados en las campanas de extracción ordinarias. El caudal de aspiración de la campana debe ser, aproximadamente entre 1,5 y 2 veces el caudal del chorro que le llega. Si no se dispone de un criterio de diseño específico para el caudal de aspiración, puede usarse la ecuación 3.6.

Si es posible, la anchura de la boca de la campana debe ser igual a la anchura del chorro expandido; sin embargo, pueden admitirse anchuras inferiores siempre que se respete el criterio de que el caudal debe ser de 1,5 a 2 veces el caudal del chorro.

Cada aplicación del sistema de impulsión-extracción exige una atención especial. Siempre que sea posible deberá construirse y evaluarse un sistema piloto antes de proceder a la instalación final.

3.8.3 Diseño de sistemas de impulsión-extracción: Experimentalmente se han desarrollado criterios de diseño específicos para recubrimientos electrolíticos, limpieza y otras operaciones con cubas abiertas que se dan en VS-504, VS-504-1, y VS-504-2. Cuando no se disponga de tales criterios de diseño específicos, pueden emplearse los datos de los apartados 3.8.1 y 3.8.2. Cuando se emplee la ecuación 3.7 debe especificarse una velocidad del chorro de impulsión (V_o) en la boca de la campana de aspiración, de 0,75 a 1 m/s.

3.9 PROCESOS A TEMPERATURA ELEVADA

El diseño de campanas para procesos de temperatura elevada exige consideraciones diferentes de las empleadas en procesos fríos. (3.16) Cuando, por conducción y convección, se transfieren al aire situado encima y alrededor de un proceso, cantidades significativas de calor, se producen corrientes de aire ascendentes de origen térmico con velocidades de hasta 2 m/s. El diseño de la campana y el cálculo del caudal de extracción deben tener en cuenta estas corrientes de aire de origen térmico.

3.9.1 Campanas circulares elevadas: A medida que el aire caliente asciende se mezcla de forma turbulenta con el aire circundante. Esto produce un aumento del diámetro de la columna ascendente, así como de su caudal. El diámetro

de la columna (véase la Figura 3-19) viene aproximadamente dado por la expresión:

$$D_c = 0,434 X_c^{0,88} \quad [3.8]$$

donde:

D_c = diámetro de la columna en la boca de la campana, m
 $X_c = y + z$ = distancia desde la fuente puntual hipotética hasta la boca de la campana, m
 y = distancia desde la parte superior del proceso hasta la boca de la campana, m
 z = distancia desde la parte superior del proceso hasta la fuente puntual hipotética, m

“z” puede obtenerse de la expresión:

$$z = 2,6 (D_s)^{1,138} \quad [3.9]$$

donde:

D_s = diámetro del foco caliente, m

La velocidad ascendente de la columna puede calcularse a partir de:

$$V_f = 0,0847 (A_s)^{0,33} \frac{\Delta t^{0,42}}{(X_c)^{0,25}} \quad [3.10]$$

donde:

V_f = velocidad de la columna caliente en la boca de la campana, m/s
 A_s = área del foco caliente, m²
 Δt = diferencia de temperatura entre el foco caliente y el aire ambiente, °C
 $X_c = y + z$ = distancia desde la fuente puntual hipotética a la boca de la campana, m

El diámetro de la boca de la campana debe ser superior al diámetro de la columna de aire ascendente para garantizar una captación total. El diámetro de la campana se calcula a partir de la expresión:

$$D_f = D_c + 0,8 y \quad [3.11]$$

donde:

D_f = diámetro de la boca de la campana, m

El caudal total de la campana vale:

$$Q_t = V_f A_c + V_r (A_f - A_c) \quad [3.12]$$

donde:

Q_t = caudal total que entra en la campana, m³/s
 V_f = velocidad de la columna de aire caliente en la boca de la campana, m/s

A_c = área de la columna de aire caliente en la boca de la campana, m²

V_r = velocidad del aire requerida en el resto de la boca de la campana, m/s

A_f = área total de la boca de la campana, m²

3.9.2 Campanas rectangulares elevadas: Las columnas de aire caliente originadas en fuentes que no son circulares se controlan más eficazmente mediante campanas rectangulares. El caudal de aire se calcula de la misma forma que en el caso de campanas circulares, excepto las dimensiones de la columna de aire en la boca de la campana (y las dimensiones de la campana), que se determinan teniendo en cuenta la longitud y la anchura del foco. Las ecuaciones 3.8, 3.9 y 3.11 se emplean individualmente para determinar la longitud y la anchura de la columna de aire en la boca de la campana. Los restantes valores se calculan como en el caso de campanas circulares.

3.9.3 Campanas a baja altura: Si la distancia entre la boca de la campana y el foco caliente no es superior al diámetro del foco o a 1 m aproximadamente, la campana puede ser considerada como situada a baja altura. En tales condiciones el diámetro o sección recta de la columna de aire caliente tendrá aproximadamente el mismo valor que el diámetro del foco. Por ello no es necesario que el diámetro o los lados de la boca de la campana sean superiores en más de 30 cm a los del foco.

El caudal total para una campana circular a baja altura, vale:

$$Q_t = 0,04516 (D_f)^{2,33} (\Delta t)^{0,42} \quad [3.13]$$

donde:

Q_t = caudal total de aire, m³/s
 D_f = diámetro de la campana, m
 Δt = diferencia de temperatura entre el foco caliente y el aire ambiente, °C

El caudal total para una campana rectangular a baja altura es

$$\frac{Q_t}{L} = 0,06 b^{1,33} \Delta t^{0,42} \quad [3.14]$$

donde:

Q_t = caudal total de aspiración, m³/s
 L = longitud de la campana rectangular, m
 b = anchura de la campana rectangular, m
 Δt = diferencia de temperatura entre el foco caliente y el aire ambiente, °C

REFERENCIAS

- 3.1 A. D. Brandt: *Industrial Health Engineering*. John Wiley and Sons, New York (1947).

- 3.2 J. M. Kane: "Design of Exhaust Systems", *Health and Ventilating* 42:68 (noviembre, 1946).
- 3.3 J. M. Dalla Valle: *Exhaust Hoods*. Industrial Press, New York (1946).
- 3.4 L. Silverman: "Velocity Characteristics of Narrow Exhaust Slots." *J. Ind. Hyg. Toxicol.* 24:267 (November, 1942).
- 3.5 L. Silverman: "Center-line Characteristics of Round Openings Under Suction." *J. Ind. Hyg. Toxicol.* 24:259 (November 1942).
- 3.6 American Society of Mechanical Engineers: Power Test Code 19.2.4, "Liquid Column Gages" (1942).
- 3.7 W. C. L. Hemeon: *Plant and Process Ventilation*. Industrial Press, New York (1963).
- 3.8 J. L. Alden: *Design of Industrial Exhaust Systems*. Industrial Press, New York (1939).
- 3.9 G. S. Rajhans y R. W. Thompkins: "Critical Velocities of Mineral Dusts." *Canadian Mining J.* (October 1967).
- 3.10 O. T. Djamgowz y S. A. A. Ghoneim: "Determining the Pick-Up Air Velocity of Mineral Dusts." *Canadian Mining J.* (July 1974).
- 3.11 J. L. Baliff Greenburg y A. C. Stern: "Transport Velocities for Industrial Dusts - An Experimental Study." *Ind. Hyg. Q.* (December 1948).
- 3.12 J. M. Dalla Valle: "Determining Minimum Air Velocities for Exhaust Systems. *Heating, Piping and Air Conditioning* (1932).
- 3.13 T. F. Hatch: *Economy in the Design of Exhaust Systems*.
- 3.14 R. T. Hughes: "Design Criteria for Plating Tank Push-Pull Ventilation." *Ventilation '86*. Elsevier Press, Amsterdam (1986).
- 3.15 V. V. Baturin: *Fundamentals of Industrial Ventilation*. Pergamon Press, New York (1972).
- 3.16 U. S. Public Health Service: *Air Pollution Engineering Manual*. Publication No. 999-AP-40 (1973).

Capítulo 4

EQUIPOS PARA DEPURACIÓN DE AIRE

4.1	INTRODUCCIÓN	4-2	4.6.4	Incineración	4-28
4.2	SELECCIÓN DEL EQUIPO DE CAPTACIÓN DE POLVO	4-2	4.6.5	Oxidación catalítica	4-28
4.2.1	Concentración del contaminante	4-2	4.7	FILTROS COMPACTOS	4-28
4.2.2	Eficacia necesaria	4-2	4.8	COSTE DE LOS EQUIPOS DE CAPTACIÓN DE POLVO	4-30
4.2.3	Características de la corriente gaseosa	4-3	4.8.1	Capacidad y precio	4-30
4.2.4	Características de los contaminantes	4-3	4.8.2	Accesorios incluidos	4-30
4.2.5	Consideraciones energéticas	4-3	4.8.3	Coste de instalación	4-30
4.2.6	Recogida y evacuación del polvo	4-3	4.8.4	Construcciones especiales	4-30
4.3	TIPOS DE CAPTADORES DE POLVO	4-3	4.9	SELECCIÓN DE EQUIPOS DE FILTRACIÓN DE AIRE	4-30
4.3.1	Precipitadores electrostáticos	4-3	4.9.1	Retención mecánica	4-30
4.3.2	Filtros de tela	4-9	4.9.2	Impacto	4-30
4.3.3	Depuradores húmedos	4-18	4.9.3	Interceptación	4-34
4.3.4	Separadores centrífugos por vía seca	4-19	4.9.4	Difusión	4-34
4.4	DATOS ADICIONALES ÚTILES PARA LA SELECCIÓN DE UN CAPTADOR DE POLVO	4-24	4.9.5	Fuerza electrostática	4-34
4.5	DEPURACIÓN DE NIEBLAS, GASES Y VAPORES	4-28	4.10	OPERACIONES CON MATERIALES RADIATIVOS O EXTREMADAMENTE TÓXICOS	4-35
4.6	DEPURADORES PARA CONTAMINANTES GASEOSOS	4-28	4.11	VENTEOS DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES	4-36
4.6.1	Absorción	4-28	REFERENCIAS		4-36
4.6.2	Adsorción	4-28			
4.6.3	Oxidación térmica	4-28			

4.1 INTRODUCCIÓN

Los depuradores de aire son equipos que eliminan los contaminantes de una corriente de aire o gas. Existe una amplia gama de diseños, capaces de cumplir los más variados requisitos de depuración del aire. El grado de eficacia necesario, la cantidad y características de los contaminantes que deben ser eliminados de la corriente gaseosa y las condiciones de ésta influyen en la selección del equipo para una aplicación concreta. Además también se debe tener en cuenta la protección contra los riesgos de incendio y explosión. (Consultense las publicaciones de NFPA al respecto.)

Para contaminantes particulados, los aparatos de depuración se dividen en dos grupos básicos: **FILTROS DE AIRE** y **CAPTADORES DE POLVO**. Los filtros de aire están diseñados para tratar aire con concentraciones de polvo bajas, del orden de magnitud de la que existe en la atmósfera. Se utilizan en instalaciones de ventilación, acondicionamiento de aire y sistemas de calefacción, en estos casos la concentración de polvo raramente supera el valor de 2 mg/m^3 , y generalmente es inferior a $0,2 \text{ mg/m}^3$. (Un valor típico de la concentración de polvo en una atmósfera urbana es $0,1 \text{ mg/m}^3$.)

Los captadores de polvo se diseñan generalmente para tratar aire con concentraciones de polvo mayores, tales como las que se dan en instalaciones industriales en las que el aire o gas que debe ser depurado procede de sistemas de extracción localizada o de efluentes gaseosos que se evacúan al exterior a través de chimeneas. Las concentraciones de los contaminantes pueden variar desde menos de 200 mg/m^3 hasta 4000 mg/m^3 e incluso más. Por lo tanto, los captadores de polvo deben ser, y son, capaces de trabajar con concentraciones entre 100 y 20000 veces mayores que los filtros de aire.

De cualquiera de las categorías de depuradores de aire, existen versiones pequeñas y baratas. Los criterios de selección, aplicación y operación de estos equipos son los mismos que los aplicables a los de mayor tamaño. Sin embargo, debido a la estructura del mercado, que demanda principalmente equipos pequeños, de fácil instalación y baratos, la mayor parte de equipos compactos disponibles están concebidos y construidos para trabajos ligeros.

Entre las ventajas económicas de los equipos compactos se encuentra la posibilidad de recircular el aire, pero alguno de estos equipos puede no ser adecuado para conseguir la prevención correcta de los riesgos para la salud, los incendios y las explosiones. El proyecto técnico de los equipos compactos es tan importante como el de los equipos de mayor tamaño.

4.2 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE CAPTACIÓN DE POLVO

Existen equipos de captación de polvo diseñados de acuerdo con principios de funcionamiento muy diferentes y que ofrecen un amplio abanico de posibilidades en lo que

se refiere a eficacia, coste de instalación, coste de operación y mantenimiento, necesidades de espacio y materiales de construcción. Cuando no se dispone de una experiencia práctica previa en un problema específico, se recomienda consultar al fabricante del equipo. Los factores a considerar en la selección de un equipo son:

4.2.1 Concentración del contaminante: En los sistemas de extracción, la concentración de los contaminantes, y los tamaños de las partículas, varían en un margen muy amplio. Las concentraciones pueden variar desde menos de 200 hasta más de 4000 mg de polvo por m^3 de aire. En los sistemas de transporte a baja presión, el tamaño varía desde 0,5 hasta 100 micras o más. La desviación alrededor de la media (límites de tamaño por encima y por debajo de la media) también variará en función del material.

4.2.2 Eficacia necesaria: El grado de retención de polvo necesario dependerá del problema específico planteado y de si el aire depurado será recirculado al taller o evacuado al exterior. (Consultese el capítulo 7.) El estudio de alternativas debe considerar la posibilidad de instalar un equipo de alta eficacia y coste elevado con un consumo mínimo de energía tal como un precipitador electrostático de alto voltaje; un equipo de alta eficacia con un coste moderado tal como un filtro de tela o un depurador húmedo; o bien un depurador primario más barato tal como un separador centrífugo por vía seca. Si se elige cualquiera de los dos citados en primer lugar se debe considerar la posibilidad de combinarlo con un depurador primario.

En los casos en que el aire limpio vaya a ser evacuado al exterior, el grado de eficacia necesario dependerá de la situación de la planta; de la comparación de las cantidades vertidas por los diferentes tipos de depuradores; de la naturaleza del contaminante (su valor económico y su capacidad de causar riesgos a la salud, molestias a la población o daños a terceros); y de las limitaciones impuestas por la legislación aplicable. En emplazamientos apartados, el posible daño a las actividades agrícolas, y la contribución a los problemas de contaminación atmosférica de ciudades alejadas son factores que pueden inducir a la implantación de un equipo de depuración de alta eficacia. Muchas industrias, ubicadas originalmente en zonas apartadas, no prevén la posibilidad de que se desarrollen zonas residenciales en su entorno inmediato. Esta falta de previsión conduce a la necesidad de instalar equipos de depuración a un coste mayor del que habría sido necesario si la depuración se hubiera instalado al construir la fábrica. Hoy en día una planta situada lejos de una ciudad debe cumplir, en muchos casos, con las mismas reglamentaciones que una planta situada en una zona urbana. Teniendo en cuenta el interés actual en temas relacionados con la salud pública, las molestias a las comunidades y la conservación y mejora de la calidad del aire, la dirección de una empresa debe esperar posturas de rechazo frente a una emisión excesiva de contaminantes atmosféricos tanto si ésta se produce en un área de industria pesada como si es cerca de una zona residencial.

El caudal másico de la emisión también afecta a la selección del equipo. Para una concentración dada, cuanto mayor es el caudal de aire, mayor es la necesidad de instalar un equipo mejor. Para las chimeneas de las calderas de carbón pulverizado de una central térmica grande se deben seleccionar precipitadores electrostáticos o filtros de mangas de alta eficacia, mientras que para una pequeña caldera industrial puede ser suficiente un depurador de menos eficacia.

Para trabajar del lado de la seguridad en la selección de un depurador se recomienda elegir el equipo que minimice la emisión de contaminantes a la atmósfera que sea aceptable desde el punto de vista de coste de instalación y mantenimiento y que cumpla con todas las exigencias impuestas por la legislación. En algunas aplicaciones la consideración de un coste razonable debe ser supeditada al cumplimiento de las normas relativas a contaminación atmosférica o de prevención de riesgos para la salud o daños a terceros.

Se debe tener presente que la visibilidad de un efluente gaseoso es función de la superficie sobre la cual se refleja la luz en el material emitido. La superficie por unidad de masa es inversamente proporcional al cuadrado del tamaño de las partículas, lo que significa que la eliminación del 80 % o más, expresado en peso, del polvo contenido en el flujo de aire puede corresponder únicamente a las partículas gruesas sin que se aprecien cambios visibles en el penacho emitido por la chimenea.

4.2.3 Características de la corriente gaseosa: Las características del gas portador pueden influir de forma decisiva en la selección del equipo de depuración. La temperatura del gas limita las posibilidades de elección de materiales en los filtros de tejido. La condensación de vapor de agua puede ocasionar apelmazamientos que obstruyan los pasos de aire o partículas en los separadores por vía seca. Los productos corrosivos pueden causar daños a los medios filtrantes o a los metales en los separadores por vía seca, y la mezcla de estos productos con agua en los depuradores húmedos puede causar daños muy importantes.

4.2.4 Características del contaminante: Las características del contaminante también hay que tenerlas en cuenta al seleccionar un equipo. Los productos químicos pueden deteriorar los elementos del depurador o provocar corrosiones en los de vía húmeda. Los productos que se apelmazan, tales como el polvo metálico producido al pulir mezclado con los productos de pulir, pueden adherirse a los elementos del depurador y obstruir el paso del aire. Los materiales fibrosos se adhieren a algunos tipos de superficies o elementos del captador. Los materiales abrasivos a concentraciones medias y altas provocan un desgaste muy rápido en las superficies metálicas secas. El tamaño de las partículas, su forma y densidad pueden ser incompatibles con algún diseño particular de captador. Por ejemplo, la forma de paracaídas de partículas tales como algunas semillas de gramíneas posibilita que puedan atravesar un separador centrífugo, ya que su velocidad de caída es menor que la de otras particu-

las de tamaño mucho menor y misma densidad pero de forma esférica. La naturaleza combustible de muchos materiales cuando se presentan en forma de polvo fino requiere adoptar medidas especiales para una operación segura del equipo.

4.2.5 Consideraciones energéticas: El coste y la disponibilidad de energía hacen que sea esencial un estudio cuidadoso del consumo energético de cada tipo de captador que pueda proporcionar el rendimiento necesario. Un precipitador electrostático, por ejemplo, puede ser la mejor selección a pesar de su elevado coste de instalación debido al ahorro de energía que se obtiene gracias a la poca pérdida de carga inherente a su diseño.

4.2.6 Recogida del polvo: Los métodos utilizables para la extracción de los materiales que se acumulan en el equipo varían en función del propio material, el proceso, la cantidad recogida y el diseño del captador. Los que trabajan en seco pueden ser descargados de forma continua o discontinua a través de compuertas, trampillas o válvulas rotativas evacuándose el polvo mediante cintas transportadoras o contenedores. Los materiales secos pueden ocasionar problemas de generación de polvo en los puntos de descarga a menos que se prevean dispositivos adecuados para evitarlo. En las Figuras 4-1, 4-2 y 4-3 se presentan unos esquemas típicos de sistemas de descarga.

Los depuradores húmedos pueden ser construidos de forma que se descarguen en discontinuo o con evacuación continua de los productos deshidratados. Los problemas de emisión secundaria de polvo no existen, pero la evacuación del lodo húmedo puede ocasionar problemas. Los materiales sólidos que son arrastrados por el agua residual ocasionan problemas de contaminación en las redes de alcantarillado o en los cauces acuáticos a menos que el agua sea depurada convenientemente.

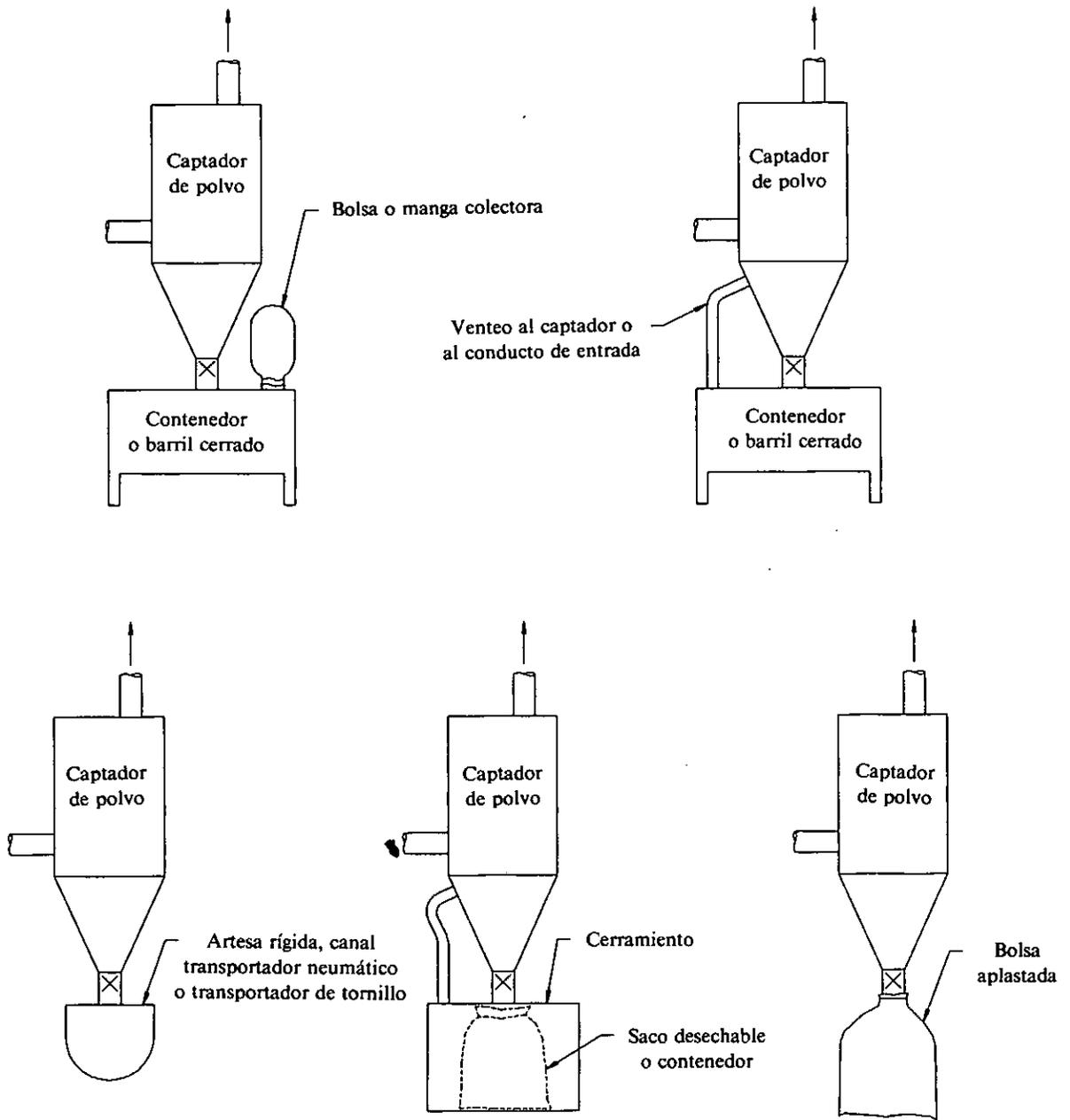
Las características del material pueden ocasionar problemas en la descarga. La formación de acumulaciones o bóvedas en las tolvas de recogida de polvo, o la generación de espumas e incrustaciones en los depuradores húmedos son ejemplos del tipo de problemas que se suelen encontrar.

4.3 TIPOS DE CAPTADORES DE POLVO

Los cuatro tipos principales de captadores de polvo son: Precipitadores electrostáticos, Filtros de tela, Depuradores húmedos y Separadores centrífugos por vía seca.

4.3.1 Precipitadores electrostáticos: En estos equipos se mantiene un campo eléctrico de alto voltaje entre dos electrodos (electrodo de descarga y electrodo colector) cuyas polaridades son de signo opuesto. El electrodo de descarga es de sección pequeña, tal como un alambre o una lámina larga y estrecha, mientras que el electrodo colector tiene forma de placa y es de gran superficie.

El gas a depurar atraviesa el campo eléctrico que se man-

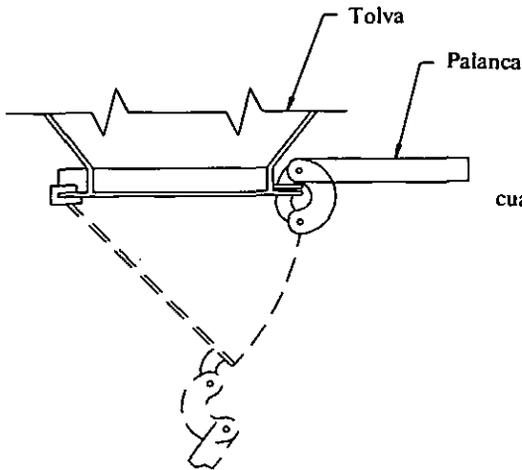


AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

CAPTADORES DE POLVO EN SECO
EVACUACIÓN DE POLVO

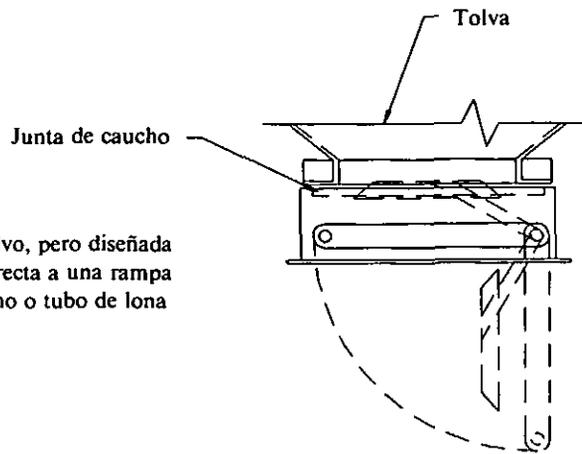
FECHA 1-88

FIGURA 4-1



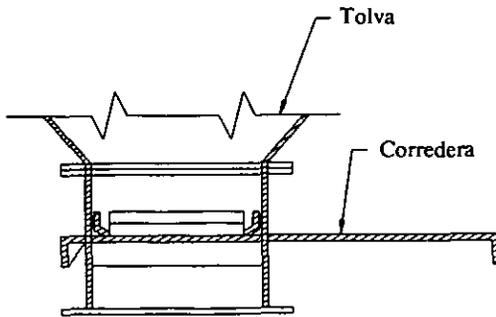
Para descarga manual intermitente cuando las cantidades de polvo son pequeñas

PUERTA DE POLVO



Similar a la puerta de polvo, pero diseñada para permitir la unión directa a una rampa de caída, conducto externo o tubo de lona

COMPUERTA DE POLVO



Para descarga manual intermitente cuando la cantidad de polvo es pequeña. Dispone de brida para conexión a un conducto de evacuación de polvo

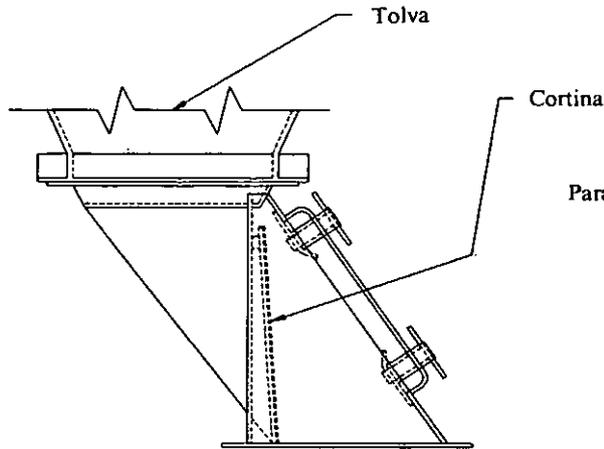
COMPUERTA DE CORREDERA

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

CAPTADORES DE POLVO EN SECO
COMPUERTAS DE DESCARGA

FECHA 1-88

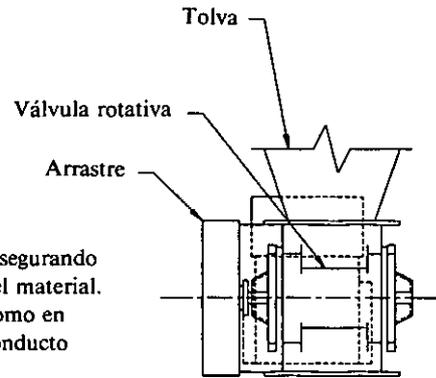
FIGURA 4-2



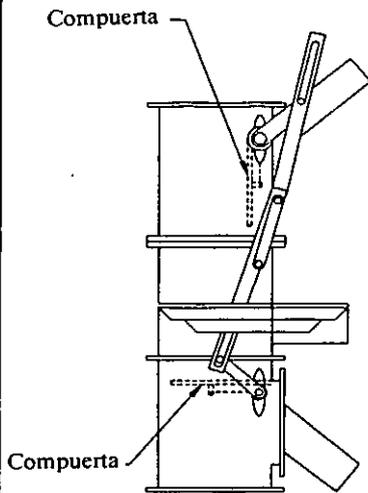
Para descarga continua de polvo cuando la tolva está en depresión. La cortina se mantiene cerrada por la presión diferencial hasta que la acumulación del polvo alcanza una altura suficiente para vencer la presión

COMPUERTA DE GOTEO

Un motor acciona una válvula rotativa de varias palas, asegurando un cierre hermético para el aire y la descarga continua del material. Se puede utilizar tanto si la tolva está en depresión como en sobrepresión. Dispone de brida para conexión a un conducto de evacuación del polvo



VÁLVULA ROTATIVA



Válvula de doble compuerta para la evacuación continua de polvo, accionada por un motor. La secuencia de las puertas es tal que únicamente una de ellas está abierta para conseguir la hermeticidad al aire. Dispone de brida para conexión a un conducto de evacuación del polvo

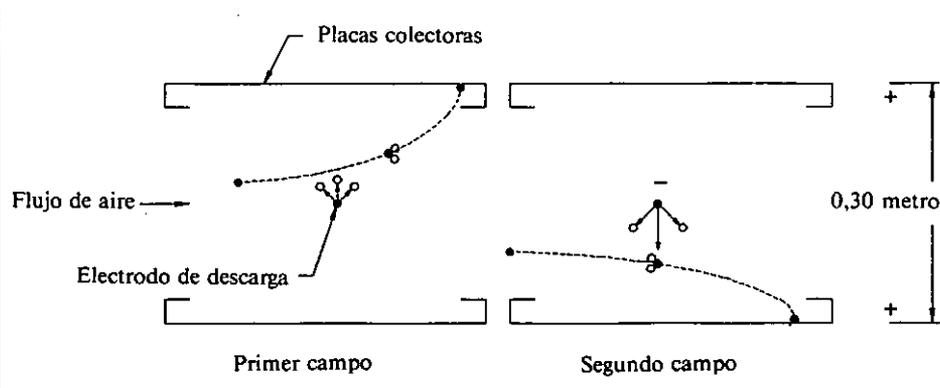
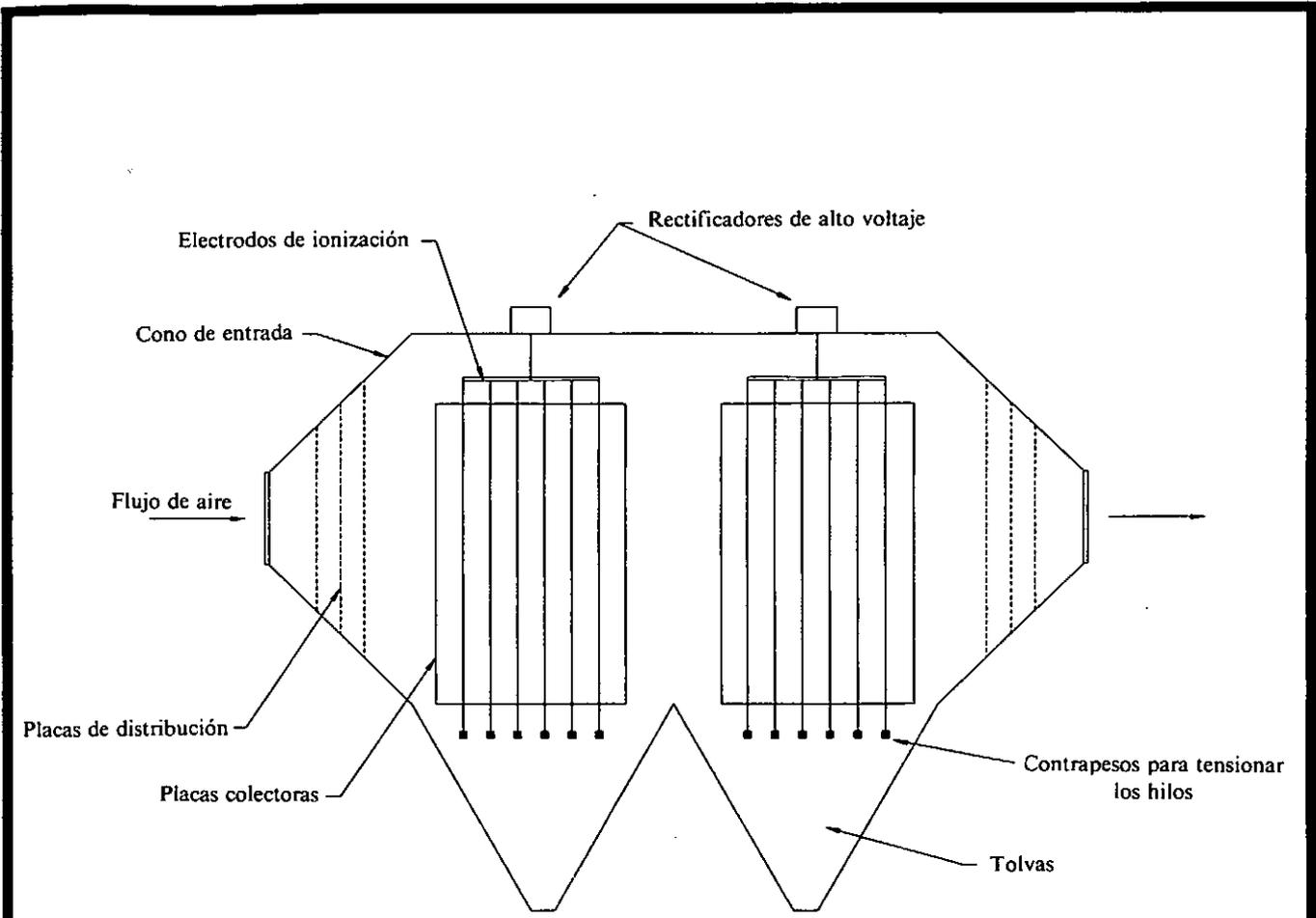
VÁLVULA DE DOBLE COMPUERTA

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

CAPTADORES DE POLVO EN SECO
COMPUERTAS DE DESCARGA

FECHA 1-88

FIGURA 4-3



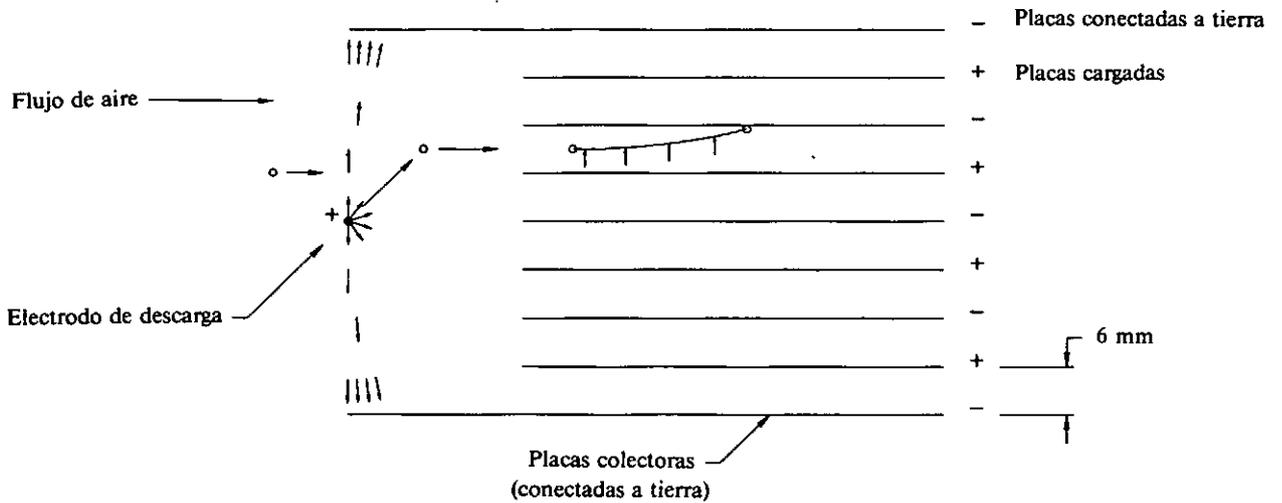
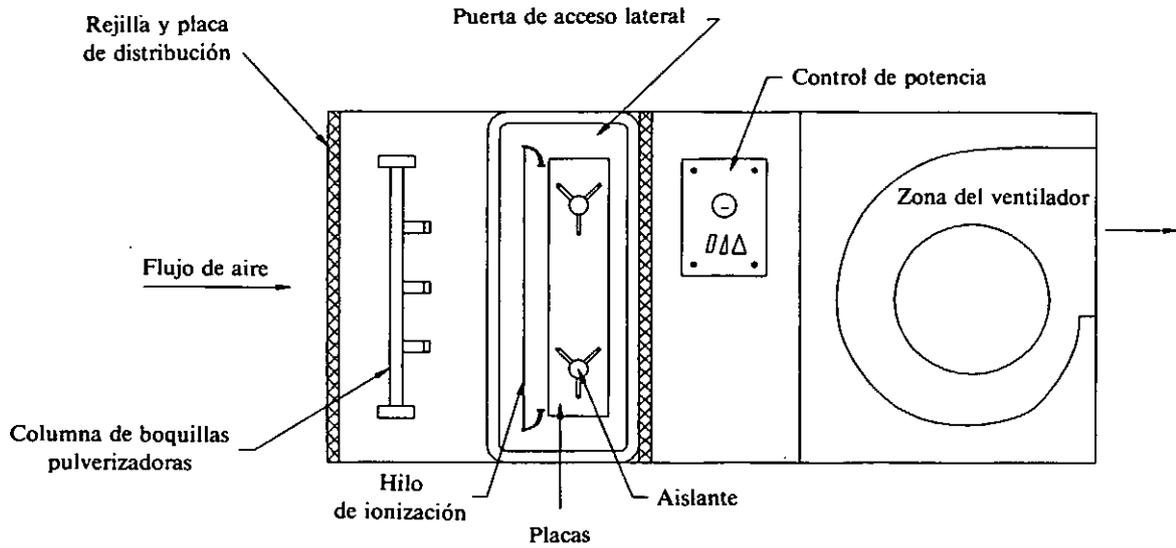
- Para captar polvos difíciles cambiar el tiempo de residencia
1. Alargando el camino
 2. Disminuyendo la velocidad
 3. Disminuyendo la separación entre placas

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

*PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO
DE ALTO VOLTAJE
(40,000 A 75,000 VOLTIOS)*

FECHA 1-88

FIGURA 4-4



AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO
DE BAJO VOLTAJE
(11,000 A 15,000 VOLTIOS)

FECHA 1-88

FIGURA 4-5

tiene entre los dos electrodos. A un potencial crítico, las moléculas del gas se descomponen en iones positivos y negativos. Este fenómeno se llama "ionización", y ocurre en, o cerca, de la superficie del electrodo de descarga. Los iones con la misma polaridad que el electrodo de descarga se adhieren a las partículas neutras contenidas en el gas a su paso por el precipitador. Estas partículas cargadas son atraídas por el electrodo colector ya que es de polaridad opuesta. Cuando se produce el contacto de la partícula con el electrodo, la partícula pierde su carga, y puede ser retirada fácilmente por lavado, vibración o caída libre.

El proceso completo consiste en:

1. Ionización del gas.
2. Carga de las partículas de polvo.
3. Transporte de las partículas hacia la superficie colector.
4. Neutralización, o pérdida de la carga eléctrica, por las partículas de polvo.
5. Eliminación del polvo de la superficie colector.

Los dos tipos básicos de precipitadores electrostáticos son el "Cottrell", o de una etapa, y el "Penny", o de dos etapas (Figuras 4-4 y 4-5).

El precipitador "Cottrell" de una etapa (Figura 4-4) combina la ionización y la captación en una sola etapa. Dado que utiliza una diferencia de potencial entre 40000 y 70000 voltios de tensión continua, es conocido comúnmente con el nombre de precipitador de alto voltaje. Se utiliza profusamente en aplicaciones en las que el gas a depurar está muy cargado de polvo, tales como grandes quemadores industriales, generadores de vapor y hornos de cemento. Algunos diseños utilizan sistemas muy sofisticados para el control de la tensión aplicada y electrodos rígidos en vez de alambres a fin de minimizar los problemas de mantenimiento.

El precipitador "Penny", o precipitador de dos etapas (Figura 4-5) utiliza para la ionización una diferencia de potencial entre 11000 y 14000 voltios, por lo que se suele llamar precipitador de bajo voltaje. Su uso está limitado a bajas concentraciones de polvo, normalmente inferiores a 50 mg/m³. Es el depurador más práctico para la captación de sustancias hidrocarbonadas cuando se da la circunstancia de que una emisión inicialmente transparente se convierte en un penacho visible al producirse la condensación de los vapores. Algunas aplicaciones típicas pueden ser los hornos de plastificado, las prensas de forja, las máquinas de moldeo y ciertos tipos de soldadura. Hay que tomar precauciones para asegurarse de que a la entrada del precipitador la temperatura de los gases sea suficientemente baja para que la condensación ya se haya producido.

Para obtener buenos resultados, se deben determinar las características de la corriente gaseosa que llega al precipitador, y acondicionarla si es preciso para obtener las condiciones idóneas de ionización. En algunos casos es necesario instalar antes de los precipitadores de alto voltaje una torre de enfriamiento. Los equipos de bajo voltaje pueden necesitar depuradores húmedos, intercambiadores de calor, enfriadores evaporativos u otro equipo adecuado para acondi-

cionar el flujo de gas y conseguir el mejor rendimiento del aparato.

La pérdida de carga de un precipitador electrostático es muy baja, generalmente menor de 25 mmcd; en consecuencia los requerimientos energéticos son significativamente menores que los de cualquier otro tipo de captador de polvo.

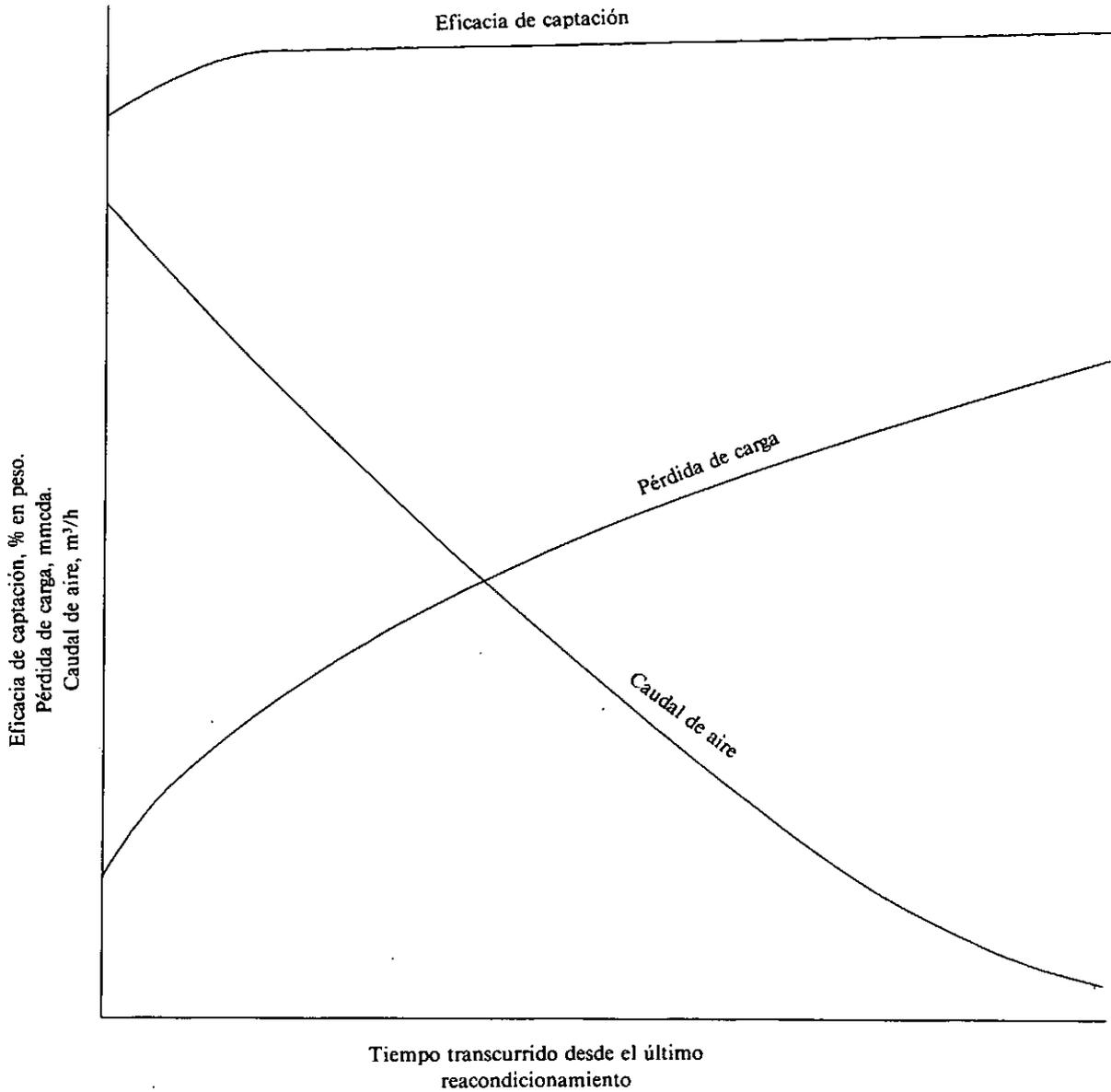
4.3.2 Filtros de tela: Los filtros de tela eliminan las partículas mediante obstrucción, impacto, interceptación, difusión y atracción electrostática. La tela puede estar constituida por cualquier material fibroso, tanto natural como artificial, y puede ser fabricada en forma de tejido de urdimbre y trama, o en forma de fieltro obtenido por punzonado, batanado o entrelazado. Los tejidos de urdimbre y trama se caracterizan por el espesor del hilo y el peso del tejido por unidad de superficie. Las telas no tejidas (fieltros) se identifican por el espesor y el peso por unidad de superficie. Independientemente de cual sea su forma de construcción, la tela es una masa porosa a través de la cual debe circular el aire a filtrar de forma que las partículas de polvo quedan retenidas en la cara sucia de la tela, y el gas limpio atraviesa la masa filtrante.

La capacidad de la tela para dejar pasar aire a su través es la "permeabilidad" que se define como el volumen de aire que pasa a través de la unidad de superficie en la unidad de tiempo con una diferencia de presión de 12,5 mmcd. * Los valores normales de permeabilidad para las telas filtrantes habituales están comprendidos entre 7 y 12 m³ / (m² min).

A igualdad de peso, un fieltro es más eficaz que un tejido ya que el tamaño de los poros, o áreas de paso del aire, es menor. Para un tipo dado de tejido, la eficacia es mayor cuanto menor sea el diámetro de las fibras, mayor el peso por unidad de superficie y mayor la torsión de los hilos. Si en la fabricación de fieltros se utilizan agujas más finas también se mejora la eficacia. A medida que se aumenta la eficacia filtrante de una tela por cualquiera de estos métodos, se reduce la permeabilidad y la facilidad de limpieza. Una tela con una eficacia de filtración tan alta que resulte difícil de limpiar implica una resistencia muy alta al paso del aire y no es una solución económicamente aceptable. La selección definitiva de una tela filtrante es un compromiso entre eficacia y permeabilidad.

La selección de una tela de alta permeabilidad y gran facilidad de limpieza y por tanto de una baja eficacia no presupone un defecto tan importante como parece a primera vista. La eficacia del material filtrante sólo es significativa la primera vez que entra en servicio. Una vez que la tela ha trabajado un cierto tiempo, son las propias partículas retenidas las que actúan como filtro, aumentando la eficacia de filtración. En función de la concentración de partículas, y del periodo de tiempo que transcurra entre las limpie-

* *N. del T.*: En Europa es más común utilizar como referencia una diferencia de presión de 20 mmcd, y los valores de permeabilidad equivalentes están comprendidos entre 12 y 20 m³ / (m² min).



AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO ENTRE
REACONDICIONAMIENTOS DE UN FILTRO
DE TELA

FECHA 1-88

FIGURA 4-6

TABLA 4.1 Características de los filtros de tela*

Nombre genérico	Ejemplos de nombres comerciales**	Temp. máx. °C		Resistencia a agentes físicos				Resistencia a productos químicos					
		Continuos	Intermitentes	Calor seco	Calor húmedo	Abrasión	Golpes	Flexión	Ácidos minerales	Ácidos orgánicos	Álcalis	Oxidantes	Disolventes
Algodón	Algodón	80	-	B	B	R	B	B	M	B	R	R	E
Poliéster	Dacron (1), Fortrel (2), Vyeron (3), Kodel (4), Enka Polyester (5)	135	-	B	R	B	E	E	B	B	R	B	E
Acrílico	Orlon (1), Acrilan (6), Creslan (7), Dralon T (8), Zefran (9)	135	140	B	B	B	B	E	B	B	R	B	E
Modacrílico	Dynel (10), Veral (4)	70	-	R	R	R	M-R	B	B	B	B	B	B
Nylon (Poliamida)	Nylon 6.6 (1, 2, 6), Nylon 6 (11, 5, 12), Nomex (1)	105 205	- 230	B E	B E	E E	E E	E E	M M-R	R E	B B	R B	R E
Polipropileno	Herculon (13), Reevon (14), Vectra (15)	93	120	B	R	E	E	B	E	E	E	B	B
Teflon (Fluorocarbóno)	Teflon TFE (1) Teflon FEP (1)	260 230	285 -	E E	E E	M-R M-R	B B	B B	E E	E E	E E	E E	E E
Vinión	Vinyon (16), Clevylt (17)	175	-	R	R	R	B	B	E	E	B	B	M
Vidrio	Vidrio	260	315	E	E	M	M	R	E	E	R	E	E
Lana	Lana	100	120	R	R	B	R	B	R	R	M	M	R

* E = Excelente; B = Buena; R = Regular; M = Mala.

** Marcas registradas:

(1) DuPont, (2) Celanese, (3) Beunitt, (4) Eastman, (5) American Enka, (6) Chemstrand, (7) American Cyanamid, (8) Farbenfabriken Bayer AG, (9) Dow Chemical, (10) Union Carbide, (11) Allied Chemical, (12) Firestone, (13) Hercules, (14) Alamo Polymer, (15) National Plastic, (16) FMC, (17) Societe Rhovyl.

zas de la tela, puede ocurrir que la filtración sea realizada exclusivamente por las partículas retenidas previamente –la torta de polvo– en vez de por la tela. Incluso inmediatamente después de una limpieza del filtro, el polvo residual, o redepositado, sobre la tela proporciona una mejora de la eficacia de filtración con respecto a la que presenta una tela nueva. A pesar de que la eficacia de filtración de un textil nuevo y limpio, es fácilmente determinable mediante ensayos de laboratorio y los resultados de estos ensayos se publican asiduamente, no son representativos de las condiciones reales de trabajo y por tanto son de poca relevancia en el momento de tener que seleccionar un material filtrante.

Un filtro de tela nunca alcanza la eficacia de retención del 100 %, no obstante los filtros bien diseñados, con un dimensionado correcto, y bien mantenidos pueden alcanzar eficacias superiores al 99 %, y a menudo tan altas como el 99,9 % en peso. La falta de eficacia, o penetración, es mayor durante los períodos de limpieza o inmediatamente después de ellos. La pérdida de eficacia de los filtros se debe generalmente a cortocircuitos de aire ocasionados por daños en el medio filtrante, fallos en la hermeticidad o fugas en las piezas metálicas, más que por penetración a través del medio filtrante. Cuando se precisa una alta eficacia de retención, la comprobación de la estanqueidad mecánica del filtro se puede realizar introduciendo un polvo fluorescente en el equipo, y verificando la ausencia de fugas mediante iluminación ultravioleta.

La combinación de la tela y el polvo depositado sobre ella aumenta progresivamente la eficacia de filtración a medida que la torta de polvo va creciendo. Simultáneamente se observa un aumento de la resistencia al paso del aire. A menos que el ventilador que genera el flujo esté preparado para compensar este aumento de resistencia, el caudal disminuirá. En la figura 4-6 se muestra la variación de la eficacia de filtración, de la resistencia al paso del aire y del caudal con el tiempo, a medida que el polvo se acumula sobre el medio filtrante. Puesto que los filtros de tela son capaces de trabajar con concentraciones de polvo relativamente altas, la cantidad de polvo retenida sobre 1 metro cuadrado de superficie puede ser superior a 2 kg por hora. Prácticamente en cualquier aplicación, la cantidad de polvo acumulado en la torta filtrante después de pocas horas de funcionamiento puede presentar una resistencia que ocasione una disminución de caudal inaceptable.

En un filtro bien diseñado, la tela filtrante debe limpiarse antes de que la reducción de caudal sea crítica. La limpieza se consigue mediante agitación mecánica o movimiento del aire, y libera el exceso de polvo acumulado sobre su superficie, pero dejando una capa residual o torta base. La capa residual no tiene las mismas características de eficacia filtrante, ni de resistencia al paso del aire, que la tela nueva.

Los filtros disponibles en el mercado están constituidos por elementos filtrantes con forma de sacos o tubos (mangas), bolsas, o láminas plegadas en cartuchos. La mayoría de las telas filtrantes, sean tejidas o no, se emplean en forma de mangas o bolsas. Los cartuchos se fabrican con materia-

les fibrosos similares al papel, y se presentan en forma cilíndrica o plana; son de muy alta eficacia frente a concentraciones bajas de polvo seco y forma esférica, como los que se generan en operaciones de abrasión o de recubrimiento con materiales pulverulentos.

En algunas ocasiones se utilizan para confeccionar los cartuchos materiales típicos de los filtros de mangas como el polipropileno o el poliéster, suele ser debido a que las materias similares al papel no soportan temperaturas o humedades elevadas o a alguna otra característica de la corriente gaseosa. En estos casos se observa una reducción de la eficacia o de la facilidad de limpieza de los filtros.

Las variables de diseño de la mayoría de los filtros de tela disponibles son:

1. Tipo de tela (tejida o no tejida).
2. Configuración de la tela (mangas, bolsas, cartucho).
3. Tipo de servicio (continuo o intermitente).
4. Mecanismo de limpieza (golpeo, pulsaciones de aire, aire en sentido contrario).
5. Configuración de la carcasa (compartimento simple, compartimento múltiple).

Al menos dos de estas características serán interdependientes. Por ejemplo las telas no tejidas son más difíciles de limpiar, y por tanto requerirán una limpieza con aire a alta presión.

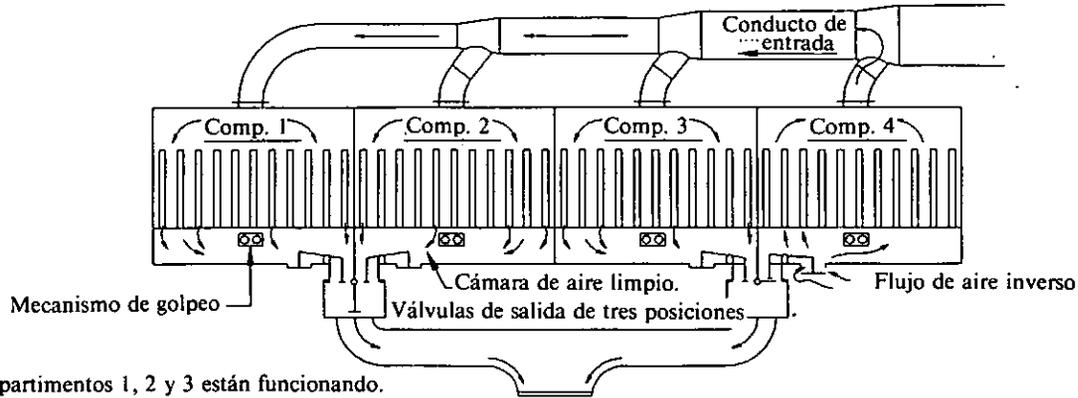
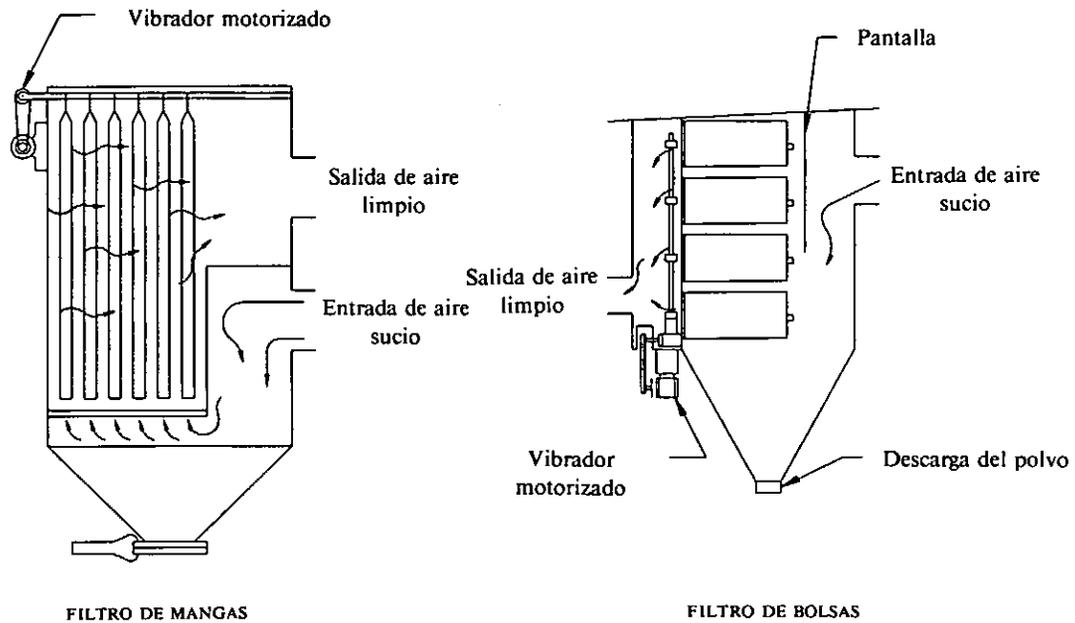
El material para una tela se selecciona en función de sus características mecánicas, químicas y térmicas. En la Tabla 4.1 se listan estas características para algunos de los materiales más comunes en la fabricación de telas filtrantes.

Los filtros se dimensionan para que sean capaces de proporcionar una superficie filtrante que posibilite la operación sin originar una pérdida de carga excesiva. El tamaño de la superficie filtrante depende de muchos factores, entre ellos:

1. Características del polvo.
2. Porosidad de la torta filtrante.
3. Concentración de polvo en la corriente gaseosa.
4. Tipo de acabado superficial de la tela, si lo hay.
5. Mecanismo de limpieza.
6. Intervalo de tiempo entre limpiezas.
7. Modelo de circulación del aire en el interior del equipo.
8. Temperatura y humedad del aire.

Debido a la cantidad de variables, y su margen de variación, el dimensionado de un filtro de tela se basa en la experiencia. Generalmente es el propio fabricante del equipo el que lo dimensiona, pero en ocasiones puede ser el propio usuario, o un tercero que posea experiencia de primera mano en una instalación igual o muy similar a la proyectada. Cuando no existe experiencia la única solución práctica para decidir el dimensionado del filtro es recurrir a ensayos sobre una instalación piloto.

El dimensionado de un filtro se expresa mediante la relación entre el caudal a filtrar y la superficie filtrante. El cociente se llama relación aire-tela, o caudal específico de filtración, cuyas unidades son metros cúbicos de aire por segundo y por metro cuadrado de superficie filtrante. Re-



Compartimentos 1, 2 y 3 están funcionando.
 Compartimento 4 desconectado para
 limpieza de material filtrante

FILTRO AUTOMÁTICO CONTINUO DE SECCIÓN MÚLTIPLE

AMERICAN CONFERENCE
 OF GOVERNMENTAL
 INDUSTRIAL HYGIENISTS

FILTROS DE TELA

FECHA 1-88

FIGURA 4-7

presenta la velocidad media de paso del aire a través del medio filtrante. En ocasiones se utiliza el sinónimo "velocidad de filtración" para referirse al caudal específico de filtración. Por ejemplo, un caudal específico de filtración de 0,03 (m³/s/m²) es equivalente a una velocidad de filtración de 0,03 m/s.

En ocasiones se utiliza el término "resistencia del filtro" para especificar el rendimiento del equipo en instalaciones grandes, tales como una central térmica. Se refiere a la pérdida de carga por unidad de caudal y unidad de superficie de la tela, y es análogo a la resistencia de un elemento de un circuito eléctrico, es decir, es la relación entre pérdida de carga y velocidad de filtración.

En la Tabla 4-2 se comparan las características de varios tipos de filtros. Los diferentes tipos se describirán detalladamente más adelante. La observación de la Tabla 4-2 facilita la comprensión de los razonamientos siguientes. La principal clasificación de los filtros viene dada en función de que su modo de operación sea continuo o intermitente. Los filtros intermitentes no pueden limpiarse mientras están en operación. Este diseño implica interrumpir el flujo de aire a través del filtro mientras que se procede a la limpieza del exceso de polvo acumulado en su superficie. Los filtros de operación continua no requieren esta interrupción para proceder a su limpieza.

Los filtros de operación intermitente pueden utilizar medios filtrantes en forma de mangas, bolsas o cartuchos y generalmente la limpieza es por vibración o sacudidas. En la Figura 4-7 se muestran esquemas de filtros de mangas y bolsas con limpieza por vibración. En el caso del filtro de mangas el aire contaminado entra por su extremo inferior, que está abierto y el polvo queda retenido en el interior. Los

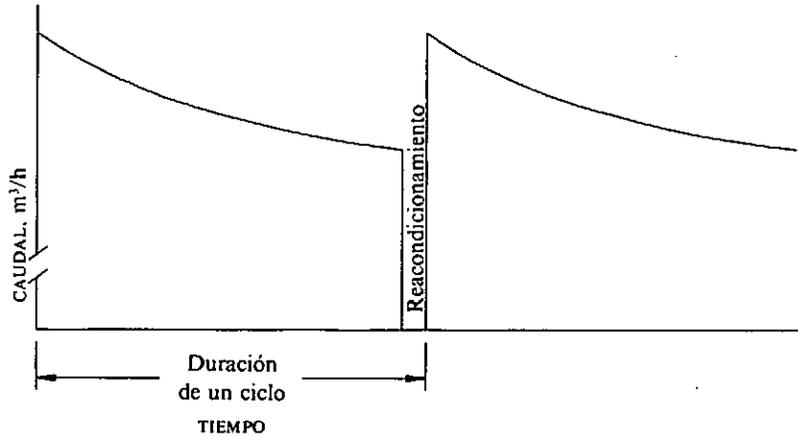
extremos inferiores de las mangas están embreadados a una placa perforada, mientras que el extremo superior está colgado en un soporte conectado al mecanismo de vibración. Puesto que el flujo de aire es desde dentro hacia fuera de la manga, éstas tienden a inflarse y no precisan ningún mecanismo de soporte para mantener su forma.

El flujo de gas en los filtros de bolsas es desde fuera hacia adentro; por lo tanto las bolsas deben tener algún sistema que mantenga su forma y evite su aplastamiento. Generalmente se usan jaulas de alambre, o se introduce un alma de alambre en el tejido de la bolsa con este fin. La parte abierta de la bolsa, a través de la cual sale el aire limpio, está unida a una placa de orificios, y el otro extremo, según el diseño puede estar sujeto a un soporte o en voladizo. El mecanismo que genera la vibración puede estar indistintamente en el compartimento de aire limpio o sucio.

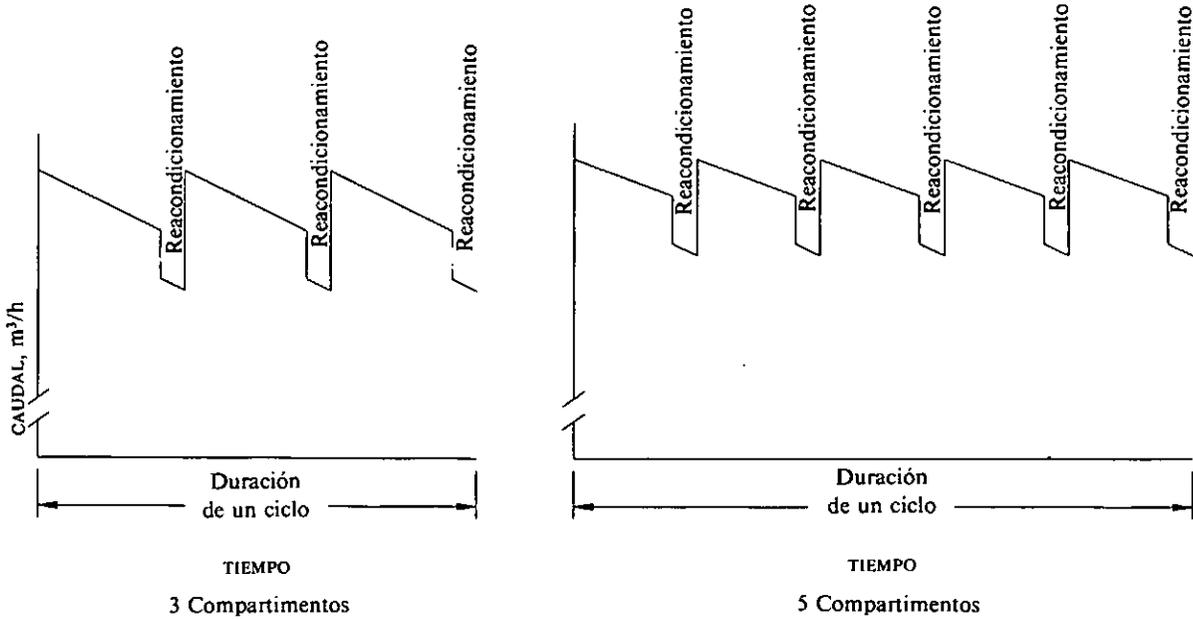
Periódicamente (generalmente a intervalos entre 3 y 6 horas) se debe suprimir el flujo de aire y limpiar el filtro. La Figura 4-8 ilustra las características del flujo de aire en un filtro de operación discontinua. A medida que el polvo se acumula sobre el medio filtrante, aumenta la resistencia al paso del aire y disminuye el caudal, hasta que se desconecta el ventilador y se limpia el filtro. En muchos casos, las variaciones de caudal debidas a cambios en las pérdidas de carga son un inconveniente, y si a ello añadimos la necesidad de detener periódicamente el flujo de aire para proceder a la limpieza, el uso de filtros intermitentes puede resultar impracticable. La limpieza puede requerir, en ocasiones, tiempos superiores a los dos minutos y debe realizarse sin que circule aire a través del filtro. Si se intenta la limpieza del filtro sin detener el paso del aire, ésta será menos efectiva y además la flexión de la tela provocada por

TABLA 4.2 Resumen de los filtros de tela y sus características

	OPERACIÓN DISCONTINUA Concentraciones bajas y medias	OPERACIÓN DISCONTINUA Concentraciones altas		OPERACIÓN CONTINUA Cualquier concentración	
Requerimientos de limpieza de la tela	Intermitente	Continuo			
Tipo de limpieza	Vibrador	Vibrador	Aire inverso (baja presión)	Inverso pulsante - (alta presión) aire comprimido o ventilador	
Configuración del depurador	Un compartimento	Múltiples compartimentos con válvulas en la entrada o la salida de cada uno		Un compartimento	
Configuración del medio filtrante	Mangas o bolsas	Mangas o bolsas	Mangas	Mangas o bolsas	Plegado en cartucho
Tipo de tela	Tejido	Tejido		Fieltro	Fieltro (lámina de papel)
Caudal de aire	Muy variable	Ligeramente variable		Prácticamente constante	Prácticamente constante
Rango del caudal específico de filtrado (velocidad de filtración, m/s)	0,005 á 0,030	0,005 á 0,015	0,005 á 0,010	0,025 á 0,060	< 0,005 á 0,012



FILTRO DE TELA DE OPERACIÓN INTERMITENTE



FILTRO DE TELA CONTINUO, DE SECCIÓN MÚLTIPLE

Nota:

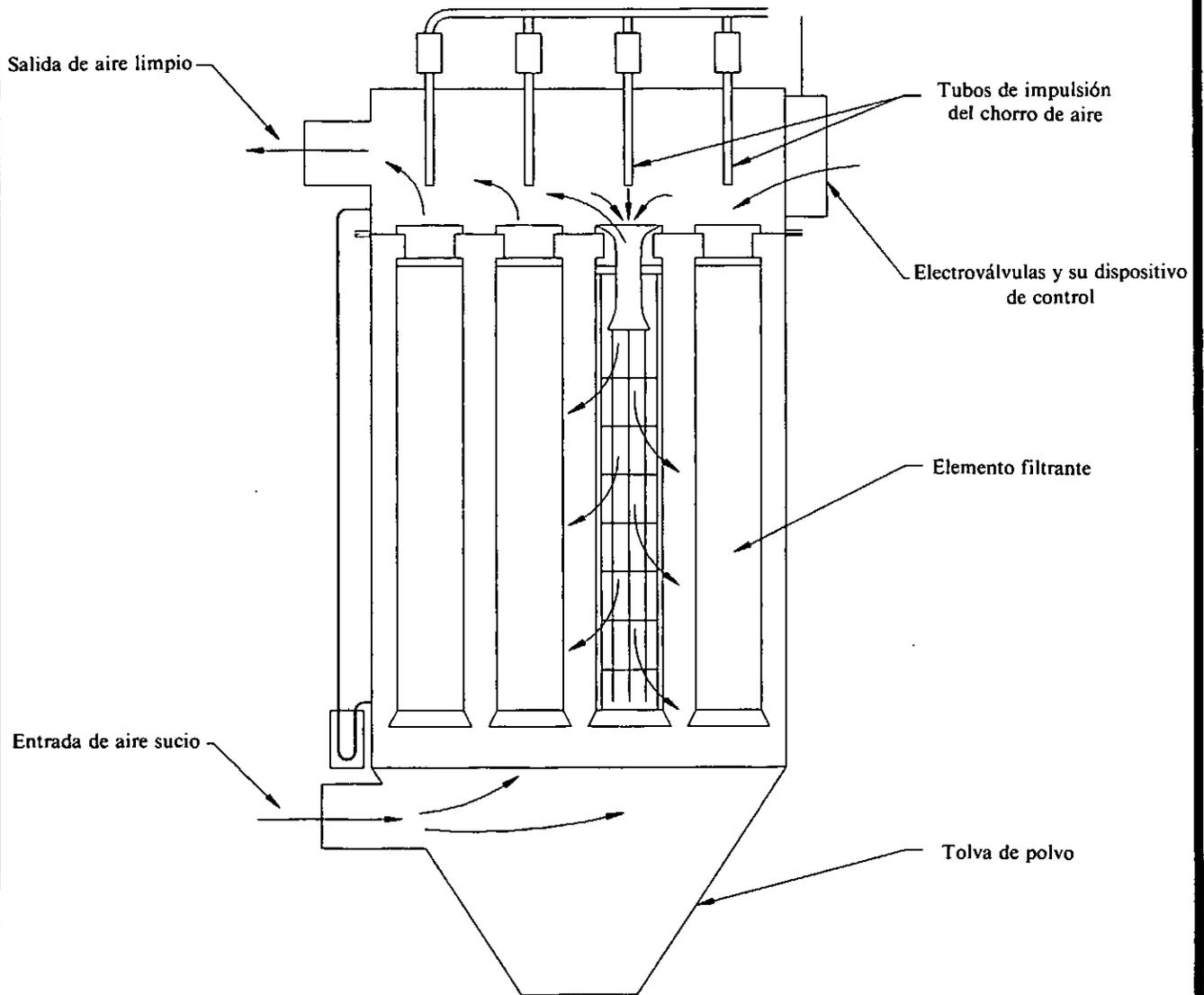
En este gráfico la variación de caudal está exagerada, y no representa el cambio porcentual que en la realidad es inferior.

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

CAUDAL DE AIRE A TRAVÉS DE
UN FILTRO DE TELA

FECHA 1-88

FIGURA 4-8



AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

*FILTROS DE TELA CON LIMPIEZA
POR CHORRO DE AIRE*

FECHA 1-88

FIGURA 4-9

la vibración facilitará el escape de cantidades considerables de polvo hacia el lado limpio del filtro.

La velocidad de filtración de los filtros intermitentes raramente supera los 0,03 m/s, los valores habituales están en el rango de 0,01 a 0,02 m/s. Las concentraciones de polvo bajas, y la posibilidad de limpiar a intervalos más cortos permiten el uso de velocidades de filtración mayores. Generalmente el caudal específico de filtración se elige de forma que la pérdida de carga a través de la tela filtrante varíe desde 50 a 125 mmcd entre el inicio y el final del ciclo de operación.

En los filtros de tela de múltiples compartimentos con funcionamiento automático y operación continua se evitan la necesidad de detener el paso de aire para limpiar el filtro, y la variación de caudal asociada al crecimiento de la torta filtrante. El uso de varias secciones, o compartimentos, tal como se ilustra en la Figura 4-7, permite una operación continua del sistema de ventilación gracias a un sistema de válvulas que periódicamente, y de forma automática, aíslan la sección sobre la que se realiza la limpieza, mientras que el resto de secciones tratan la totalidad del caudal de aire. Cuanto mayor sea el número de secciones mejor será la constancia de los valores de pérdida de carga y caudal. Los elementos filtrantes pueden ser mangas o bolsas, y el sistema de limpieza suele ser por sacudidas o vibración.

En la Figura 4-8 se muestra la variación temporal del caudal en un filtro de varias secciones. Cada sección tiene una característica similar a la de un filtro intermitente, pero la variación global queda reducida debido a la presencia de varias secciones. Nótese la menor variación de caudal en un filtro de cinco secciones en comparación a otro de tres secciones. Dado que cada sección queda fuera de servicio durante los pocos minutos que dura su limpieza y que el resto de secciones tratan la totalidad del caudal de aire durante ese tiempo, es posible proceder a la limpieza de los filtros con mayor frecuencia que en los de operación intermitente. Esta característica permite a los filtros de secciones múltiples trabajar con concentraciones de polvo mayores. Los compartimentos se limpian de forma secuencial y generalmente el intervalo de tiempo entre dos limpiezas sucesivas es ajustable.

Una variación de este diseño es el filtro de limpieza por aire inverso a baja presión. En vez de utilizar sacudidas o vibraciones para la limpieza, las mangas situadas en el compartimento aislado se soplan por medio de un ventilador secundario de baja presión que fuerza el paso de aire en dirección contraria al flujo principal. Es un método "suave" de limpieza, y fue desarrollado inicialmente para las telas fabricadas con fibra de vidrio que se utilizan en aplicaciones a alta temperatura. El flujo de aire inverso y la deformación de la manga se realizan con gran suavidad para evitar daños a las fibras de vidrio. La secuencia de control generalmente incluye varios desinflados y reinflados de las mangas para conseguir eliminar el exceso de polvo depositado sobre ellas. Las mangas tienen entre 150 y 275 mm de diámetro, y una longitud de hasta 9 metros. Para las mangas más largas se hacen pasar anillos inoxidables

por el interior para facilitar el desprendimiento de la torta de polvo. También se han utilizado combinaciones de aire inverso con sacudidas o vibración.

Cuando se utilizan las sacudidas como procedimiento de limpieza, la velocidad de filtración está en el margen de 0,005 a 0,020 m/s. La limpieza mediante aire inverso requiere velocidades de filtración inferiores, ya que la limpieza no es tan perfecta, y raramente se dimensionan velocidades de filtración superiores a 0,015 m/s. El caudal específico de filtración, o velocidad de filtración, se calcula en base a la superficie filtrante neta disponible cuando una sección está fuera de servicio para proceder a su limpieza.

Los filtros de operación continua con limpieza por chorro de aire pueden utilizar bolsas o mangas de tela no tejida (fieltros) o cartuchos de napas filtrantes de materiales similares al papel plegadas en forma plana o cilíndrica. Se diferencian de los filtros con limpieza por aire inverso a baja presión en que en este caso se utiliza para la limpieza un chorro relativamente breve de aire a alta presión. El tejido de trama y urdimbre no se utiliza en estos filtros debido a que permite una alta penetración de polvo durante la limpieza. Los equipos más comunes utilizan aire comprimido entre 6 y 8 kg/cm², en ocasiones se usan ventiladores de alta presión que trabajan a presiones inferiores pero suministran caudales de aire secundario mayores. Los que utilizan aire comprimido se suelen llamar filtros de chorro de aire, mientras que los que montan un ventilador de alta presión se llaman filtros de aire inverso pulsante.

Todos los diseños, incluidos los filtros de mangas, retienen el polvo en la parte externa con el flujo de aire de fuera hacia dentro del medio filtrante. La limpieza siempre se realiza introduciendo el chorro de aire de limpieza a través de la misma abertura por la que sale el aire limpio de la manga, bolsa o cartucho. En muchos casos la pieza de unión de la abertura de las mangas tiene forma de tubo de venturi para inducir un flujo mayor de aire y mejorar así la limpieza. El venturi también ayuda a dirigir el chorro de aire y optimizar la limpieza.

La Figura 4-9 muestra un filtro de chorro de aire típico. En operación normal (flujo de aire desde fuera hacia dentro) el tejido filtrante tiene tendencia a aplastarse, en consecuencia es necesario un soporte o jaula que lo mantenga abierto. La inyección de un chorro de aire a alta presión induce un flujo secundario de aire desde el compartimento de aire limpio en dirección contraria a la del flujo principal. La limpieza se consigue gracias a que el chorro a alta presión frena el paso de aire en la dirección principal, ocasiona un aumento de presión y el consiguiente inflado de la manga, que se separa de la jaula soporte, la torta de polvo se desmorona y se desprende el exceso de polvo acumulado. El caudal de aire secundario inducido se comporta como una válvula que impide el paso de aire en la dirección principal durante la operación de limpieza. El proceso completo, desde la inyección del chorro de aire a alta presión que inicia la inducción del flujo secundario, hasta que éste finaliza, ocurre en un tiempo aproximado de un segundo. Las electroválvulas que controlan la inyección del aire com-

primido deben ajustarse a un tiempo de abertura de una décima de segundo o menos. Para conseguir una limpieza adecuada es necesario disponer de un suministro de aire comprimido seco con la presión correcta.

Los filtros de chorro de aire a alta presión generalmente limpian menos del 10 % del total de elementos filtrantes simultáneamente. Debido a esta baja proporción de elementos que quedan fuera de servicio durante cada limpieza, y a que el aire secundario inducido impide el flujo normal del aire en los elementos sometidos a limpieza, no es necesario prever la compartimentación del filtro ni el uso de compuertas. El intervalo entre dos limpiezas sucesivas es ajustable y es considerablemente más corto que el utilizado en los filtros de limpieza por sacudidas o por aire inverso. Cada manga individual debe limpiarse a intervalos entre 1 y 6 minutos.

Gracias a estos ciclos tan cortos, en los filtros con limpieza por aire comprimido se puede trabajar con altas velocidades de filtración. Sin embargo, en todos los filtros de este tipo, el medio filtrante está en la cámara de aire sucio, y cada vez que uno de los elementos se limpia el polvo desprendido puede ser arrastrado y redepositado en una manga próxima o incluso en la misma manga. Para evitar este fenómeno de redeposición se debe limitar la velocidad de filtración con respecto a lo que sería previsible teniendo en cuenta unos intervalos entre limpiezas de pocos minutos.

Los ensayos de laboratorio (4.1) demuestran que para un diseño de filtro dado la redeposición aumenta con la velocidad de filtración. Otros trabajos experimentales (4.2) indican claramente que la redeposición es función del diseño del filtro particularmente del modo de circulación del aire en la cámara de aire sucio. Una investigación patrocinada por EPA (4.3) ha demostrado que los mejores resultados se obtienen cuando el flujo de aire sucio es hacia abajo. Esta corriente descendente reduce la redeposición porque actúa en el mismo sentido que la fuerza gravitatoria en el transporte de las partículas de polvo hacia la tolva de recogida.

En los filtros de chorro de aire las velocidades de filtración habituales están comprendidas entre 0,025 y 0,060 m/s. En los filtros de cartucho, también con limpieza por chorro de aire, la velocidad de filtración está limitada al margen de 0,005 a 0,012 m/s debido a que la configuración en pliegues implica una velocidad de aproximación muy alta y una mayor redeposición.

4.3.3 Depuradores húmedos: Los depuradores húmedos, o lavadores de gases, están disponibles en el mercado en una gran variedad de diseños, con pérdidas de carga que van desde 35 hasta 2500 mmca. Existe una correspondencia entre esta magnitud y la eficacia. En general se acepta que, para un equipo bien diseñado, la eficacia depende de la cantidad de energía utilizada para conseguir el contacto aire-agua, y es independiente del modo de operación. La eficacia es una función del consumo total de energía por unidad de caudal de aire tanto si la energía se comunica al agua como al aire. La consecuencia es que los lavadores bien diseñados producidos por diferentes fabricantes ten-

drán una eficacia similar si su consumo de energía es el mismo.

Los lavadores pueden tratar gases a altas temperaturas o saturados de humedad. La captación de polvo en húmedo no tiene el problema de la generación secundaria de polvo al manipular o transportar el material recogido en el filtro. Cuando un material pulverulento presenta riesgos de incendio o explosión en estado seco, el uso de depuradores húmedos evita, o al menos disminuye, este riesgo. Sin embargo el uso de agua puede favorecer los fenómenos de corrosión en el interior del equipo, y si se piensa instalar el equipo a la intemperie en un lugar de clima frío es preciso protegerlo de las heladas. Las necesidades de espacio son normales. Las pérdidas de carga y eficacias varían ampliamente según los diferentes diseños.

Los lavadores, en particular los de alta energía, se han utilizado frecuentemente para evitar problemas de contaminación atmosférica. Hay que tener muy en cuenta que la evacuación del material recogido mezclado con el agua puede ocasionar problemas de contaminación de las aguas si no se depura correctamente.

Los depuradores húmedos, tienen una característica exclusiva: su capacidad de humidificar el aire. La humidificación es un proceso que consiste en añadir vapor de agua a una corriente de aire mediante evaporación, puede ser una ventaja o un inconveniente según la situación en que se presente. Cuando la corriente inicial de aire está a alta temperatura, y no saturada, la humidificación reduce la temperatura, y por tanto disminuye el caudal volumétrico del flujo que atraviesa el depurador. Suponiendo que el ventilador esté situado después del depurador, se precisará un ventilador más pequeño y con menor consumo de potencia que si no se hubiese producido el enfriamiento. Esta es una de las ventajas evidentes de la humidificación; sin embargo, existen situaciones en las que la aportación de vapor de agua a la corriente de aire es indeseable. Por ejemplo, descargar aire húmedo en un lugar con aire acondicionado generalmente supone un exceso de carga en el equipo de acondicionamiento de aire que no puede ser admitido. Una humedad alta también puede ocasionar problemas de corrosión en piezas o materiales acabados. Por lo tanto es preciso tener en cuenta las consecuencias de la humidificación antes de dar por finalizado un diseño. Aunque todos los lavadores humidifican, la capacidad de humidificación varía según los diseños. La mayoría de fabricantes publican datos sobre la capacidad de humidificación de sus equipos, y pueden aconsejar en el momento de evaluar las consecuencias.

Cámaras o Torres de lavado: Las torres de lavado consisten en una cámara de forma rectangular o cilíndrica en cuyo interior se introduce agua a través de boquillas pulverizadoras. Existen una gran cantidad de diseños, no obstante el mecanismo primario es el impacto de las partículas de polvo en las gotas de agua. Las gotas se separan de la corriente de aire por fuerza centrífuga o impacto.

La pérdida de carga es relativamente baja (del orden de

12 a 35 mmcda) pero la presión del agua puede variar entre 0,6 y 25 kg/cm². Los equipos de alta presión son la excepción. En general, estos equipos utilizan agua a baja presión y son los de menor eficacia entre los depuradores húmedos. Cuando el suministro de agua es a alta presión, como ocurre en las cámaras de niebla, la eficacia puede llegar a los valores máximos en el grupo de los depuradores húmedos.

En los equipos convencionales el consumo de agua es razonable, con un máximo de aproximadamente 0,6 l/h de agua por Nm³/h de gas. Las cámaras de niebla que utilizan agua a alta presión pueden consumir hasta 1,2 l/h de agua por Nm³/h de gas.

Torres de relleno: Las torres de relleno (Figura 4-10) son esencialmente lechos de contacto en los que las corrientes de agua y gas circulan simultáneamente, en contracorriente o en flujos paralelos. Se utilizan fundamentalmente para eliminar gases, vapores o nieblas. Pueden eliminar partículas sólidas pero no se usan con este fin debido a que el polvo obstruiría los pasos a través del relleno y el mantenimiento del equipo sería impracticable.

En las torres de relleno el caudal de agua varía entre 0,6 y 1,2 l/h por Nm³/h de aire. El agua se distribuye en la parte superior mediante canales en forma de V construidos con material cerámico o de plástico. Los efectos que pueden ocasionar gases a altas temperaturas se evitan con aislamientos refractarios, lo que permite trabajar con gases efluentes de hornos hasta 900 °C.

La pérdida de carga de la corriente de aire en una torre de 1,2 m de altura con un relleno de piezas cerámicas, varía entre 35 y 90 mmcda. La velocidad transversal (velocidad del aire en la entrada al lecho de relleno) está comprendida entre 1 y 1,5 m/s.

Depuradores centrífugos por vía húmeda: En este apartado se incluyen una gran cantidad de diseños comerciales de depuradores húmedos (Figura 4-11). En estos equipos se utiliza la fuerza centrífuga para acelerar las partículas de polvo lanzándolas contra una superficie mojada que actúa de colector. El consumo de agua varía entre 0,25 y 0,6 l/h por Nm³/h de gas depurado. La distribución del agua puede ser a través de boquillas de pulverización, caída libre o pulverización inducida. La pérdida de carga está comprendida entre 50 y 150 mmcda.

En general este tipo de depuradores es más eficaz que las torres de lavado. Algunos modelos están disponibles con un número variable de secciones de impacto. La reducción del número de secciones disminuye la eficacia, el coste del equipo, la pérdida de carga y el espacio necesario. Otros diseños incluyen tubos colectores múltiples. Para un caudal de aire dado, la disminución del diámetro de los tubos proporciona mayor eficacia ya que la fuerza centrífuga es mayor.

Precipitador dinámico húmedo: El precipitador dinámico húmedo (Figura 4-12) es una combinación de ventilador y captador de polvo. Las partículas de polvo contenidas en la

corriente de aire sucio impactan sobre los álabes de un ventilador que se mantienen mojados mediante boquillas pulverizadoras. Las partículas de polvo chocan con las gotas de agua y son recogidas junto con ella mediante una pieza metálica cónica, mientras que el aire limpio describe un giro de 180 grados y sale por la parte frontal de los álabes impulsores, especialmente diseñados al efecto. El agua sucia se dirige hacia la salida de lodos y el aire limpio sale a través de un separador de gotas.

Depuradores húmedos de rendija: En este tipo de lavador (Figura 4-12) el aire que atraviesa el depurador se pone en contacto con una lámina de agua en un estrangulamiento o rendija. El flujo de agua puede ser inducido por la propia velocidad de la corriente de aire, o mediante una bomba y vertederos. Las pérdidas de carga varían desde los 25 mmcda o menos de la cortina de agua de una cabina de pintura hasta los 75 a 150 mmcda de la mayoría de diseños industriales. En algunos equipos diseñados para eliminar partículas muy pequeñas se llega a valores tan altos como 500 mmcda.

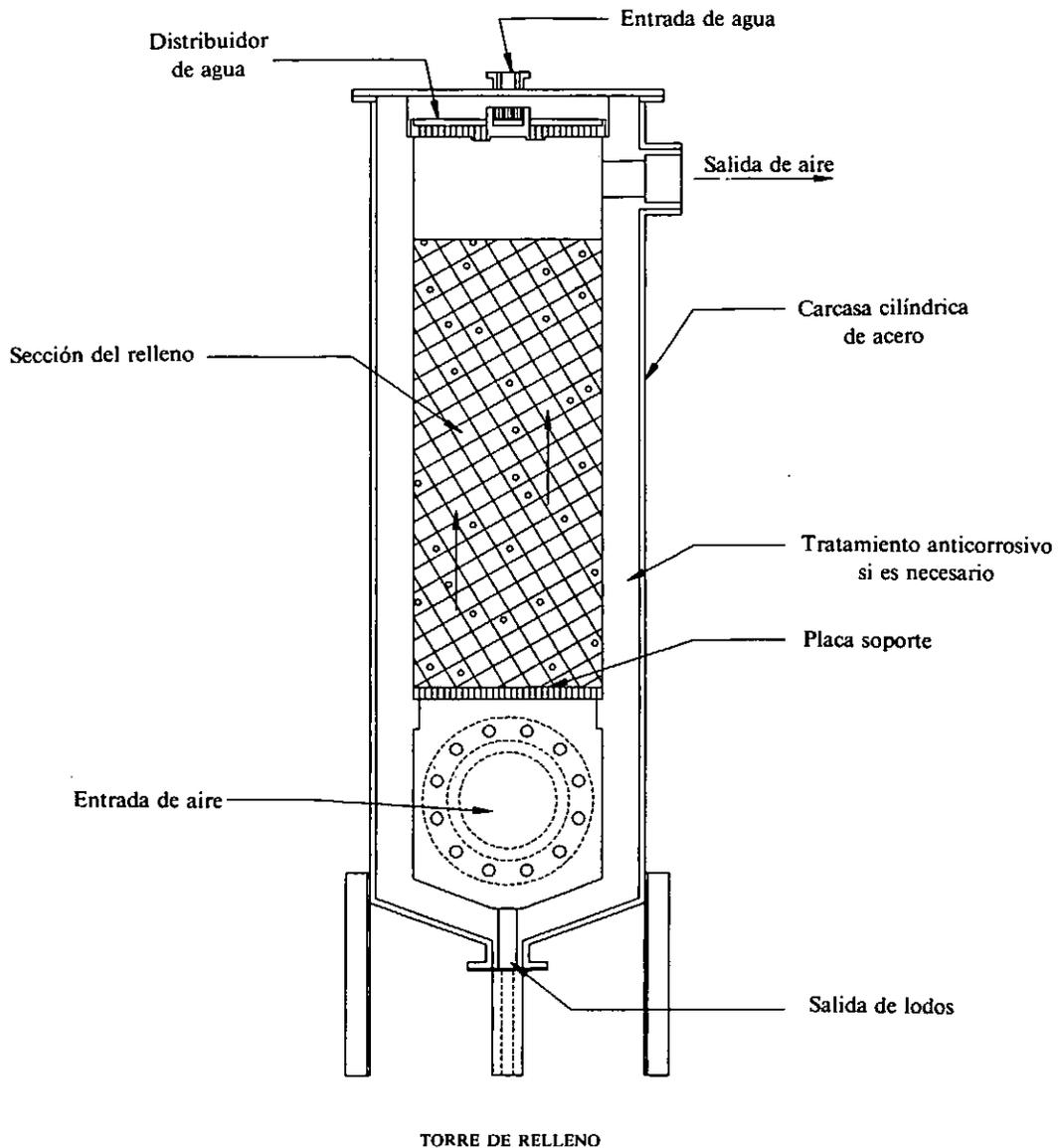
Venturi: El depurador de tipo venturi (Figura 4-11) utiliza un estrangulamiento en forma de venturi para conseguir velocidades en la garganta considerablemente superiores a las que se obtienen con los diseños de rendija. La velocidad del gas en la garganta puede estar comprendida entre 60 y 120 m/s. El agua se suministra a través de tuberías o inyectores situados aguas arriba o en la misma garganta, a un caudal comprendido entre 0,6 y 2 l/h por Nm³/h de gas.

El mecanismo de captación de polvo del venturi es el impacto. Al igual que en el resto de los depuradores húmedos la eficacia aumenta con la pérdida de carga. La pérdida de carga deseada se obtiene diseñando la garganta para una velocidad del aire en consonancia con ella. Algunos venturis están diseñados con una garganta variable posibilitando la operación en diferentes condiciones de pérdida de carga para un caudal dado, o con un caudal variable para una pérdida de carga dada. Existen sistemas con pérdidas de carga de sólo 125 mmcda con una eficacia de captación moderada, y otros con pérdidas de carga tan altas como 2.500 mmcda para la captación de partículas muy pequeñas.

El venturi es en sí mismo un acondicionador de aire ya que provoca un contacto muy íntimo entre las partículas contenidas en el gas y el agua de lavado. La mezcla resultante de gases, aglomerados de polvo o humos y el agua sucia debe canalizarse hacia una sección de separación de gotas tal como se indica en la Figura 4-11.

4.3.4 Separadores centrífugos por vía seca: Los separadores centrífugos por vía seca eliminan las partículas contenidas en una corriente de aire mediante la acción de fuerzas centrífugas, gravitacionales o de inercia. La eficacia de captación depende de:

1. El tamaño, forma y peso de las partículas. El rendimiento es superior cuanto mayores sean el tamaño y

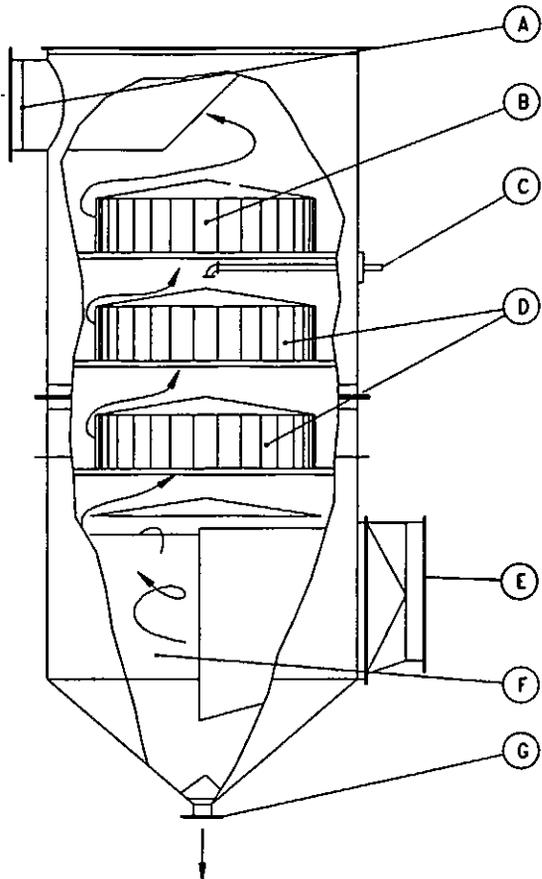


AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

*DEPURADOR HÚMEDO (TORRES DE RELLENO)
(PARA CONTAMINANTES EN FASE GAS)*

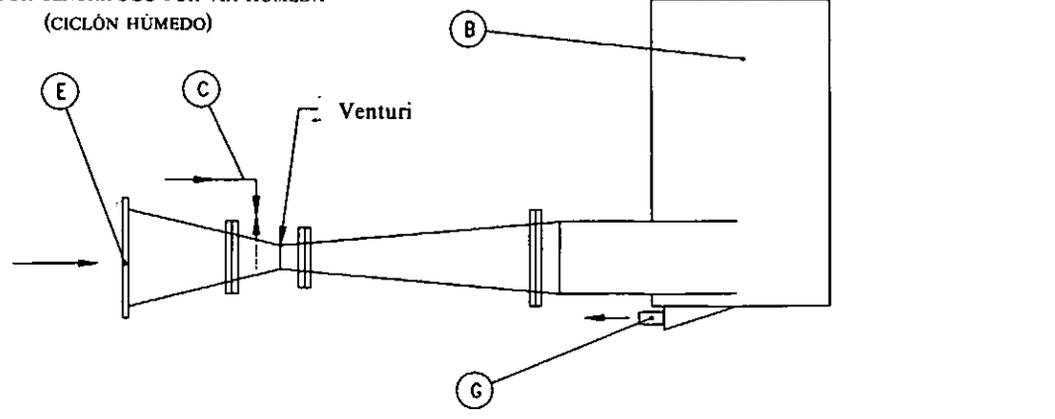
FECHA 1-88

FIGURA 4-10



Símbolo	Elemento
A	Salida de aire limpio
B	Separador de gotas
C	Entrada de agua
D	Placas de impactación
E	Entrada de aire sucio
F	Ciclón húmedo para la captación de materias gruesas
G	Drenaje de agua y lodo

DEPURADOR CENTRÍFUGO POR VÍA HÚMEDA
(CICLÓN HÚMEDO)



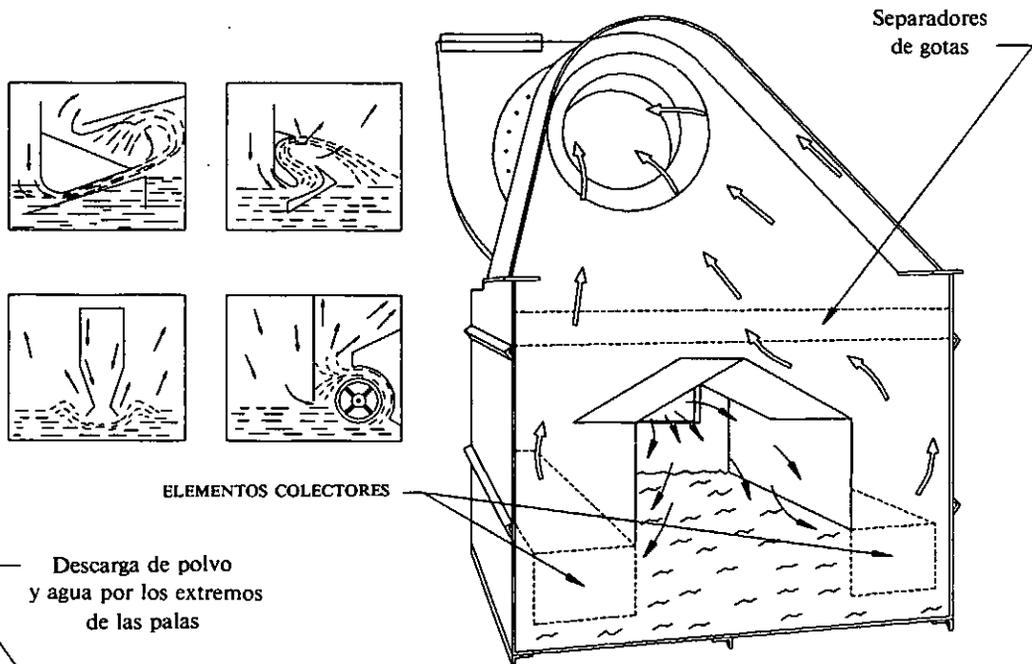
LAVADOR VENTURI

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

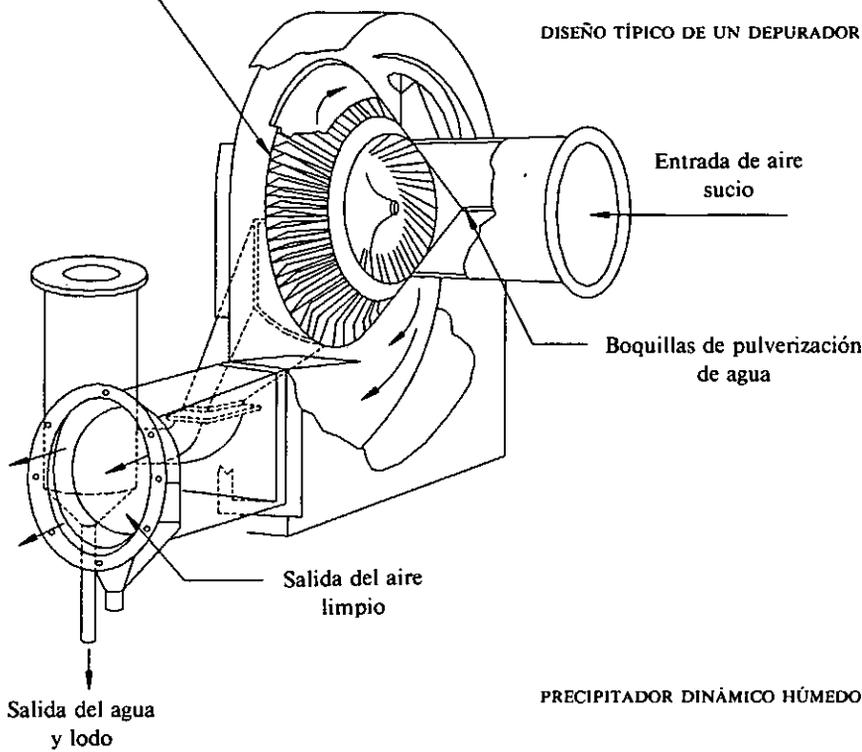
DEPURADOR HÚMEDO
(PARA CONTAMINANTES PARTICULADOS)

FECHA 1-88

FIGURA 4-11



DISEÑO TÍPICO DE UN DEPURADOR HÚMEDO CON ESTRANGULAMIENTO



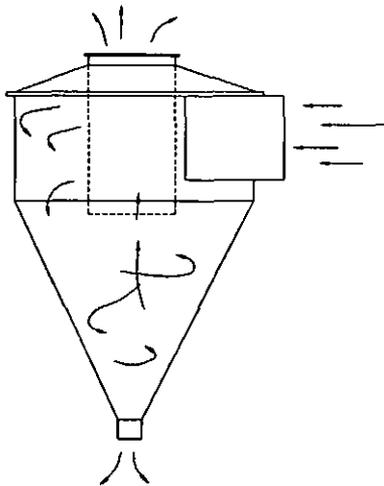
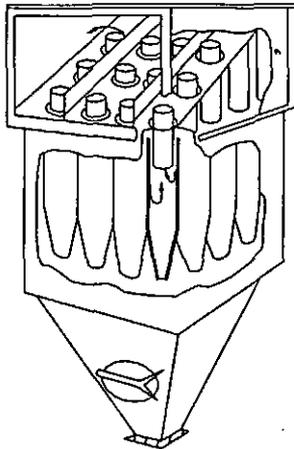
PRECIPITADOR DINÁMICO HÚMEDO

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

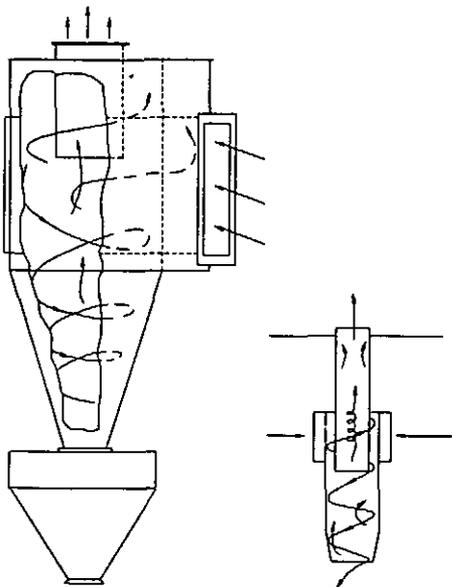
DEPURADOR HÚMEDO
(PARA CONTAMINANTES PARTICULADOS)

FECHA 1-88

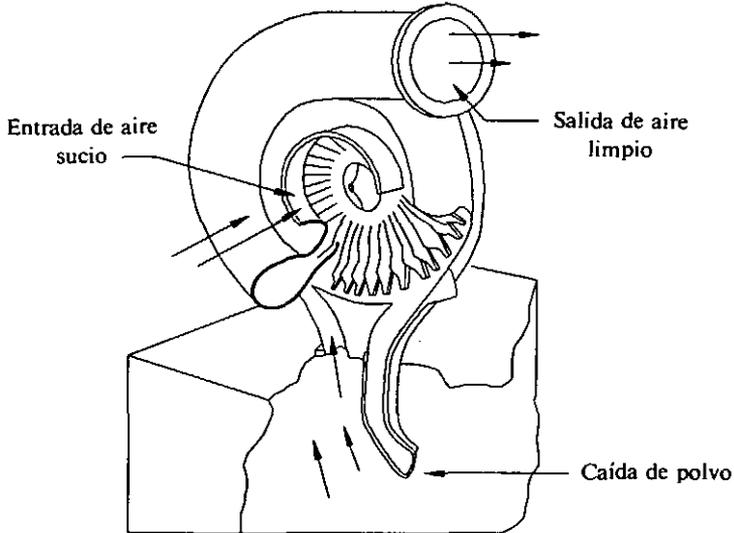
FIGURA 4-12



CICLÓN DE BAJA PRESIÓN



CICLONES DE ALTA EFICACIA



PRECIPITADOR DINÁMICO SECO

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

SEPARADORES CENTRÍFUGOS POR VÍA SECA

FECHA 1-88

FIGURA 4-13

peso de las partículas y cuando más se aproxime su forma a la esférica.

2. El diseño y tamaño del separador. La captación de polvo fino con estos depuradores precisa de un diseño que aproveche al máximo las posibilidades de las fuerzas mecánicas y se ajuste a las necesidades de la aplicación prevista.
3. La velocidad. La pérdida de carga en un separador ciclónico es proporcional aproximadamente al cuadrado de la velocidad de entrada. Existe sin embargo una velocidad óptima que dependerá del diseño del equipo, las características del polvo y la temperatura y densidad del gas.
4. Concentración de polvo. En general la eficacia de un separador mecánico aumenta a medida que aumenta la concentración de polvo.

Cámaras de sedimentación (Separadores de gravedad):

Las cámaras de sedimentación consisten en un recinto o volumen en el que se hace decrecer rápidamente la velocidad de la corriente gaseosa, de forma que las partículas sedimentan por gravedad. La necesidad de disponer de grandes espacios y la existencia de corrientes turbulentas hacen que este método sea inaplicable excepto para separar partículas muy grandes.

Separadores inerciales: Los separadores inerciales se basan en la dificultad que tiene una partícula para realizar cambios bruscos de dirección ya que su inercia es mayor que la del gas portador. Para ocasionar cambios bruscos de dirección de 120 grados o mayores se utilizan rejillas o láminas de una gran variedad de formas. Los separadores inerciales mejor diseñados pueden lograr eficacias del orden del 90 % en la separación de partículas del tamaño de 10 a 20 micras.

Precipitador dinámico: El precipitador dinámico es una combinación de ventilador y separador de polvo (Figura 4-13), construido con un gran número de palas unidas a un disco cóncavo. El giro del rodete crea la fuerza necesaria para aspirar el aire sucio y comunicarle un giro de casi 180 grados antes de enviarlo hacia la abertura de salida de aire limpio. Las partículas de polvo son lanzadas por fuerza centrífuga hacia los extremos de las palas desde donde son conducidas por un circuito secundario hacia la tolva de recogida del polvo.

Ciclón: El ciclón (Figura 4-13) es muy utilizado para la separación de polvo grueso, actuando como un depurador previo a otro captador de mayor eficacia, y también como separador de aire-materia en los circuitos de transporte neumático. Sus principales ventajas son el bajo coste, poco mantenimiento y una pérdida de carga relativamente baja (entre 20 y 40 mmca). No es adecuado para la separación de partículas finas.

Ciclón de alta eficacia: Los ciclones de alta eficacia (Figura

4-13) se diseñan para obtener mayores fuerzas centrífugas sobre las partículas transportadas por el aire. Como la fuerza centrífuga es función de la velocidad periférica y de la aceleración angular, la mejora de la eficacia de separación se consigue mediante:

1. Aumento de la velocidad de entrada.
2. Alargamiento del cuerpo y del cono del ciclón.
3. Montando varios ciclones de poco diámetro en paralelo.
4. Colocando varias unidades en serie.

Aunque los ciclones de alta eficacia no tienen un rendimiento de separación tan alto como el que puede tener un precipitador electrostático, un filtro de tela o un depurador húmedo, su eficacia es significativamente más alta que la que tienen otros equipos mecánicos. La pérdida de carga de estos ciclones varía entre 75 y 200 mmca.

4.4 DATOS ADICIONALES ÚTILES PARA LA SELECCIÓN DE UN CAPTADOR DE POLVO

En la Figura 4-14 se representan gráficamente las eficacias de captación de los cinco grupos de equipos de depuración de aire en función del tamaño de partícula. Las relaciones representadas son el resultado de ensayos de laboratorio y pruebas de campo, no estimaciones o resultados obtenidos con modelos matemáticos. Las líneas de cada grupo indican el rango previsto para depuradores que operen según el mismo principio. Otras variables, tales como el tipo de polvo, velocidad del aire, caudal de agua, etc., también pueden tener influencia en el margen de eficacias observable en una aplicación concreta.

Las líneas de desviación mostradas en el vértice superior derecho sirven para estimar el tamaño medio másico del efluente de un captador cuando se conoce el tamaño medio en la entrada. Por razones de espacio no es posible dar aquí una explicación detallada del procedimiento seguido para la determinación de estas líneas, pero el ejemplo siguiente ilustra el modo de utilización. Las líneas de desviación no son aplicables a los precipitadores electrostáticos, pero se pueden utilizar con los demás equipos de depuración indicados en la parte baja del gráfico.

Ejemplo: Como ilustración del uso del gráfico se va a seleccionar un depurador para un horno de yeso. Según la Figura 4-14, la concentración y el tamaño de las partículas en la salida de un horno pueden variar entre 6.000 y 20.000 mg/m³, y entre 5 y 10 micras de tamaño medio másico. Supondremos que la concentración de entrada es de 15.000 mg/m³ y el tamaño medio de 9 micras. Haciendo pasar por este punto una línea vertical hasta la zona en que están representadas las eficacias de depuración, podemos ver que un ciclón de baja resistencia tendrá una eficacia inferior al 50 %, un ciclón de alta eficacia entre el 60 y 80 %, y que un depurador húmedo, filtro de tela o precipitador electrostático del 97 %. Generalmente es aconsejable instalar un

TABLA 4-3 Guía para selección de captadores de polvo

Aplicación	Tipos de captadores utilizados industrialmente							Comen- tario N.º
	Concen- tración Nota 1	Tamaño de partícula Nota 2	Ciclón	Depurador Húmedo	Filtro de tela	Electrostático		
						Bajo volt	Alto volt	
INDUSTRIA CERÁMICA								
a. Manipulación de materias primas	baja	fino	F	F	F	N	N	1
b. Eliminación de rebabas	baja	fino medio	R	R	F	N	N	2
c. Corte de material refractario	alta	grueso	N	R	F	N	N	3
d. Aplicación aerográfica de barnices vitrificables	media	medio	N	F	F	N	N	
INDUSTRIA QUÍMICA								
a. Manipulación de materiales	baja	fino medio	F	F	F	N	N	50 4
b. Machacado, molienda	media alta	fino grueso	F	F	F	N	N	5
c. Transporte neumático	muy alta	fino grueso	F	R	F	N	N	6
d. Tostadores, Hornos, Enfriadores	alta	medio-grueso	F	F	F	F	N	7
MINERÍA DE CARBÓN Y CENTRALES TÉRMICAS								
a. Manipulación de materiales	media	medio	F	F	F	N	N	50 8
b. Ventilación de rellenos	media	fino	R	R	F	N	N	9
c. Desempolvado, limpieza de aire	alta	medio-grueso	R	F	F	N	N	10
d. Secado	media	fino	N	F	R	N	N	11
CENIZAS VOLANTES								
a. Comb. de carbón-parrilla	baja	fino	R	R	F	N	F	12
b. Comb. de carbón-fogón	media	fino-grueso	R	R	F	N	F	
c. Comb. de carbón-pulverizado	alta	fino	R	R	F	N	F	13
d. Combustión de madera	varía	grueso	R	F	F	N	R	14
FUNDICIÓN								
a. Vibrador	baja media	fino	N	F	F	N	N	15
b. Manipulación de arena	media	fino medio	N	F	F	N	N	16
c. Bombos de granallado	alta	medio-grueso	N	F	F	N	N	17
d. Rebarbado	media alta	fino medio	N	F	F	N	N	18
ELEVADORES DE GRANO, MOLINOS DE HARINA Y PIENSO								
a. Manipulación de grano	baja	medio	F	R	F	N	N	19
b. Secaderos de grano	baja	grueso	R	R	F	N	N	20
c. Polvo de harina	media	medio	F	R	F	N	N	21
d. Molino de pienso	media	medio	F	R	F	N	N	22
FUSIÓN DE METALES								
a. Acero. Horno alto		varía	N	F	R	N	R	50 23
b. Acero. Horno Martin-Siemens	media	fino grueso	N	F	R	N	R	24
c. Acero. Horno eléctrico	baja	fino	N	R	F	N	R	25
d. Aleac. Férricas. Cubilote	media	varía	N	F	F	N		26
e. Aleac. no férr. Reverbero	varía	fino	N	R	F	R	N	27
f. Aleac. no férr. Crisol	baja	fino	N	R	F	N	N	28
MINERÍA METÁLICA Y CANTERAS								
a. Manipulación de materiales	media	fino medio	N	F	F	N	N	29
b. Secaderos. Hornos	media	medio-grueso	N	F	F	N	F	30
c. Secado de rocas cementeras	media	fino medio	N	R	R	N	R	31
d. Horno de cemento	alta	fino medio	N	N	F	N	R	32
e. Molino de cemento	media	fino	N	N	F	N	N	33
f. Enfriado de clinker	media	grueso	N	N	F	N	N	34

TABLA 4-3 Guía para selección de captadores de polvo

Aplicación	Tipos de captadores utilizados industrialmente							Comentario N.º
	Concen- tración Nota 1	Tamaño de partícula Nota 2	Ciclón	Depurador Húmedo	Filtro de tela	Electrostático		
						Bajo volt	Alto volt	
TRABAJO DE METALES								
a. Rebarbado, pulido basto, tronzado	baja	grueso	F	R	F	N	N	50
b. Amoladora radial	baja	medio	F	R	F	N	N	35
c. Pulido	baja	varía	R	R	F	N	N	36
d. Taller de mecanizado	baja	fino	R	F	R	N	N	37
e. Mecanizado de fundición	media	varía	F	F	F	R	N	38
PRODUCTOS FARMACÉUTICOS Y ALIMENTACIÓN								50
a. Mezcladores, molinos, pesado mezclado, envasado, empaquetado	baja	medio	F	F	F	N	N	38
b. Recubrimientos	varía	fino medio	N	F	F	N	N	40
PLÁSTICOS								50
a. Procesado de materia prima	(Ver los comentarios de Industria Química)		F	R	F	N	N	41
b. Acabado de plásticos	baja media	varía	R	R	F	N	N	42
PRODUCTOS DE CAUCHO								50
a. Mezcladores	media	fino	R	F	F	N	N	43
b. Cilindros	baja	fino	R	F	R	R	N	44
c. Entalcado y desentalcado	media	medio	R	R	F	N	N	45
d. Molido	media	grueso	F	F	F	N	N	46
TRABAJO DE LA MADERA								50
a. Máquinas de trabajar madera	media	varía	F	R	F	N	N	47
b. Aserrado	media	fino	F	R	F	N	N	48
c. Transporte de virutas	alta	varía	F	R	F	N	N	49

Nota 1: baja: inferior a 4600 mg/m³; media: entre 4600 y 11500 mg/m³; alta: superior a 11500 mg/m³.

Nota 2: fino: 50 % inferior a 5 micras; medio: 50 % entre 5 y 15 micras; grueso: 50 % superior a 15 micras.

Nota 3: F: frecuente; R: raro; N: nunca.

Comentarios a la Tabla 4.3

- El polvo se genera en las operaciones de llenado de silos, transporte, dosificación y pesada, mezclado, prensado y conformado. La generación es mayor en el barnizado en seco, tamizado y trabajo con productos refractarios.
- Proceso usual en el barnizado vitrificable, azulejería y alfarería.
- Operaciones de corte con disco abrasivo o amolado. El polvo es abrasivo.
- Operaciones de elevación, transporte, mezclado, tamizado, dosificado, empaquetado. La variedad de productos es tan amplia que las soluciones recomendadas pueden variar ampliamente.
- A menudo se utilizan ciclones de alta o baja eficacia como depuradores previos a un filtro de tela o depurador húmedo.
- Los ciclones se usan como separadores del material, seguidos de un filtro de tela para obtener un conjunto de alta eficacia.
- La concentración de polvo define la necesidad de utilizar un separador ciclónico seco. La ubicación de la planta y el valor del producto define la necesidad de usar un depurador posterior. Son frecuentes temperaturas altas y no es raro el caso de que los gases sean corrosivos.
- Transporte, tamizado, molido, descarga.
- Alejado de otros puntos de producción de polvo. Generalmente se usan depuradores independientes.
- Las altas concentraciones obligan a utilizar depuradores de alta eficacia excepto en emplazamientos muy apartados.
- Es un problema difícil, pero el uso de depuradores será cada vez más frecuente debido al énfasis en la contaminación atmosférica.
- Las molestias a la población en los procesos de parada son una indicación de la necesidad de instalar depuración.
- Las instalaciones grandes en áreas urbanas precisan de precipitadores electrostáticos además de separadores centrifugos.
- Las molestias a la población por partículas sedimentables son una indicación de la necesidad de instalar depuración.
- Generalmente están presentes gases calientes y vapor de agua.
- Hay vapor procedente de la arena caliente y arcilla amalgamante.
- Concentraciones muy altas al inicio del ciclo.
- La mayor concentración se da en el chorreado sin aire debido a las altas velocidades de limpieza. La capacidad abrasiva es mayor si se usa arena en vez de granalla o perdigones. Las cantidades que se evacúan son mayores si las piezas proceden de moldes de arena, menores si son de forja, y mínimas si son de soldadura.

Comentarios a la Tabla 4.3 (Cont.)

19. Operaciones tales como descarga de carros, transporte, dosificación, almacenaje.
20. El equipo de depuración es caro pero las quejas de la población son cada vez más frecuentes.
21. Operaciones en equipos tales como transportadores, bombos de limpieza, purificadores, silos y empaquetadoras.
22. Operaciones en equipos tales como transportadores, silos, molinos de martillos, mezcladores, alimentadores y empaquetadoras.
23. Generalmente un depurador primario por vía seca y un depurador final de tipo húmedo. Se añade un depurador electrostático cuando se desea la máxima depuración.
24. Hasta hace poco no era usual instalar depuradores. El énfasis en la contaminación atmosférica presiona para que se instalen.
25. Las normas sobre contaminación atmosférica probablemente exigirán un uso cada vez mayor de los filtros de tela.
26. Generalmente no se usan depuradores, pero el énfasis en la contaminación atmosférica genera la necesidad.
27. Durante las adiciones de zinc se dan altas concentraciones de óxido. La temperatura de la chimenea es alta.
28. El penacho de óxido de zinc puede ser causa de problemas en función de la ubicación de la planta.
29. Comprende molienda, tamizado y transporte. Los minerales húmedos introducen vapor de agua en el circuito de extracción de aire.
30. Se usan separadores centrífugos como primarios, seguidos de un depurador final.
31. El depurador se instala fundamentalmente para evitar molestias a la población.
32. Generalmente el depurador posibilita la recuperación de productos y también evita las molestias causadas en la zona por las partículas sedimentables.
33. El ahorro por la recuperación de productos es importante. Se utiliza el mismo equipo en la molienda de la materia prima antes de calcinarla.
34. Las partículas abrasivas de tamaño grande se eliminan fácilmente con depuradores primarios.
35. Se pueden producir manchas en los tejados y deposición de partículas sobre vehículos si se utilizan ciclones y con más dificultad si se utilizan separadores centrífugos secos de alta eficacia. En ocasiones se utilizan filtros para altas concentraciones como depuradores finales.
36. Las partículas filamentosas y los productos de pulir pueden ocasionar obstrucciones y riesgos de incendio en los depuradores secos.
37. Se usan mucho los filtros compactos, especialmente en máquinas herramienta aisladas.
38. El tamaño varía entre virutas y polvo flotante incluyendo grafito.
39. Los productos son muy variables. La selección del captador depende de su valor económico, toxicidad, normas sanitarias.
40. El control de temperatura y humedad en el aire suministrado a los recubrimientos aconsejan la recirculación.
41. La manufactura de plásticos está muy relacionada con la industria química y varía en función de las operaciones implicadas.
42. Las operaciones y selección del captador son muy similares a las de trabajo de la madera (ver el punto 13).
43. La concentración es muy alta en las operaciones de carga. El negro de humo y otros aditivos en forma de polvo fino hacen que la captación y la evacuación del polvo sean complicadas.
44. A menudo no se utiliza ningún captador si las condiciones locales o la dispersión por la chimenea son favorables.
45. El valor económico del producto recogido determina la eficacia necesaria del captador.
46. Hay que tener en cuenta los riesgos de incendio en algunas operaciones.
47. Material a granel. El almacenamiento del material captado y la formación de bóvedas pueden ser un problema.
48. Los separadores centrífugos secos no son suficientemente eficaces frente a las altas concentraciones de polvo fino que se generan en el aserrado.
49. El depurador primario viene definido por la concentración y el tamaño de las partículas implicadas en el proceso, cuando se instala un depurador húmedo o filtro de tela es como depurador final.
50. Consultar las publicaciones de NFPA sobre riesgos de incendio de, p. ejem. circonio, magnesio, aluminio, madera, plástico, etc.

depurador primario cuando la concentración de polvo es superior a 10000 mg/m^3 , a menos que no sea conveniente tener el polvo recogido clasificado por tamaños. En nuestro ejemplo seleccionamos un ciclón de alta eficacia como depurador primario. La eficacia media de este aparato es, en nuestro caso, del 70 %, por lo tanto en el efluente existirá una concentración de $15000 \times (1,00 - 0,70) = 4500 \text{ mg/m}^3$. Trazamos una línea por el punto inicial paralela a la línea de desviación señalada como "polvo industrial". Como la desviación real es desconocida, la media de este grupo de líneas es suficientemente precisa como estimación del tamaño medio de las partículas en el efluente del depurador. Por el punto de intersección de la línea horizontal que representa la concentración de 4500 mg/m^3 , y la línea de desviación trazada a partir del punto original, se traza una vertical que nos indica, en el eje de abscisas, que el tamaño medio de las partículas en el efluente es de 6 micras.

Un ciclón de alta eficacia montado en serie con el anterior tendría una eficacia inferior al 50 % con este efluente. Un depurador húmedo, filtro de tela, o precipitador electrostático, tendrá una eficacia superior al 94 %. Si suponemos que con un buen depurador húmedo obtendremos una eficacia del 98 %, en su efluente la concentración será $4500 \times (1,00 - 0,98) = 90 \text{ mg/m}^3$. Utilizando la misma línea de desviación que antes, en su intersección con la horizontal correspondiente a 90 mg/m^3 , determina una línea vertical que corresponde a un tamaño medio de partícula de 1,6 micras, que será el tamaño medio de las partículas en el efluente del depurador húmedo.

En la Tabla 4-3 se resumen los diferentes tipos de captadores de polvo utilizados en un amplio abanico de aplicaciones industriales. A pesar de que el listado no es sistemático, puede servir como indicación para la selección del tipo de depurador utilizado con mayor frecuencia.

4.5 DEPURACIÓN DE NIEBLAS, GASES Y VAPORES

Hasta este momento el análisis se ha limitado a la captación de polvo y humo o materia particulada presente en fase sólida. La única excepción es la torre de relleno que se utiliza principalmente para captar nieblas, gases o vapores. Las características aerodinámicas de una niebla son muy similares a las del polvo o humo y la eliminación de gotas de una corriente de aire puede realizarse siguiendo los mismos procedimientos que para eliminar partículas sólidas.

La mayoría de los equipos descritos previamente, con ligeras modificaciones, se utilizan para la depuración de nieblas. Los depuradores húmedos normales se utilizan para la depuración de la mayoría de tipos de nieblas. Existen precipitadores electrostáticos de diseño especial para la depuración de nieblas de ácido sulfúrico o de aceite. Incluso se utilizan en muchas ocasiones filtros de tela y ciclones para la eliminación de las nieblas de aceite generadas en los procesos de mecanizado a alta velocidad, aunque su diseño es diferente a los descritos anteriormente.

4.6 DEPURADORES PARA CONTAMINANTES GASEOSOS

Los equipos específicamente diseñados para la eliminación de contaminantes en fase gas o vapor se pueden clasificar según su principio de funcionamiento en:

1. Absorción.
2. Adsorción.
3. Oxidación térmica.
5. Oxidación catalítica.

4.6.1 Absorción: En estos aparatos se eliminan los gases solubles o químicamente reactivos contenidos en una corriente de aire por contacto con un líquido adecuado. A pesar de que todos los diseños se basan en conseguir un contacto entre el contaminante gaseoso y el líquido absorbente, existen grandes diferencias en el modo de operación y en el rendimiento entre los distintos modelos. La eliminación del contaminante puede ser por absorción, si la solubilidad del gas y su presión de vapor lo posibilitan, o por reacción química. El agua es el líquido absorbente más utilizado, si bien en muchas ocasiones se precisa el uso de aditivos y en algunos casos es necesario emplear disoluciones de reactivos químicos. La torre de relleno (Figura 4-10) es el ejemplo típico de equipo de absorción.

4.6.2 Adsorción: En estos aparatos se captan los contaminantes por adsorción sobre un sólido. El proceso es de tipo físico, sin que exista ninguna reacción química, y consiste en que las moléculas de un gas quedan retenidas en la superficie del sólido adsorbente. Los adsorbentes más comunes son el carbón activado y los tamices moleculares.

4.6.3 Oxidación térmica: La oxidación térmica, o post-combustión, se puede utilizar cuando el contaminante es combustible. La corriente de aire contaminado se introduce en un equipo de llama abierta o provisto de un sistema de calentamiento seguido de una cámara en la que los combustibles son oxidados produciendo dióxido de carbono y agua. La mayoría de contaminantes combustibles se pueden oxidar a temperaturas entre 537 y 815 °C. La cámara debe diseñarse de forma que el tiempo de residencia y la turbulencia permitan una oxidación completa.

4.6.4 Incineración: La incineración se diferencia de la oxidación térmica en que el gas contaminado, y el aire auxiliar, se introducen directamente en el mechero actuando aquél como combustible. Para iniciar la combustión generalmente es necesario el aporte de un combustible auxiliar como gas natural o fuel-oil y en ocasiones también es necesario este aporte para el mantenimiento de la combustión.

4.6.5 Oxidación catalítica: La oxidación catalítica se puede usar cuando el contaminante es combustible. La corriente de gas contaminado, después de precalentada, pasa a través de un lecho catalítico que acelera la oxidación de los combustibles a dióxido de carbono y vapor de agua. Los metales de la familia del platino son los elementos catalizadores generalmente utilizados para acelerar la oxidación a temperaturas entre 350 y 500 °C.

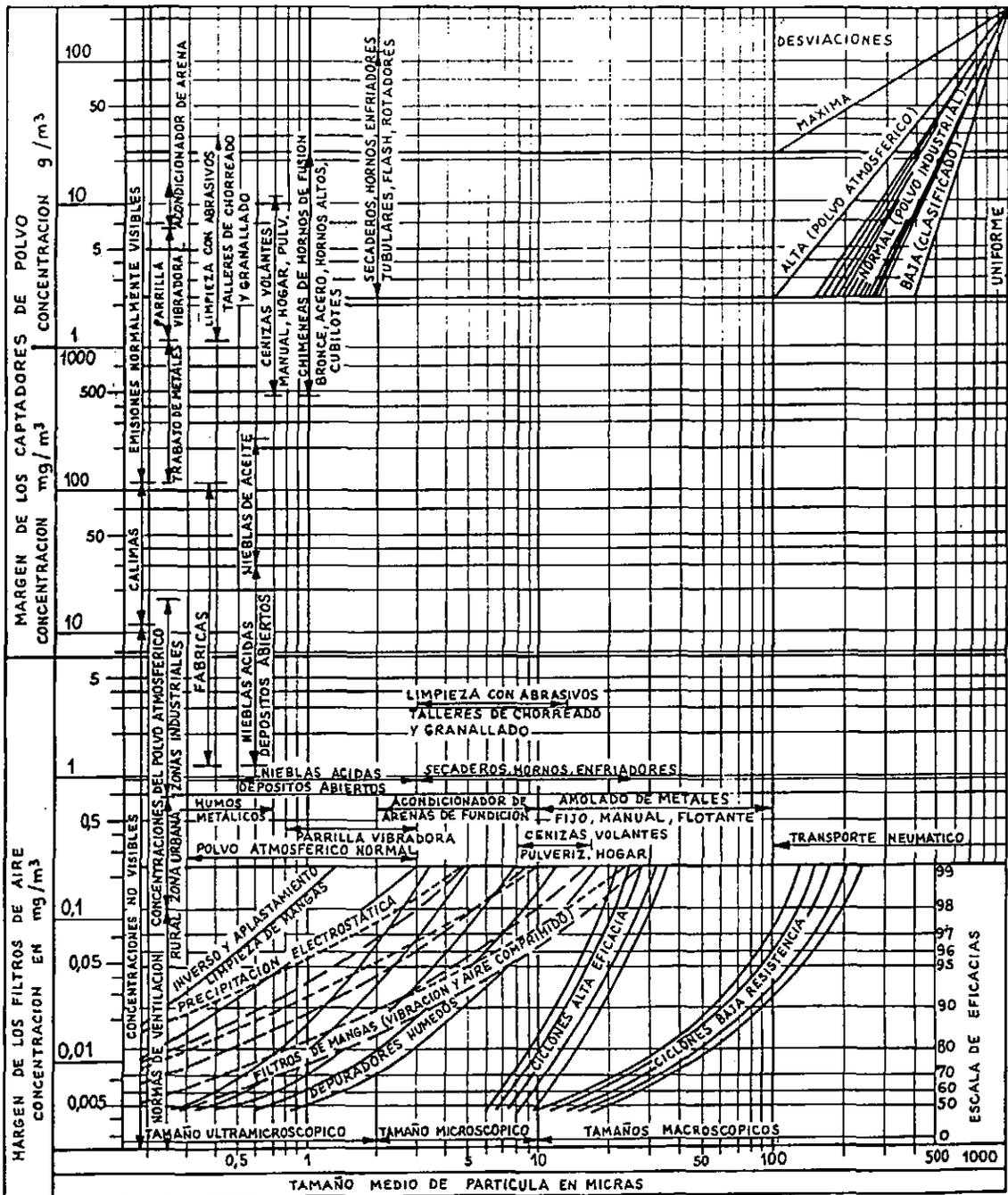
Para poder utilizar una oxidación térmica o catalítica es preciso que la concentración del contaminante sea inferior al límite inferior de explosividad. Los equipos específicamente diseñados para el control de contaminantes en fase gas o vapor deben emplearse con precaución cuando el aire contiene partículas sólidas. Las partículas pueden ocasionar obstrucciones en los aparatos de absorción, adsorción o lechos de catalizador, y si no son combustibles no serán eliminadas por los incineradores o equipos de postcombustión.

Los efluentes contaminados con gases y partículas sólidas requieren equipos adecuados de control instalados en serie.

4.7 FILTROS COMPACTOS

Con este nombre se designan pequeños filtros de tela con capacidades entre 350 y 3500 m³/h. Disponen de un ventilador integrado, ocupan poco espacio y son fácilmente instalables. En muchas aplicaciones el aire limpio es recirculado, no obstante, también se pueden instalar conductos para la descarga al exterior si la resistencia así añadida es admisible por el ventilador. Una de las ventajas principales de los equipos compactos es la reducción en la cantidad de conductos necesarios en comparación con los sistemas centralizados, pero la instalación de conductos de descarga anula esta ventaja.

Cuando se pretenda recircular el aire depurado es necesario adoptar precauciones especiales (ver el capítulo 7).



94 P - 15063 - D

TAMAÑO DE PARTÍCULA, CONCENTRACIÓN Y EFICACIA DE DEPURACIÓN. Recopilado por S. Sylvan. Abril 1952; Copyright 1952. American Air Filter Co. Inc.

Agradecimiento a los datos parciales suministrados por:

- 1 Frank W. G. American Air Filter-Size and Characteristics of Air Borne Solis - 1931
- 2 First and Drinker - Archives of Industrial Hygiene and Occupational Medicine - Abril 1952
- 3 Taft Institute and AAF Laboratory Test Data - 1961-63
- 4 Limpieza de mangas con aire inverso y aplastamiento añadido en 1964

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

TAMAÑO DE PARTÍCULA, CONCENTRACIÓN
Y EFICACIA DE DEPURACIÓN

FECHA 1-88

FIGURA 4-14

Los filtros compactos se utilizan ampliamente, especialmente en la industria siderometalúrgica, para cubrir las necesidades de depuración en operaciones que generan polvo y su servicio es intermitente, poco frecuente, desplazable o aislado.

En la Figura 4-15 se muestra el esquema de un filtro compacto típico. Generalmente son de operación intermitente, con limpieza por sacudidas en la carcasa. El material filtrante suele ser de tela. Es preferible que la limpieza sea automática ya que confiar en la actuación manual para proceder a la limpieza no ofrece garantías, a menos que se implanten normas de trabajo muy estrictas para la operación y vigilancia del filtro.

4.8 COSTE DE LOS CAPTADORES DE POLVO

Es difícil hacer estimaciones de las variaciones en los costes de los equipos, en particular si se consideran instalaciones "llave en mano", y por tanto las comparaciones no son fiables. Este tipo de comparaciones pueden dar lugar a errores si el conjunto de factores no se evalúa correctamente.

4.8.1 Capacidad y precio: Todos los precios expresados con respecto a la unidad de caudal tratado varían con el caudal. Cuanto menor es el caudal mayor es el coste por m^3/h tratado. El valor del caudal a partir del cual el precio por m^3/h tratado tiende a permanecer constante varía según el diseño. Este efecto se puede apreciar en las curvas mostradas en la Figura 4-16.

4.8.2 Accesorios incluidos: Es muy importante realizar un análisis cuidadoso de los elementos incluidos en el equipo. Algunos diseños incluyen el ventilador, motor, transmisión y cuadro eléctrico. En otras ocasiones estos elementos y su estructura de soporte se deben encargar por separado. Incluso las tolvas de recogida del polvo, que en algunos equipos constituyen una parte inherente al diseño, en otros no están incluidas en el precio. Los conductos de conexión entre los diferentes elementos que constituyen el depurador pueden estar incluidos en la oferta o no. Las bombas de recirculación de agua, y/o los depósitos de sedimentación necesarios, pueden no estar incluidos en el precio del equipo.

4.8.3 Coste de instalación: El coste de instalación puede ser igual o superior al coste del depurador. El coste dependerá del método de envío (completamente montado, semimontado o por piezas a montar en destino), de la ubicación del equipo (si se precisan equipos de elevación caros), y de la necesidad de plataformas de acceso y estructuras de acero para soporte de precio elevado. El coste de instalación también puede verse muy incrementado por las conexiones a redes de suministro de agua o drenajes, trabajos eléctricos muy grandes o especiales, o por instalaciones especiales para la manipulación y evacuación del polvo recogido. Los equipos últimamente citados a menudo tendrán un coste

variable por m^3/h tratado, disminuyendo este coste a medida que aumenta el caudal de aire tratado.

4.8.4 Construcciones especiales: Los precios que se muestran en cualquier tabla necesariamente se refieren a construcciones normales o standard. El incremento de coste derivado de una construcción anticorrosiva, filtros para altas temperaturas, aislamientos y/o protección frente a la intemperie en equipos exteriores puede ser de una a cuatro veces el coste de un equipo standard.

En la Figura 4-16 se ofrece una visión general del coste de los captadores de polvo. Antes de utilizar estos datos para estimar el coste de una instalación específica se deben leer atentamente las explicaciones y notas incluidas en estos datos. Si se desea una precisión mejor, es preciso consultar a fabricantes o instaladores que puedan dar datos basados en instalaciones utilizadas para solucionar problemas similares de control de contaminantes. En la Tabla 4-4 se indican otras características de los captadores que pueden ser estimadas junto con el coste del equipo.

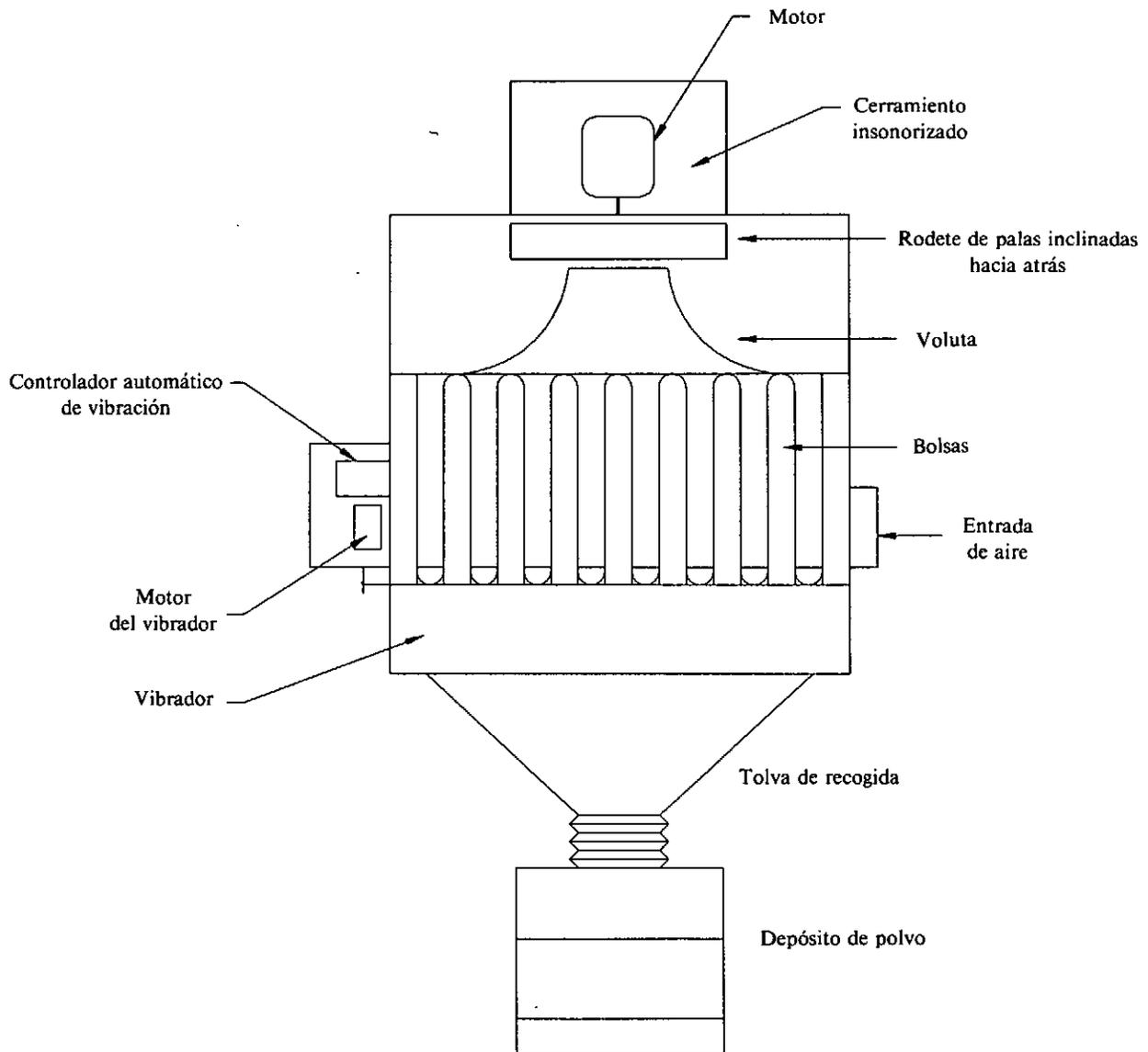
La estimación de costes que se presenta en la Figura 4-16 se refiere a equipos de construcción standard. Tal como se indica en las notas 1 y 2, el coste no incluye el ventilador ni las tolvas de recogida del polvo en los casos en que estos elementos son suministrados por terceros.

4.9 SELECCIÓN DE FILTROS DE AIRE

Los filtros de aire están disponibles en una gran variedad de diseños y capacidades. La eficacia varía desde la de un simple panel filtrante de un solo uso para una campana de una cocina doméstica hasta los filtros para las "salas limpias" de la industria electrónica, en las que el aire debe estar miles de veces más limpio que en un quirófano de hospital. La selección se basa en la eficacia, capacidad de acumulación de polvo y pérdida de carga. Existen cinco mecanismos básicos para la filtración de aire.

4.9.1 Retención mecánica: La retención se produce cuando el tamaño de la partícula es mayor que el espacio libre entre las fibras del filtro. Es un método muy poco efectivo de filtración, ya que la gran mayoría de partículas tiene un tamaño mucho más pequeño que los espacios libres entre las fibras. La retención mecánica permite la captación de fibras, pelos y partículas grandes.

4.9.2 Impacto: Cuando el aire fluye a través de un filtro experimenta cambios de dirección cada vez que debe rodear una fibra. Las partículas de mayor tamaño, debido a su inercia, no pueden realizar cambios bruscos de dirección. Como resultado, las partículas no siguen la corriente de aire y se proyectan contra las fibras. Los filtros que se basan en este principio se recubren generalmente con un adhesivo que favorece el efecto de adherencia de las partículas a las fibras.

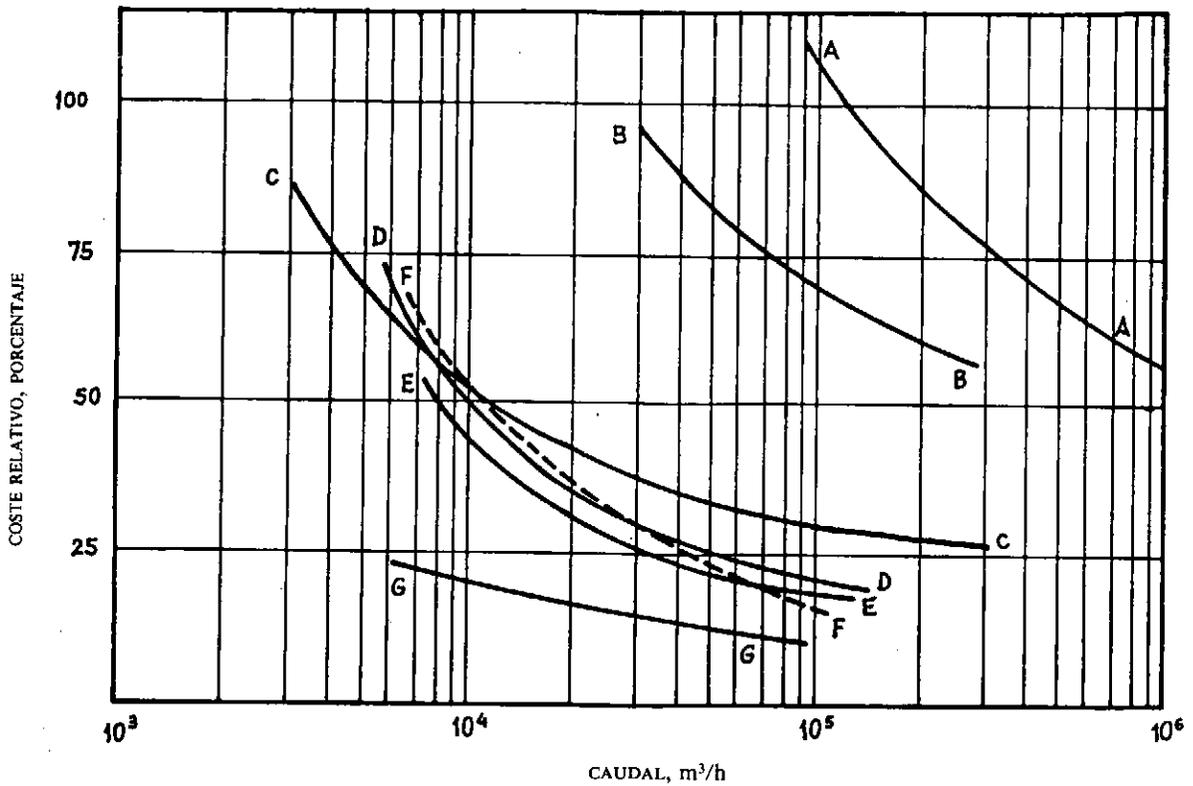


AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

*FILTRO COMPACTO
(TIPO FILTRO DE TELA-VIBRADOR)*

FECHA 1-88

FIGURA 4-15



- A. Precipitador de alto voltaje (rango de coste mínimo).
- B. Filtro textil de operación continua y alta temperatura (2.0:1).
- C. Ídem de operación continua y aire inverso pulsante (8:1).
- D. Depurador húmedo.
- E. Filtro de material textil de operación intermitente (2.0:1).
- F. Precipitador de bajo voltaje.
- G. Ciclón.

Nota 1: Costes basados exclusivamente en los equipos de depuración. No incluye conductos, sistemas de evacuación de polvo, bombas, ventiladores, u otros accesorios que no sean parte integrante del depurador.

Nota 2: Los precios de los precipitadores de alto voltaje pueden variar de forma importante en función de las exigencias de la aplicación y de la eficacia. Los costes indicados se refieren a los utilizados para la captación de cenizas volantes en las que las velocidades normales están comprendidas entre 1 y 1.5 m/s.

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

ESTIMACIÓN DEL COSTE DE LOS EQUIPOS
DE CAPTACIÓN DE POLVO

FECHA 1-88

FIGURA 4-16

TABLA 4.4 Comparación de algunas características importantes de los captadores de polvo

Tipo de captador	Máxima eficacia con partículas de tamaño medio superior (en micras)	Pérdida de carga (mmcd)	Consumo de agua (l/m ³)	Espacio ocupado	Sensibilidad a cambios de caudal	Influencia de la humedad	Temperatura máxima para construcción standard, °C
					Eficacia		Nota 4
PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO	0,25	12,5	-	grande	desprec.	si mejora eficacia	260
FILTRO DE TELA							
Intermitente-Vibrador	0,25	75-150	-	grande	propor. a Q	desprec.	} Ver Tabla 4-1
Continuo-Vibrador	0,25	75-150	-	grande	propor. a Q	desprec.	
Continuo-Aire inverso	0,25	75-150	-	grande	propor. a Q	desprec.	
Continuo-Aire comprimido	0,25	75-150	-	moderado	propor. a Q	desprec.	
VIDRIO, AIRE INVERSO	0,25	75-200	-	grande	propor. a Q	desprec.	290
HÚMEDOS:							
Torre de relleno	1-5	40-90	0,6-1,2	grande	propor. a Q	si	} sin limite
Centrífugo	1-5	60-150	0,4-0,6	moderado	propor. a Q ²	si	
Dinámico	1-2	Nota 2	0,06-0,12	pequeño	Nota 2	no	
Estrangulamiento	1-5	60-150	1,2-5,0	pequeño	pr. a Q o menor	varía s/diseño	
ALTA EFICACIA							
Cámara de niebla	0,5-5	50-100	0,6-1,2	moderado	propor. a Q ²	algo	Nota 3
Venturi	0,5-2	250-2500	0,6-2,0	moderado	propor. a Q ²	si	sin limite
CENTRÍFUGOS SECOS:							
Ciclón de baja presión	20-40	20-40	-	grande	propor. a Q ²	si	} puede causar condensaciones y taponamientos
Ciclón de alta eficacia	10-30	75-150	-	moderado	propor. a Q ²	si	
Dinámico por vía seca	10-20	Nota 2	-	pequeño	Nota 2	no	

Nota 1: La pérdida de carga indicada es la del conjunto material filtrante con torta de polvo. Las pérdidas de carga debidas a las conexiones deben ser añadidas por el diseñador.

Nota 2: Es una función de la eficacia mecánica del conjunto ventilador-captador.

Nota 3: Es necesario el enfriamiento de los gases de entrada para evitar una evaporación muy rápida de las gotas.

Nota 4: Consultar los requisitos de NFPA con respecto a los riesgos de incendio, p. ejem. circonio, magnesio, aluminio, madera, etc.

4.9.3 Interceptación: La interceptación es un caso particular del impacto que se presenta cuando la partícula es suficientemente pequeña para seguir el movimiento del aire, pero entra en contacto con la fibra al seguir el tortuoso camino del aire a través del filtro. El contacto no depende de las fuerzas de inercia y la partícula queda retenida sobre la fibra debido a fuerzas adhesivas inherentes entre la fibra y la partícula. Estas fuerzas, llamadas de van der Waals (J. D. van der Waals, 1837-1923), posibilitan la retención de una partícula sobre una fibra sin contribución de fuerzas de inercia.

4.9.4 Difusión: La difusión tiene importancia cuando las partículas son tan pequeñas que su movimiento es influenciado por choques moleculares. Estas partículas no siguen el movimiento del aire, su comportamiento es más parecido al de moléculas de un gas que al de partículas sólidas. Se mueven siguiendo el flujo de aire de una manera aleatoria. Cuando una partícula impacta sobre una fibra queda retenida por acción de las fuerzas de van der Waals existentes entre la partícula y la fibra. La difusión es el mecanismo básico en los filtros de más alta eficacia.

4.9.5 Fuerza electrostática: Una partícula de polvo cargada eléctricamente es atraída por una superficie con carga eléctrica de signo contrario. La mayoría de las partículas de polvo no son eléctricamente neutras, por lo tanto la atracción electrostática entre las partículas de polvo y las fibras del filtro colabora a la eficacia de captación de cualquier filtro. Los filtros electrostáticos disponen de una zona ionizada en la que se cargan eléctricamente las partículas de polvo de forma que puedan ser atrapadas por una superficie conectada a tierra o con polaridad inversa. Este concepto se discutió ya en la sección 4.3.1.

En la Tabla 4-5 se muestran las eficacias en función del tamaño de las fibras para algunos filtros. Nótese que la eficacia aumenta a medida que disminuye el diámetro de las fibras debido a que existen más fibras por unidad de volumen. También se aprecia que en los filtros de alta eficacia que actúan por difusión las velocidades son bajas.

El amplio margen de eficacias de los filtros de aire hace necesario definir más de un método para medir la eficacia

TABLA 4.5 Velocidad filtrante y tamaño de fibra

Tipo de filtro	Tamaño de fibra (micras)	Vel. filt. (m/s)	Mecanismo de filtración
Paneles filtrantes	25-50	1,3-3,2	impacto
Filtros automáticos enrollables	25-50	2,5	impacto
Filtros de superficie ampliada	0,75-2,5	0,1-0,13	interceptación
Filtros HEPA	0,5-6,3	0,025	difusión

de un filtro. Los métodos industriales aceptados son la Retención-ASHRAE, la Eficacia-ASHRAE y el DOP. Para determinar la Retención-ASHRAE se hace pasar por el filtro una cantidad medida de una mezcla compuesta por 72 % de polvo de ensayo normalizado, 23 % de negro de humo y 5 % de fibras de algodón. La eficacia en peso con respecto a esta mezcla es la Retención-ASHRAE. La Eficacia-ASHRAE es una medida de la capacidad de un filtro para evitar el tintado o la coloración. Se determina midiendo la reflexión de la luz antes y después del filtro en un aparato específico. Para este ensayo se utiliza polvo atmosférico. Los dos ensayos ASHRAE están descritos en la publicación 52-76 de ASHRAE (4.4).

En el ensayo DOP se hacen pasar partículas de phatalato de dioctilo (DOP) de 0,3 micras de diámetro a través de un filtro HEPA.

La eficacia se determina por comparación del contejo de partículas a la entrada y salida del filtro. Para que un filtro pueda designarse como filtro HEPA* debe tener una eficacia superior al 99,97 %, es decir, sólo tres partículas de 0,3 micras de cada diez mil que llegan al filtro pueden atravesarlo. Al contrario que los ensayos ASHRAE, el ensayo DOP es no destructivo, de forma que es posible reparar un filtro dañado y recomprobarlo.

* N. del T.: Las siglas HEPA corresponden a la designación inglesa de filtro de partículas en aire de alta eficacia "High Efficiency Particulate Air" y son ampliamente utilizadas, por ello no se han traducido.

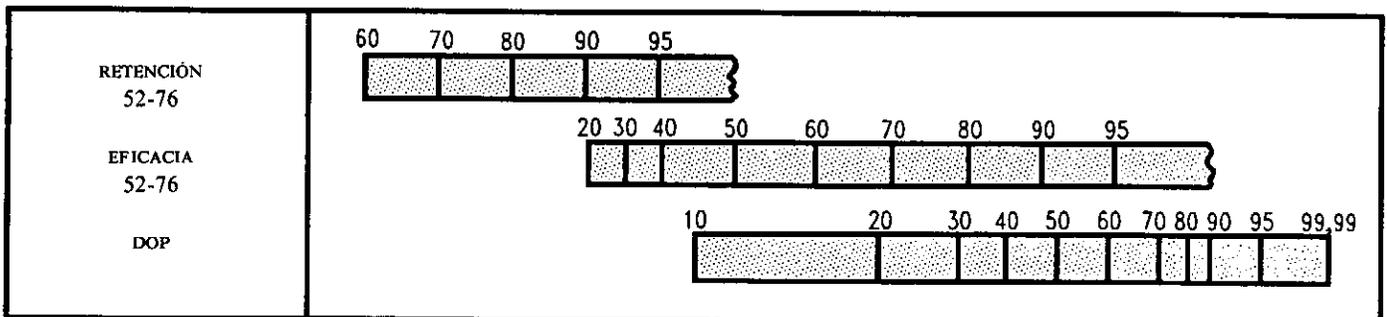


FIG. 4.17 COMPARACIÓN DE VARIOS MÉTODOS DE MEDIDA DE LA EFICACIA DE FILTRACIÓN

TABLA 4.6 Comparación de algunas características importantes de filtros de aire*

Tipo	Pérdida de carga mmeda (notas 1 y 2)		Rendimiento ASHRAE (nota 4)		Velocidad frontal m/s	Necesidades de mantenimiento (nota 5)	
	Inicial	Final	Retención	Eficacia		Trabajo	Material
EFICACIA MEDIA/BAJA							
1. Vidrio un uso (espesor 50 mm)	2,5	12,5	77 %	NA Nota 6	1,5	alto	alto
2. Alta velocidad (equipos fijos) (espesor 50 mm)	2,5	12,5	73 %	NA	2,5	alto	bajo
3. Automáticos (viscosos)	10	10	80 %	NA Nota 6	2,5	bajo	bajo
EFICACIA MEDIA/ALTA							
1. Superficie ampliada (seco)	4-15	12,5-30	90-99 %	25-95 %	1,5-3	medio	medio
2. Electrostático:							
a. Aglom. seco/filtro enroll.	9	9	NA Nota 7	90 %	2,5	medio	bajo
b. Aglom. seco/f. de sup. amp.	14	32	NA Nota 7	95 %	2,7	medio	medio
c. Lavado automático	6	6	NA Nota 7	85-95 %	2-3	bajo	bajo
EFICACIA MUY ALTA							
1. Filtro HEPA	12,5-25	25-75	Nota 3	Nota 3	1,25-2,5	alto	alto

Nota 1: Los valores de pérdida de carga indicados son un margen o un valor medio.

Nota 2: La pérdida de carga final indica el punto en el cual el filtro o el medio filtrante se sustituye o regenera. En ocasiones la limpieza se ejecuta sin desmontaje, ya sea de forma manual, automática o con reemplazamiento automático del medio filtrante, en consecuencia la pérdida de carga permanece prácticamente constante.

Nota 3: 95-99,97 % en contaje de partículas del ensayo DOP.

Nota 4: En ASHRAE-standard 52-76 se define (a) Retención como una medida de la capacidad de eliminación de un polvo artificial introducido, calculada como porcentaje en peso, y (b) Eficacia como una medida de la capacidad de eliminar polvo atmosférico determinada en base a la transmisión de luz (mancha de polvo).

Nota 5: Con respecto a otros tipos del mismo grupo de eficacia.

Nota 6: Demasiado baja para ser significativa.

Nota 7: Demasiado alta para ser significativa.

* Los filtros de aire se deben utilizar únicamente en sistemas de suministro de aire u otras aplicaciones en las que la concentración de polvo no sea superior a 2,3 mg/rh³.

Los resultados de los tres ensayos no son comparables directamente, no obstante en la Figura 4-17 se muestra una relación generalizada. En la Tabla 4-6 se comparan las características más significativas de los filtros de aire comúnmente utilizados. La vida útil de un filtro muy eficaz y caro se puede alargar enormemente utilizando uno o más prefiltros de menor eficacia y más baratos. Por ejemplo, la vida de un filtro HEPA se puede incrementar un 25 % con un panel filtrante como prefiltro. Si a continuación del panel se instala un filtro de superficie ampliada con una eficacia del 90 %, la vida del filtro HEPA se puede incrementar en un 900 %. La aplicación de este concepto de "filtración progresiva" permite que los filtros finales de las salas limpias permanezcan en uso durante períodos superiores a 10 años.

4.10 OPERACIONES CON MATERIALES RADIATIVOS O EXTREMADAMENTE TÓXICOS

Cuando se trabaja con materiales radiactivos o extremadamente tóxicos, los equipos de depuración de aire deben reunir tres requisitos importantes:

1. Alta eficacia.
2. Bajo mantenimiento.
3. Tratamiento seguro de los residuos.

La alta eficacia es fundamental debido a las bajísimas exigencias de cantidad y concentración tolerables en las emisiones y al alto precio de los materiales manipulados. No basta con que la eficacia sea alta, también debe ser comprobable debido a las exigencias legales de control de los materiales radiactivos.

La necesidad de un bajo mantenimiento es de gran importancia cuando se trabaja con productos peligrosos. En mu-

chos procesos que utilizan materiales radiactivos, el cambio de bolsas en un captador de polvo convencional puede consumir la tolerancia diaria de exposición a las radiaciones de más de 20 personas, por lo tanto un mantenimiento rápido, simple y poco frecuente es vital. Otro factor importante es la conveniencia de evitar acumulaciones importantes de material en la estructura del filtro ya que las dosis de exposición aumentan con la cantidad de material y reducen el tiempo de exposición permisible.

El vertido de materiales radiactivos o muy tóxicos al aire, agua o sobre el terreno es un problema muy importante y de difícil solución. Por ejemplo los prefiltros cargados con polvo radioactivo generalmente son incinerados para reducir la cantidad de material a enviar a un depósito de seguridad. El incinerador precisará de un depurador de humos, por ejemplo un depurador húmedo de diseño especial, que impida una contaminación inadmisibles en el aire o el agua. Teniendo en cuenta todos los factores implicados, es preciso seleccionar un depurador de aire que cumpla todos los requisitos de eficacia sin ocasionar demasiados problemas en la manipulación y evacuación de productos.

Están disponibles en el mercado equipos de filtración especialmente diseñados para una alta eficacia y bajo mantenimiento. En estas unidades el cambio de elementos se hace de forma rápida con ayuda de un film de plástico a modo de barrera cuyo objeto es encapsular el filtro agotado evitando la exposición del personal a la radiación o los productos tóxicos. Una eficacia de filtración del 99,97 % referida a conteo de partículas de 0,3 micras es normal en este tipo de filtros.

Para obtener más información sobre este tema consultar la referencia 4.5.

4.11 VENTEOS DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES

La mayoría de materiales pulvígenos son combustibles, y explosivos dentro de ciertos márgenes de concentración. Los equipos de captación de polvo deben diseñarse de forma que se eliminen los riesgos de daños a las personas o los bienes cuando las mezclas explosivas de polvo y aire sean probables. Las alternativas posibles son construir el equipo de forma que pueda resistir el aumento de presión ocasionado por una explosión, o equiparlo con un venteo de protección contra explosiones y diseñarlo para que soporte el menor, pero todavía significativo, aumento de presión, que produce una explosión en un recinto con aberturas

de venteo. Los venteos de protección son un accesorio normal en todos los captadores de polvo, aunque generalmente son utilizados sin tener un conocimiento exacto de su utilidad y limitaciones.

La obra "NFPA 68-1978. Guide for Explosion Venting" es la referencia más comúnmente usada, y debe ser estudiada seriamente por cualquier responsable del diseño, selección o compra de captadores de polvo aplicados a materiales potencialmente explosivos. Como ya se ha indicado el objeto de los venteos es limitar la presión máxima que se desarrolla en el curso de una explosión a un valor inferior al límite de seguridad del recipiente (la carcasa del captador de polvo). Los venteos pueden diseñarse para que se abran a cualquier valor de sobrepresión, pero el valor máximo de presión en una explosión puede ser mucho mayor que el valor al cual el venteo se abre.

La obra NFPA 68-1978 contiene nomogramas que permiten la estimación del valor máximo de presión en un venteo. Por ejemplo, para un venteo con una superficie de $0,1 \text{ m}^2/\text{m}^3$ de volumen y una presión de apertura de $0,1 \text{ kg/cm}^2$, la estimación del valor máximo de presión que ocurrirá a consecuencia de una explosión resulta ser de $0,33$ a $0,66 \text{ kg/cm}^2$. Por lo tanto, aunque estén equipados con venteos, la mayoría de captadores de polvo precisan ser reforzados para poder soportar con seguridad el incremento de presión.

REFERENCIAS

- 4.1 D. Leith, M. W. First y H. Feldman: "Performance of a Pulse-Jet at High Velocity Filtration II, Filter Cake Redeposition", *J. Air Pollut. Control Assoc.* 28:696 (julio 1978).
- 4.2 E. Beake: "Optimizing Filtration Parameters", *J. Air Pollut. Control Assoc.* 24:1150 (1974).
- 4.3 D. Leith, D. D. Gibson y M. W. First: "Performance of Top and Bottom Inlet Pulse-Jet Fabric Filters", *J. Air Pollut. Control Assoc.* 24:1150 (1974).
- 4.4 American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers: *Method of Testing Cleaning Devices Using in General Ventilation for Removing Particulate Matter*. ASHRAE Pub. No. 52-76. ASHRAE, 1971 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329 (mayo 1976).
- 4.5 National Council on Radiation Protection and Measurement: NCRP Report No. 39, *Basic Radiation Protection Criteria*. NCRP Report No. 39, NCRP Publications, 7910 Woodmont Ave., Suite 1016, Bethesda, MD 20814 (15 de enero 1971).
- 4.6 National Fire Protection Association: *Guide for Explosion Venting*. NFPA 68-1978. NFPA, Batterymarch Park, Quincy, MA 02269 (1978).

Capítulo 5

PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA

5.1	INTRODUCCIÓN	5-2	5.9.2	Contracciones y ensanchamientos del conducto	5-11
5.2	ETAPAS PRELIMINARES	5-2	5.10	EJEMPLO DE DISEÑO DE UN SISTEMA	5-11
5.3	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO	5-2	5.11	CORRECCIONES PARA DIFERENTES MATERIALES DEL CONDUCTO	5-11
5.4	MÉTODOS DE DISEÑO	5-2	5.12	PÉRDIDA DE CARGA EN CONDUCTOS NO CIRCULARES	5-12
5.4.1	Método de la presión dinámica	5-2	5.13	CORRECCIONES POR TEMPERATURA, HUMEDAD Y ALTITUD	5-12
5.4.2	Método de la longitud equivalente ...	5-3	5.13.1	Temperatura y/o altitud variable ...	5-23
5.5	AYUDAS PARA EL CÁLCULO	5-3	5.13.2	Humedad elevada	5-23
5.6	DISTRIBUCIÓN DEL CAUDAL DE AIRE	5-3	5.13.3	Principios de psicrometría	5-23
5.6.1	Método de equilibrado por diseño	5-6	5.13.4	Cálculo de la densidad	5-24
5.6.2	Equilibrado por compuertas	5-6	5.13.5	Modificaciones del caudal en una campana al variar la densidad	5-24
5.6.3	Elección del método	5-6	5.14	EQUIPOS PARA DEPURACIÓN DEL AIRE	5-28
5.6.4	Procedimiento de equilibrado por diseño	5-7	5.15	DESCARGA GRADUAL	5-28
5.6.5	Procedimiento de equilibrado por compuertas	5-7	5.16	CHIMENEAS DE EVALUACIÓN	5-29
5.7	SISTEMAS DE EXTRACCIÓN CON PLENO	5-7	5.17	ENTRADAS DE AIRE ADICIONALES ...	5-29
5.7.1	Elección del sistema	5-7	5.18	VELOCIDAD ECONÓMICA ÓPTIMA	5-29
5.7.2	Diseño	5-7		REFERENCIAS	5-29
5.8	EVALUACIÓN DE LA PRESIÓN DEL VENTILADOR	5-10			
5.8.1	Presión total del ventilador	5-10			
5.8.2	Presión estática del ventilador	5-10			
5.9	CORRECCIONES POR CAMBIOS DE VELOCIDAD	5-10			
5.9.1	Conexiones de conductos secundarios al conducto principal	5-10			

5.1 INTRODUCCIÓN

Los procedimientos de cálculo que se exponen a continuación son esenciales para determinar los diámetros de los conductos y la pérdida de carga en un sistema de extracción localizada. Estos resultados, junto con el caudal, sirven para determinar el tamaño y tipo de ventilador, su velocidad de giro y la potencia necesaria.

5.2 ETAPAS PRELIMINARES

El proyectista debe disponer de los datos siguientes:

1. Distribución en planta de las operaciones, locales de trabajo, edificio (si es necesario), etc.
2. Esquema unifilar del sistema de conductos, incluyendo las dimensiones en planta y alzado, la situación del ventilador, la del depurador, etc. Es conveniente identificar cada tramo de los conductos secundarios y del conducto principal con números, letras o cualquier otro método.
3. Un diseño previo o esquema de la campana a instalar en cada operación con indicación de la altura y dirección de la brida de salida para la conexión al conducto.
4. Información sobre los detalles de cada operación, toxicidad de los materiales, características físicas y químicas, y características de la operación, etc.

5.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

Todos los sistemas de extracción localizada, desde el más simple al más complejo, tienen en común el uso de campanas de captación y un conjunto de conductos y accesorios hasta llegar al ventilador. De hecho un sistema complejo de extracción localizada no es más que un conjunto de sistemas simples unidos a un conducto común. Al diseñar un sistema de extracción se debe comenzar por la campana que esté más alejada del ventilador.

1. Seleccionar, o diseñar, todas las campanas de captación ajustándose a la operación a controlar y calcular el caudal de diseño (ver el Capítulo 3).
2. Establecer la velocidad mínima en los conductos teniendo en cuenta las velocidades de transporte indicadas en el Capítulo 3.
3. Calcular la sección del conducto dividiendo el caudal de diseño por la velocidad mínima. Para sistemas que transporten materia particulada se debe elegir el conducto comercial disponible con la sección inmediatamente inferior a la calculada con el fin de asegurar que la velocidad real sea superior a la mínima necesaria (ver la Tabla 5-5).
4. Determinar, a partir del esquema del trazado de la red de conductos, la longitud de cada tramo, el número y tipo de uniones y codos necesarios. Un tramo de conducto se define como un conducto de diámetro

uniforme que une dos puntos de interés, tales como campanas, puntos de unión, entrada al ventilador, etc. La longitud a considerar en el diseño es la longitud medida sobre el eje del conducto.

5.4 MÉTODOS DE DISEÑO

1. Calcular la pérdida de carga del sistema de extracción localizada. La pérdida de carga debida al rozamiento y a los accesorios puede ser calculada por el método de la presión dinámica o por el de la longitud equivalente. Es preferible el método de la presión dinámica por varias razones:
 - a. Generalmente es más rápido, y trata todas las pérdidas, incluyendo las entradas a la campana de forma similar; y
 - b. Tiene la ventaja de que los reajustes de los cálculos del tamaño de los conductos al usar el método de equilibrado por diseño es más rápido (ver la sección 5.6.1).
2. Comprobar el equilibrio en los puntos de unión de dos conductos y ajustar el caudal, diámetro del conducto o diseño de la campana para conseguir un equilibrio correcto.
3. Seleccionar el depurador y ventilador tomando como datos el caudal final y la pérdida de carga del sistema.

5.4.1 Método de la presión dinámica: Este método se basa en el hecho de que todas las pérdidas de carga, por rozamiento en conductos y resistencia de forma por desprendimientos en accesorios, son función de la presión dinámica, y pueden ser calculadas multiplicando la presión dinámica por un factor. Los factores para campanas, conductos rectos, codos, uniones, y otros accesorios se indican en las Figuras 5-15 a 5-19. De esta manera sólo es preciso establecer al inicio del proceso de diseño los valores de los factores de pérdidas de codos y uniones. Para mayor comodidad, los factores de pérdidas están incluidos en las hojas de cálculo.

En la Figura 5-18 se presenta un gráfico de pérdidas por fricción aplicable con este método. El gráfico indica el factor de pérdidas por metro de longitud de un conducto recto de chapa galvanizada. La ecuación de este gráfico está indicada en el mismo y también en las hojas de cálculo (ver las Figuras 5-2, 5-9 y 5-10). Las etapas que se indican a continuación permiten el cálculo de la pérdida de carga total de un tramo de conducto que empieza en una campana:

1. Calcular la velocidad real dividiendo el caudal por la sección del conducto disponible comercialmente. Calcular la presión dinámica correspondiente a partir de la Tabla 5-4 o de la fórmula del Capítulo 1.
2. Calcular la succión en la campana (PEc) con las ecuaciones del Capítulo 3.
3. Multiplicar la longitud de diseño del conducto por el factor de pérdida por unidad de longitud leído en la Figura 5-18.

4. Determinar el número y tipo de accesorios en el tramo. Para cada tipo de accesorio hay que determinar el factor de pérdidas (Figuras 5-15, 5-16, 5-17 y 5-19), y multiplicarlo por el número de accesorios.
5. Sumar los resultados de las etapas 3 y 4, y multiplicarlo por la presión dinámica en el conducto. El resultado es la pérdida de carga del tramo en mmca.
6. Sumar el resultado de la etapa 5 a la succión de la campana (PEc). También se debe sumar cualquier otra pérdida de carga que pueda darse en el tramo, como la provocada por un depurador por ejemplo, expresada en mmca. El resultado es el requerimiento total de energía, expresada en términos de presión estática, necesario para hacer circular el caudal de diseño a través del tramo.

5.4.2 Método de la longitud equivalente: Este método es muy similar al anterior. Se diferencia en la forma de calcular las pérdidas por fricción y en accesorios. La longitud de conducto recto se determina igual que antes. Los accesorios se sustituyen por la longitud de un conducto recto que tenga la misma pérdida de carga. Estas longitudes equivalentes son función del diámetro del conducto, sus valores están indicados en la Figura 5-20. La longitud equivalente de los accesorios se añade a la longitud geométrica del tramo.

En las Figuras 5-21 a y b se presenta un gráfico de pérdida de carga de un conducto aplicable en este método. En el gráfico se lee el valor de la pérdida de carga en mmca por metro de longitud de un conducto construido en chapa de acero galvanizado. La ecuación del gráfico está indicada en la misma figura. La pérdida de carga se determina multiplicando la longitud total del conducto, expresada en metros, por la pérdida de carga unitaria.

EJEMPLO

El problema 1 presentado en la Figura 5-1 ilustra el

cálculo de la pérdida de carga. Obsérvese cómo utilizando las hojas de cálculo propuestas, se simplifica el procedimiento de cálculo. Junto con el esquema de la instalación también se ha representado el perfil de presiones estática, dinámica y total a lo largo del conducto, tanto de la zona de succión como de la zona de impulsión antes y después del ventilador respectivamente. Obsérvese cómo la presión dinámica siempre es positiva con respecto a la presión atmosférica. También se observa cómo las presiones estática y total pueden ser positivas o negativas, pero siempre la presión total es mayor que la estática ($PT = PE + PD$) en valor algebraico.

5.5 AYUDAS PARA EL CÁLCULO

El uso de una hoja de cálculo es muy conveniente cuando se realizan los cálculos manualmente. La Figura 5-2 muestra la hoja de cálculo para el método de la presión dinámica con los datos del ejemplo anterior.

En la Figura 5-3 se muestra el modelo de hoja de cálculo para el método de la longitud equivalente, también con el mismo ejemplo.

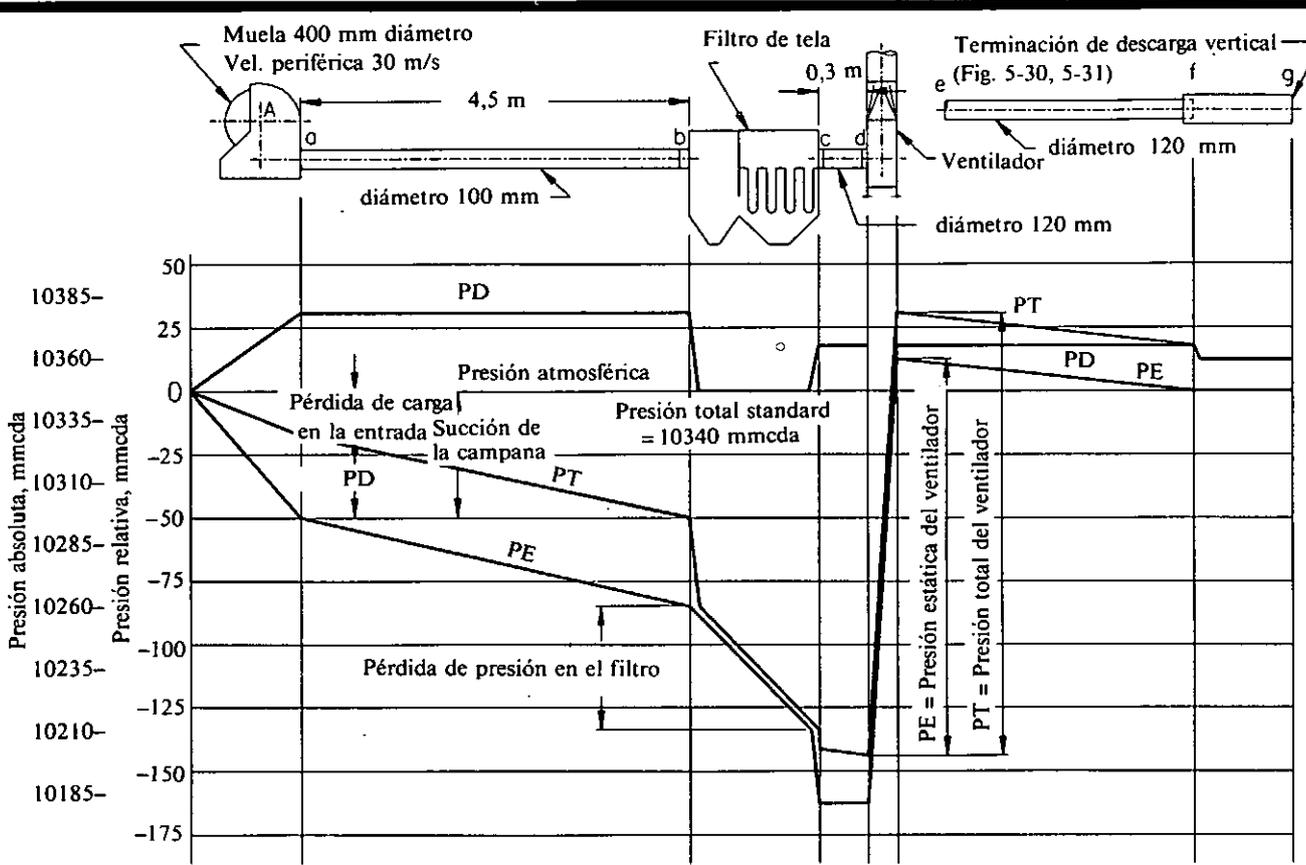
Alternativamente al cálculo manual se pueden utilizar calculadoras programables u ordenadores y automatizar el diseño de sistemas completos. El Comité no recomienda ningún ordenador o programa de cálculo en concreto. Varias empresas han desarrollado sus propios programas de cálculo y también están disponibles en el mercado paquetes de programas para ordenador.

5.6 DISTRIBUCIÓN DEL CAUDAL

Como ya se ha indicado, un sistema de extracción localizada complejo no es más que un conjunto de sistemas sim-

TABLA 5-1 Ventájas e inconvenientes relativos de ambos métodos

Equilibrado por diseño	Equilibrado por compuertas
1. Los caudales no pueden ser modificados fácilmente por los trabajadores o por deseo del operador.	1. Los caudales pueden ser modificados con facilidad. Estos cambios son necesarios cuando el proceso puede verse afectado si se captan cantidades excesivas de producto.
2. Poca flexibilidad para adaptar futuros cambios o ampliaciones. El conducto es un "traje a medida" para el trabajo.	2. En función del ventilador y motor seleccionados existe una mayor flexibilidad para cambios futuros o ampliaciones.
3. La selección del caudal para una operación no conocida puede ser incorrecta. En este caso puede ser necesaria la revisión de los conductos.	3. La corrección de caudales mal estimados es relativamente fácil dentro de ciertos márgenes.
4. No se presentan problemas de abrasiones inusuales o acumulaciones de polvo.	4. En las compuertas parcialmente cerradas se pueden producir abrasiones y en consecuencia cambiar la pérdida de carga o bien aparecer acumulaciones de polvo.
5. Los conductos no se obstruirán si se eligen las velocidades adecuadas.	5. Los conductos se pueden obstruir si la compuerta está muy cerrada.
6. El caudal total puede ser superior al diseñado debido a necesidades de caudales adicionales para lograr el equilibrio del sistema.	6. El equilibrado se puede conseguir con el caudal teórico de diseño; sin embargo el consumo de energía es generalmente mayor que con el método de equilibrado por diseño.
7. La implantación del sistema debe ser conocida en detalle con medidas exactas de todas las longitudes de los tramos y de los pasos por obstáculos. La ejecución de la instalación debe adaptarse exactamente al esquema de implantación.	7. Son posibles pequeñas variaciones sobre el esquema inicial de implantación.



DETALLES DE LA OPERACIÓN

N.º	CAMPANA N.º	FIGURA VS	CAUDAL NECESARIO
1	Amoladora de diámetro 400 mm, ancho 50 mm	A 411	0,18 m³/s

DIMENSIONES

N.º de conducto	longitud recta m	caudal m³/s	codos	uniones
ab	4,5	0,18	---	---
bc	filtro	0,18	---	---
cd	0,3	0,18	---	---
ef	3,0	0,18	---	---
fg	terminación	0,18	---	---

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

PROBLEMA 1

FECHA 1-88

FIGURA 5-1

HOJA DE CÁLCULO POR EL MÉTODO DE PRESIÓN DINÁMICA

Empresa: Problema 1 Altitud: Nivel del mar Fecha: Notas:
 Dirección: Temperatura: 20° C Referencia planos:
 Departamento: Factor: 1 Elaborado por:

1	Identificación del tramo de conducto	A-b	b-c	c-d	e-f
2	Caudal	m ³ /s	0,18	0,18	0,18
3	Velocidad mínima de transporte	m/s	23		
4	Diámetro del conducto	mm	100	120	120
5	Sección del conducto	m ²	0,00785	0,01131	0,01131
6	Velocidad real en conducto	m/s	23,0	15,9	15,9
7	Presión Dinámica	mmdca	32,4	15,5	15,5
8	S U C D I Ó N	R	Área de la rendija	m ²	
9		E	Velocidad en rendija	m/s	
10	N		Presión Dinámica en rendija	mmdca	
11	C		Fac. pérdida rendija: Fig. 5-15 o Cap. 10		
12	I		Factor de aceleración	0 ó 1	
13	J		Pérdidas en pleno (en PD) ítems 11+12		
14	A		PE en el pleno ítems 10×13	mmdca	
15			Fac. pérdida entrada: Fig. 5-15 o Cap. 10	0,65	0,49
16	C		Factor de aceleración	1 ó 0	1
17	A		Pérdida en entrada (PD) ítems 15+16	1,65	1,49
18	M		Pérdida en la entrada ítems 7×17	53,5	23,1
19	P		Otras pérdidas	mmdca	50
20			Succ. en campana: ítems 14+18+19	mmdca	53,5 50 23,1
21			Longitud de conducto recto	m	4,5 0,3 3,0
22			Factor de pérdidas (Hf) Fig. 5-18 o ecuac.	0,23	0,19 0,19
23			Pérdidas en PD; ítems 21×22	1,04	0,057 0,57
24			N.º de codos de 90°		
25			Pérdida en codos en PD; ítem 24 × factor		
26			N.º de uniones		
27			Pérdida en uniones en PD; ítem 26 × factor		
28			Fact. de pérdida de accesorios especiales		
29			Pérdidas en tramo en PD; ítems 23+25+27+28	1,04	0,057 0,57
30			Pérdidas en el tramo; ítem 7×29	mmdca	33,7 0,88 8,8
31			Pérdida de PE en tramo; ítem 20+30	mmdca	87,2 50 24,0 8,8
32			PE acumulada	mmdca	-87,2 -137,2 -161,2
33			PE controlante	mmdca	
34			Caudal corregido	m ³ /s	
35			Presión Dinámica resultante	mmdca	

ECUACIONES RELACIONADAS:

$$Q_{\text{corregido}} = Q_{\text{diseño}} \sqrt{\frac{PE_{\text{control}}}{PE_{\text{tramo}}}}$$

$$H_f(\text{PD/m}) = 0,0155 \frac{V^{0,533}}{Q^{0,612}} = \frac{27,8}{Q^{0,079} D^{1,066}}$$

$$PD_r = \left[\frac{Q_1 + Q_2}{4,043 (A_1 + A_2)} \right]^2$$

V en m/s
 Q en m³/s
 D en mm

$$PEV = PE_{\text{salida}} - PE_{\text{entrada}} - PD_{\text{entrada}}$$

CÁLCULOS:

$$PEV = 8,8 - (-161,2) - 15,5 = 154,5 \text{ mmdca}$$

FACTORES DE PÉRDIDA			
CODOS DE 90°		UNIONES	
R/D	Factor	ángulo	Factor
0,0			
a escuadra	1,25	15°	0,09
1,5	0,39	30°	0,18
2,0	0,27	45°	0,28
2,5	0,22	60°	0,44
		90°	1,00
codos de 60° = 2/3 pérdida codos de 30° = 1/3 pérdida			

FIGURA 5.2

HOJA DE CÁLCULO DE SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA MEDIANTE LONGITUDES EQUIVALENTES

Empresa: Problema I			Referencia planos:			Temperatura: 20 °C			Factor: 1			Notas:						
Dirección:						Elevación: Nivel del mar												
Departamento:																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
								Ver fig. 5-20	col. 7 + col. 9	Ver fig. 5-21	col. 10 x col. 11	col. 6 y tabla 5-4	Ver fig. 5-15	1.0 + col. 14	col. 13 x col. 15	col. 12 + col. 16	En la unión	
N.º de cond.	Diám. cond. mm	Área cond. m²	Caudal m³/s		Veloc. m/s	Longitud del conducto en metros				Pérdida de carga				Presión estática mmcda			Caud. correg. m³/s	
			lateral	princ.		long. recto	número de codos	uniones	long. equiv.	long. total	mmcda por metro	total tramo mmcda	PD mmcda	factor (PD)	Succ. (PD)	Succ.		PE en tramo
A	100	0,00785	0,18		23													
a-b	100				23	4,5				4,5	7,5	33,8						87,3
Dep.				Pérdida de PE en el depurador							50							137,3
c	120	0,01131	0,18		15,9								15,5	0,49	1,49	23,1		160,4
c-d	120	0,01131	0,18		15,9	0,3				0,3	3,0	0,9						161,3
Ventil.																		
e-f	120				15,9	3,0				3,0	3,0	9,0						
PEV = 9 - (-161,3) - 15,5 = 154,8																		
Características del ventilador calculadas para condiciones standard									Correcciones por temperatura y elevación									
CAUDAL: 0,18 m³/s			Tipo y tamaño del ventilador:			rpm:		m³/s:		Motor:			PTV: mmcda			Transmisión:		
PTV: mmcda						CV:				PEV:								
PEV: 154,8 mmcda			rpm:			CV:												

FIGURA 5.3

ples unidos a un conducto común que designaremos como conducto principal. En consecuencia, al diseñar un sistema con varias campanas y conductos secundarios, se aplican los mismos principios y métodos ya expuestos. Sin embargo, en un sistema múltiple es preciso prever, bien sea con un diseño equilibrado o con compuertas de regulación, la repartición correcta del caudal total entre los conductos secundarios.

La razón es que el aire siempre circula por el camino de menor resistencia. En la práctica siempre se producirá un equilibrio en las uniones, es decir, el caudal total de aire aspirado se distribuirá de forma automática entre los diferentes caminos de acuerdo a las pérdidas de carga de cada uno de ellos. Para conseguir que la repartición de caudales coincida con los valores de diseño en cada campana, el proyectista debe conseguir que *para todos los caminos (conductos) que confluyen en una unión el valor calculado de la presión estática sea el mismo.*

Para lograr este objetivo, el proyectista dispone de dos métodos. El fin de ambos métodos es el mismo: que en cada campana del sistema el caudal sea el de diseño y que las velocidades en los conductos secundarios y el conducto principal sean las deseadas.

Los dos métodos designados como Equilibrado por Diseño, y Equilibrado por Compuertas se describen a continuación. Sus ventajas e inconvenientes relativos se exponen en la Tabla 5-1.

5.6.1 Método de equilibrado por diseño: Este procedimiento (ver la sección 5-10) prevé un sistema diseñado de

forma tal que se consigue el reparto adecuado de los caudales sin utilizar compuertas de regulación. A menudo se designa como "Método de equilibrado por presión estática". En este tipo de diseño, el cálculo se inicia en la campana más alejada del ventilador y se avanza de conducto secundario a conducto principal y de cada sección de conducto principal a la siguiente sección hasta alcanzar el ventilador. En cada unión, la presión estática necesaria para lograr el caudal de diseño en una corriente debe ser igual a la presión estática en la corriente de aire a la que se une la anterior. La presión estática se equilibra eligiendo el diámetro del conducto, el radio de los codos, etc., adecuadamente tal como se detalla más adelante.

5.6.2 Equilibrado por compuertas: El procedimiento se basa en la instalación de compuertas de regulación, que serán ajustadas una vez que el sistema se ponga en funcionamiento para conseguir el caudal deseado en cada campana. En cada unión simplemente se suman los caudales de las dos corrientes confluyentes.

5.6.3 Elección del método: Como norma general el equilibrado por diseño debe ser el utilizado cuando se captan productos muy tóxicos para prevenir los riesgos de manipulaciones inadecuadas en las compuertas de regulación y los riesgos de exposición del personal a concentraciones altas que pueden derivarse de este hecho. El método es obligatorio cuando se trabaja con materiales explosivos o radiactivos a fin de eliminar el riesgo de acumulaciones en las compuertas.

5.6.4 Procedimiento para el equilibrado por diseño: Se calcula la pérdida de carga de cada conducto secundario, a partir de los valores de diseño, desde la campana de captación hasta el punto de unión con el conducto principal. En cada unión la presión estática calculada para los dos conductos confluyentes debe ser la misma. Cuando la relación entre la PE más baja y la más alta sea inferior a 0,8, se rediseña el conducto con PE más baja. El rediseño puede consistir en modificar el diámetro del conducto, seleccionar accesorios diferentes y/o modificar el diseño de la campana. Cuando las presiones estáticas calculadas para dos conductos confluyentes no son iguales, el equilibrado puede lograrse aumentando el caudal del conducto con menor resistencia. El nuevo caudal se calcula, teniendo en cuenta que la pérdida de carga es proporcional a la presión dinámica y por tanto proporcional al cuadrado del caudal, esto es:

$$Q_{\text{corregido}} = Q_{\text{diseño}} \sqrt{\frac{\text{PE en la unión}}{\text{PE calculada en el tramo}}} \quad [5.1]$$

Cuando la relación entre las presiones estáticas está comprendida entre 0,95 y 1,00 la corrección de caudal es menor del 2,5 % y generalmente puede ser despreciada. La diferencia de presiones no se tiene en cuenta y se considera que los dos conductos están equilibrados a la PE correspondiente a la mayor de ambas (Presión estática de control).

5.6.5 Procedimiento de equilibrado por compuertas: Los datos y cálculos son los mismos que en el procedimiento de equilibrado por diseño con la excepción de que los caudales, tamaños de conducto, y accesorios no se rediseñan; las compuertas se ajustan una vez puesta en marcha la instalación de forma que el reparto de caudales en los conductos secundarios sea el deseado. Hay que tener en cuenta que un cambio en la posición de una compuerta cambia el caudal en todos los conductos de la instalación. El ajuste de las compuertas puede ocasionar un aumento de la presión estática del ventilador y aumentar el consumo de energía.

5.7 SISTEMAS DE EXTRACCIÓN CON PLENO

Los sistemas de extracción localizada con pleno son diferentes de los diseños mostrados antes (ver la Figura 5-4). Las velocidades mínimas de transporte para evitar la deposición de partículas sólo se mantienen en los conductos secundarios; el conducto principal se sobredimensiona de forma que la velocidad sea muy inferior al valor normal. La misión del conducto principal es proveer un camino con muy poca pérdida de carga desde los puntos de unión de los conductos secundarios hasta el depurador de aire o el ventilador. Esto contribuye a mantener el equilibrio entre los conductos secundarios y a menudo ocasiona un consumo mínimo de energía.

Entre las ventajas del pleno se incluyen:

1. Se pueden añadir, cambiar de posición o suprimir conductos secundarios en cualquier punto del pleno.

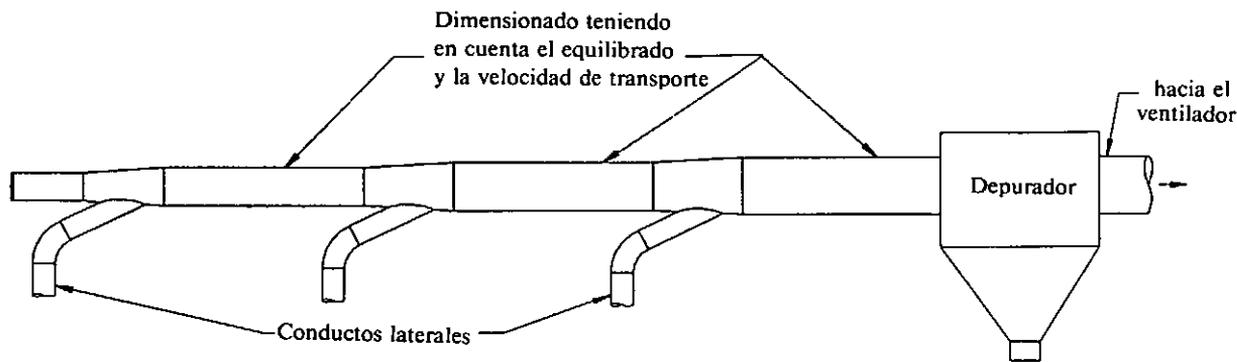
2. Se pueden cerrar conductos secundarios y disminuir el caudal total del sistema hasta el valor que permita mantener la velocidad mínima de transporte en los conductos secundarios que permanezcan en funcionamiento.
3. El conducto principal actúa como un separador primario (cámara de sedimentación) para las partículas de mayor tamaño y materiales de deshecho, que pueden ser perjudiciales para el depurador o el ventilador.

Entre las limitaciones se incluyen:

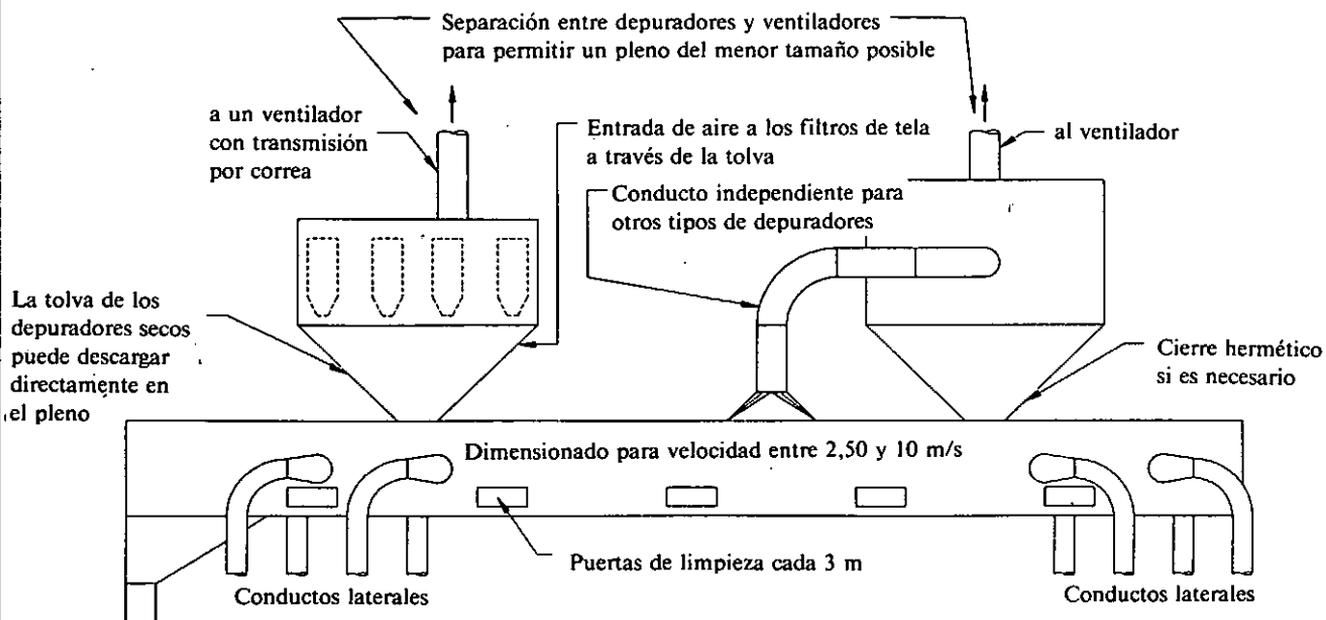
1. Los materiales fibrosos y los pegajosos, tales como el polvo de pulido, son difíciles de manipular y tienen tendencia a taponar el conducto principal. Es previsible que las mayores dificultades se presenten en los plenos con limpieza por cadenas, pero en los otros tipos también es posible.
2. Los materiales susceptibles de autoignición deben manipularse con precaución. Este tipo de instalaciones han trabajado satisfactoriamente con polvo de madera. El polvo de pulido y las fibras también están sujetos a este tipo de limitación y el sistema no es recomendable. No se deben utilizar instalaciones de este tipo cuando se manipulan materiales pulvígenos explosivos, tales como magnesio, titanio o polvo de cereales.

5.7.1 Elección del sistema: En la industria se utilizan varios tipos de sistemas de extracción localizada con plenos (ver la Figura 5-5). Los métodos de limpieza pueden ser manuales o automáticos. Los sistemas automáticos de limpieza están contruidos en forma ovoide y disponen de un transportador de cadenas en la parte inferior que arrastra el polvo hasta el punto de recogida en un contenedor o bolsa para su evacuación. Otro tipo de limpieza automática utiliza una cinta transportadora. La cinta puede funcionar de forma continua o intermitente para descargar el polvo depositado y evitar la obturación del conducto. Un tercer tipo (5,3) utiliza un sistema clásico de transporte neumático para el vaciado del polvo depositado en el conducto principal, que en este caso tiene forma de tolva. Este tipo de limpieza generalmente debe funcionar de forma continua para evitar la obturación de los conductos del transporte neumático. Los plenos de limpieza manual se deben construir a nivel de suelo, o en forma de grandes cerramientos junto a la instalación a la que están conectados. La experiencia indica que estos modelos deben ser sobredimensionados con generosidad, en particular los plenos subterráneos, para posibilitar futuras ampliaciones de la capacidad de extracción y su limpieza.

5.7.2 Diseño: Los caudales, campanas de captación y diámetros de los conductos secundarios se calculan como en los procedimientos de equilibrado por diseño o por compuertas. El conducto con la mayor pérdida de carga controla la presión estática necesaria en el pleno. Los demás conductos secundarios se deberán diseñar para que trabajen a esa



SISTEMA DE CONDUCTOS DE DIÁMETRO PROGRESIVO
Mantiene la velocidad de transporte



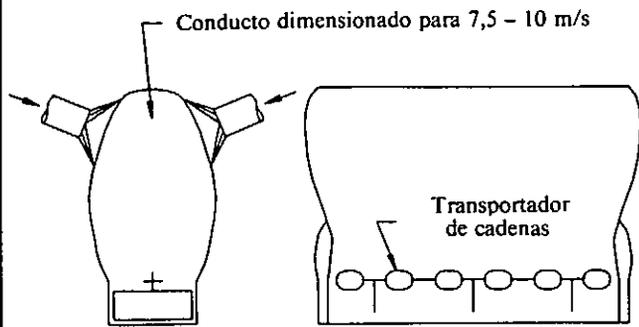
SISTEMA CON PLENO CONTINUO
Tipo autolimpiable

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

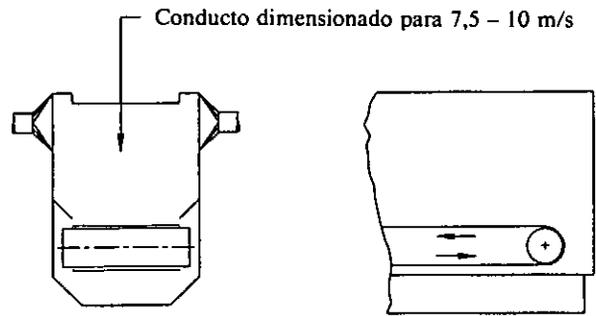
*SISTEMAS CONVENCIONALES
vs PLENO*

FECHA 1-88

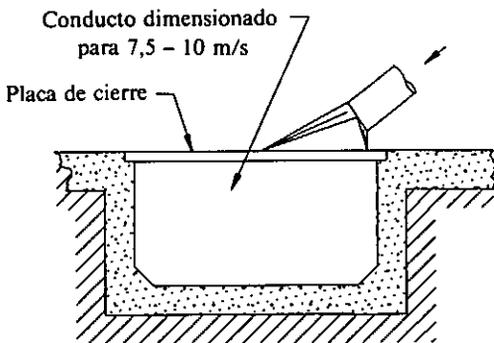
FIGURA 5-4



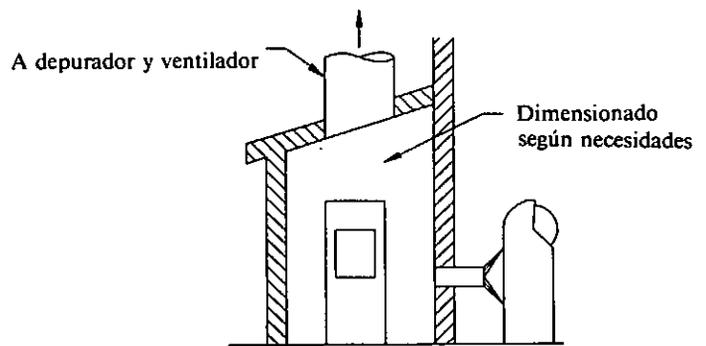
1. Conducto autolimpiable - Transportador de cadenas



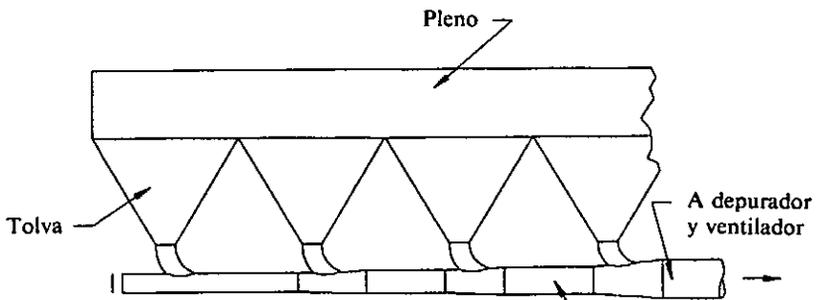
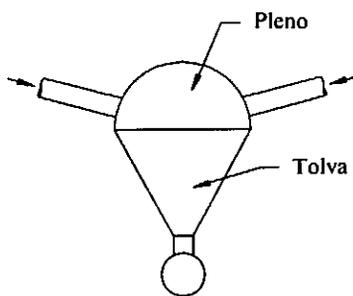
2. Conducto autolimpiable - Cinta transportadora



3. Pleno subterráneo - limpieza manual



4. Pleno - limpieza manual



Conducto de limpieza por transporte neumático. Dimensionado teniendo en cuenta el equilibrado y la velocidad de transporte.

5. Conducto y tolva con limpieza neumática
Referencia 5.3

presión estática, o bien se instalarán compuertas para ajustar su pérdida de carga a la del conducto dominante. Cuando el conducto principal es de poca longitud o los depuradores de aire o ventiladores pueden distribuirse a lo largo del conducto principal, la pérdida de carga de éste puede ser despreciada. Para conductos principales muy largos es preciso calcular la pérdida de carga a lo largo del mismo por cualquiera de los métodos expuestos antes, sin embargo, en este caso sólo es posible obtener resultados aproximados. Las conexiones a los depuradores, ventiladores y conductos de descarga a la atmósfera se tratan de la forma habitual.

5.8 EVALUACIÓN DE LA PRESIÓN DEL VENTILADOR

Los cálculos de un sistema de extracción localizada se basan en la presión estática, es decir, todos los valores de presión en las campanas y en las uniones de conductos se expresan como la presión estática que se puede medir directamente con los procedimientos descritos en el Capítulo 9. La mayoría de tablas de características de los ventiladores indican la Presión Estática del Ventilador. Es preciso un cálculo adicional para determinar la Presión Estática del Ventilador que sirva como dato para la selección del mismo.

5.8.1 Presión Total del Ventilador (PTV) es el incremento de la presión total del aire al pasar a través del ventilador y puede representarse por la ecuación:

$$PTV = PT_{salida} - PT_{entrada} \quad [5.2]$$

Algunos fabricantes de ventiladores dan los valores característicos de sus equipos en términos de Presión Total del Ventilador. Para seleccionar un ventilador en estos casos, la Presión Total del Ventilador se calcula como sigue:

$$PTV = PT_{salida} - PT_{entrada} \\ PTV = (PE_{salida} + PD_{salida}) - (PE_{entrada} + PD_{entrada}) \quad [5.3]$$

5.8.2 Presión Estática del Ventilador: La Air Movement and Control Association (5,1) define la Presión Estática de un ventilador (PEV) como la Presión Total del Ventilador menos la Presión Dinámica del Ventilador. La Presión Dinámica del Ventilador se define como la presión dinámica correspondiente a la velocidad del aire a la salida del ventilador. La Presión Estática del Ventilador queda definida por la ecuación:

$$PEV = PTV - PD_{salida} \quad [5.4]$$

o bien

$$PEV = PT_{salida} - PT_{entrada} - PD_{salida}$$

puesto que $PT = PE + PD$, la ecuación puede escribirse así:

$$PEV = (PE_{salida} + PD_{salida}) - (PE_{entrada} + PD_{entrada}) - PD_{salida}$$

combinando términos se llega a la expresión final:

$$PEV = PE_{salida} - PE_{entrada} - PD_{entrada} \quad [5.5]$$

Al seleccionar un ventilador a partir de datos de catálogo hay que examinar cómo está expresada la presión del ventilador, si es Presión Estática o Total. A continuación se calcula el valor adecuado prestando atención a los signos algebraicos es decir, la presión dinámica siempre es positiva (+), la $PE_{entrada}$ generalmente es negativa (-) y la PE_{salida} generalmente es positiva (+).

5.9 CORRECCIONES POR CAMBIOS DE VELOCIDAD

En muchos puntos de un sistema de ventilación se producen cambios de velocidad debido a las limitaciones impuestas por la selección de diámetros de conductos que estén disponibles en el comercio o por las necesidades de equilibrar el sistema. Como ya se ha indicado, las aceleraciones o desaceleraciones de poca magnitud quedan compensadas de forma automática en los sistemas bien diseñados y con accesorios adecuados. Sin embargo, existen circunstancias especiales en las que el diseñador debe conocer las pérdidas o recuperaciones de presión que pueden producirse, ya que pueden suponer ventajas o inconvenientes en el funcionamiento final del sistema.

5.9.1 Uniones de conductos secundarios al conducto principal: En ocasiones la velocidad en el conducto principal después de una unión es superior a la mayor de las velocidades en los conductos que confluyen en la unión. Si la diferencia es importante, el incremento de presión dinámica deberá ser compensado con una disminución en la presión estática. Se deben introducir correcciones cuando la diferencia entre la presión dinámica en el conducto principal y la presión dinámica resultante de los dos conductos de la unión es superior a 2,5 mmca.

La corrección se realiza calculando en primer lugar la presión dinámica resultante (PD_r) que corresponde a una velocidad ficticia de las dos corrientes de aire que llegan a la unión. Este valor se calcula aplicando la ecuación básica de la presión dinámica, $PD = (V/4,043)^2$, utilizando como valor de la velocidad la resultante de dividir la suma de los caudales que llegan a la unión por la suma de las áreas de los dos conductos que se unen:

$$PD_r = \left[\frac{Q_1 + Q_2}{4,043 (A_1 + A_2)} \right]^2 \quad [5.6]$$

siendo:

$$PD_r = \text{presión dinámica resultante de la unión} \\ Q_1 = \text{caudal en el conducto n.º 1}$$

Q_2 = caudal en el conducto n.º 2
 A_1 = área del conducto n.º 1
 A_2 = área del conducto n.º 2

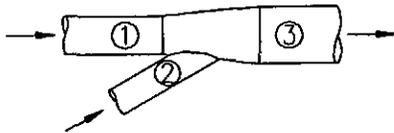
Se supone que los conductos 1 y 2 están equilibrados en la unión, esto es $PE_1 = PE_2$. Si PD_3 es menor que PD_r , se produce una desaceleración y no es preciso realizar correcciones. Si PD_3 es mayor que PD_r , se produce una aceleración y la diferencia entre PD_3 y PD_r es la pérdida de PE necesaria para compensar el aumento de energía cinética para pasar de PD_r a PD_3 . El valor corregido de PE se calcula con la fórmula:

$$PE_3 = PE_1 - (PD_3 - PD_r) \tag{5.7}$$

siendo:

PE_3 = PE en el conducto principal 3
 PE_1 = PE en el conducto 1 = PE en el conducto 2
 PD_3 = presión dinámica en el conducto principal 3

EJEMPLO



Cond. n.º	Diám.	Área	Q	V	PD	PE
(1)	250	0,04909	0,9167	18,7	21,3	-54,
(2)	100	0,00785	0,1597	20,3	25,3	-54,
Princ. (3)	250	0,04909	1,0764	21,9	29,4	-

$$\begin{aligned}
 PD_r &= \left[\frac{Q_1 + Q_2}{4,043 (A_1 + A_2)} \right]^2 = \\
 &= \left[\frac{0,9167 + 0,1597}{4,043 (0,04909 + 0,00785)} \right]^2 = \\
 &= \left[\frac{1,0764}{4,043 \times 0,05694} \right]^2 = 21,9 \text{ mmca}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 PE_3 &= PE_1 - (PD_3 - PD_r) = -54 - (29,4 - 21,9) = -54 - 7,5 \\
 PE_3 &= -61,5 \text{ mmca (PE corregida teniendo en cuenta el} \\
 &\quad \text{incremento de velocidad)}
 \end{aligned}$$

FIGURA 5.6 CORRECCIÓN POR CAMBIO DE VELOCIDAD EN LAS UNIONES

5.9.2 Contracciones y ensanchamientos del conducto:

Las contracciones en los conductos se presentan cuando es necesario reducir su diámetro para poder salvar pasos estrechos, ajustar el conducto a la brida de entrada de un equipo o para conseguir una velocidad de descarga alta en el extremo de la chimenea. Los ensanchamientos de conductos se utilizan para su ajuste a un equipo determinado o para

disminuir el consumo de energía reduciendo la velocidad y el rozamiento. Los ensanchamientos no son aconsejables en los sistemas de transporte, ya que la velocidad puede ser inferior a la mínima necesaria y se pueden producir sedimentaciones en los conductos.

La recuperación de presión en un conducto es posible debido a que la presión estática y dinámica son mutuamente convertibles. Esta conversión se produce con una cierta pérdida de energía; la magnitud de ésta pérdida es una función de la geometría de la pieza de transformación (cuanto más brusco sea el cambio de velocidad mayor será la pérdida de energía) y del hecho de que el aire se acelere o se frene. La pérdida se expresa como una fracción de la diferencia entre las presiones dinámicas a la entrada y a la salida de la pieza de conversión. El complemento a uno de la pérdida es el rendimiento en la conversión de energía.

Una contracción o ensanchamiento ideal (sin pérdidas) no causaría ninguna pérdida de presión total en el conducto. Existiría un incremento (disminución) de la presión estática correspondiente exactamente a la disminución (aumento) de la presión dinámica del aire. En la práctica, el ensanchamiento o contracción no es ideal, y siempre existe disminución de la presión total (ver la Figura 5-7). En cada ejemplo se han representado la presión total y la presión estática con el fin de mostrar su relación en varios puntos de cada sistema.

5.10 EJEMPLO DE DISEÑO DE SISTEMA

La exposición de los dos métodos de cálculo de conductos se puede hacer mejor mediante un ejemplo típico de cálculo de un sistema de extracción localizada que se muestra en la Figura 5-8. Las hojas de cálculo ilustran una disposición ordenada y concisa de los datos y cálculos (ver las Figuras 5-9 a 5-12).

El problema propuesto se centra en una instalación de manipulación de arena de una fundición con una parrilla vibratoria de desmoldeo. En todo el problema se utiliza una velocidad mínima de transporte de 18 m/s. En la Tabla 5-2 se indican las operaciones, la identificación de las campanas en el esquema, las referencias a las Figuras VS, y los caudales necesarios.

5.11 CORRECCIONES PARA DIFERENTES MATERIALES DEL CONDUCTO

Los gráficos de pérdidas de carga, Figuras 5-18 y 5-21 (a y b), dan valores medios para conductos circulares, nuevos, contruidos en chapa galvanizada y costuras de unión a distancias de un metro aproximadamente, vehiculando aire en condiciones standard cuya densidad es de 1,2 kg/m³. Estos valores se pueden utilizar en la mayoría de diseños sin cometer errores significativos; sin embargo, se presentan casos en que es necesaria una mayor precisión en el cálculo de las pérdidas de carga.

TABLA 5-2 Detalles de la operación

	Campana n.º	Fig.-VS	Caudal mínimo m³/s
1. Parrilla desmoldeo tamaño 1,25 x 1,8 m.	1	110,112	4,500
2. Tolva de la parrilla	2	112	0,450
3. Vibrador de alimentación de cinta de 0,6 m	3	112,306	0,324
4. Cinta inclinada 0,6 m x 8,5 m	5	306	0,324
5. Separador magnético			
6. Cajón para viruta de hierro			
7. Elevador de cangilones camisa de 0,6 x 0,75 m	7a (inf.) 7b (sup.)	305	0,230
8. Tamiz vibrante 1,1 x 2 m	8	307	0,550
9. Silo de arena 17 m³ abertura de 0,45 x 0,50 m	9	304	0,225
10. Cajón de arena agotada 1,0 x 1,5 abertura 0,15 m	10	903 (V = 0,75 m/s)	0,563
11. Tolva de dosificador	11		
12. Mezclador de arena diámetro 1,8 m	12	108	0,423
13. Depurador húmedo			

DIMENSIONES

N.º de conducto	Caudal mínimo m³/s	Longitud de tramo recto, m	Codos	Uniones
1-A	4,500	4,0	1-90°	
2-B	0,450	0,9	1-45°	1-45°
3-B	0,324	1,2	1-90° + 1-60°	1-30°
B-A	0,774	5,5	2-90°	1-30°
A-C	5,274	10,4		
5-D	0,324	2,1	1-30° + 1-60°	1-30°
7a-D	0,115	1,5		
D-C	0,439	4,3	1-90° + 1-60°	1-30°
C-E	5,713	2,0		
8-F	0,550	3,4	2-90°	
9-F	0,225	1,2	1-90° + 1-60°	1-30°
F-G	0,775	1,5		
7b-G	0,115	4,6	1-60°	1-30°
G-E	0,890	1,8	1-60°	1-30°
E-H	6,603	1,1		
10-J	0,563	1,8	1-45°	
12-J	0,423	0,8	1-30°	1-30°
J-H	0,986	2,4	1-90° + 1-60°	1-30°
H-K	7,589	2,7	2-45°	
13	7,589			
14-L	7,589	6,1		

En la Figura 5-22 se presenta un gráfico con factores de corrección que dependen de la rugosidad del conducto, su tamaño y la velocidad del aire. Estos factores se aplican directamente a los valores obtenidos a partir de las Figuras 5-18 y 5-21 (a y b).

EJEMPLO

Sea un conducto de 100 mm de diámetro; velocidad 22,6 m/s (PD = 31,3 mmcd/m); caudal 0,1778 m³/s (640 m³/h); Factor de pérdida de carga (Fig. 5-18) = 0,23. La pérdida de carga para un conducto standard será: 0,23 x 31,3 = 7,2 mmcd/m de conducto. Construcción especial en tramos de 3 m de longitud, con las costuras longitudinales soldadas y pulidas. En la Figura 5-22 se lee, en las curvas de tubos bastante lisos y diámetro 120 mm, qué es lo más similar a nuestro caso, un factor de corrección de 0,83. La pérdida real será:

$$0,83 \times 7,2 = 6,0 \text{ mmcd/m}$$

Además de la Figura 5-22, los fabricantes disponen de datos para conductos fabricados con materiales especiales, conductos flexibles no metálicos y metálicos. Los datos se pueden obtener directamente de los fabricantes.

5.12 PÉRDIDA DE CARGA EN CONDUCTOS NO CIRCULARES

Los conductos de sección circular son los habituales en las instalaciones de extracción localizada de la industria debido a que la distribución de velocidades es más homogénea, evitándose la deposición de materiales, y a que una sección circular soporta mejor valores elevados de presión estática. Sin embargo, existen casos en que el proyectista debe utilizar otros tipos de sección en los conductos.

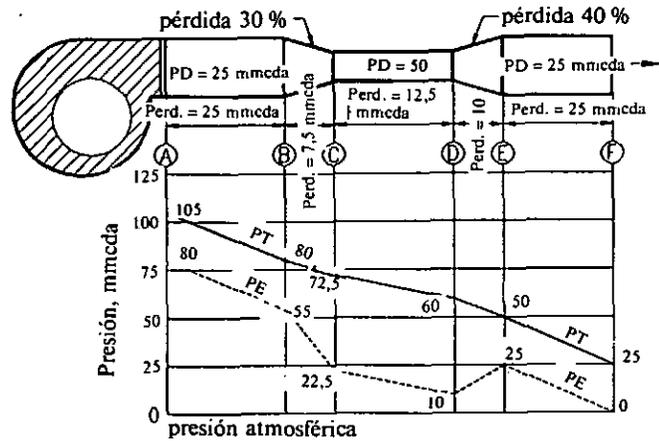
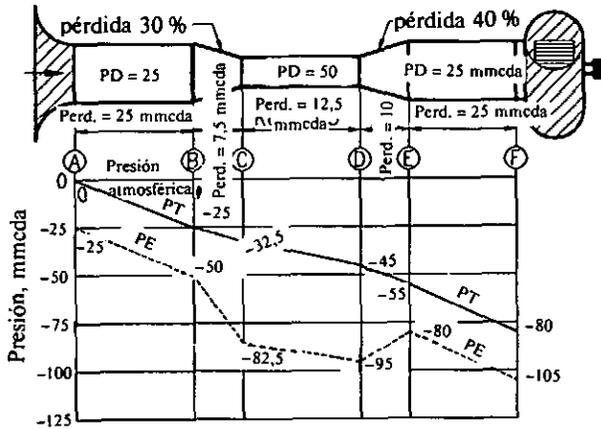
El rozamiento en los conductos de sección rectangular se puede calcular utilizando los gráficos de pérdida de carga de las Figuras 5-18 y 5-21 (a y b) junto con la Tabla 5-6 que indica para un conducto rectangular el diámetro de un conducto circular con la misma pérdida de carga y el mismo caudal. Es necesario recalcar que para una misma pérdida de carga el área del conducto rectangular es mayor que la del conducto circular equivalente; en consecuencia la velocidad será menor, por lo tanto es preciso actuar con precaución para mantener las velocidades mínimas de transporte.

Ocasionalmente puede ser necesario estimar las pérdidas en conductos con secciones de forma irregular. El procedimiento siguiente (5,2) puede ser útil para realizar estas estimaciones:

1. Hallar el área de la sección recta del conducto, m² . A
2. Hallar el perímetro mojado, m P
3. Calcular el radio hidráulico, m R (R = A/P)
4. Calcular el diámetro equivalente, m . D (D = 4 x R)
5. Utilizar el gráfico de pérdidas de carga con el diámetro equivalente y el caudal (o la velocidad).

5.13 CORRECCIONES POR TEMPERATURA, HUMEDAD Y ALTITUD

Las tablas de características de los ventiladores y los requisitos de caudal en los sistemas de extracción localizada



EJEMPLO - CONDUCTO EN LA ASPIRACIÓN DEL VENTILADOR. Los cambios de velocidad están indicados. Puesto que todo el conducto está en el lado de la aspiración, la PE en la entrada al ventilador (punto F) es igual a la PD en ese punto más la resistencia de todo el conducto. Su valor es -105 puesto que la presión estática en el lado de aspiración del ventilador siempre es negativa. El conducto es el mismo que en el ejemplo 2, y por tanto su resistencia es la misma y vale 80. Si se supone que la entrada y la salida del ventilador tienen igual superficie la presión total del ventilador será igual a la del ejemplo 1 y, en ambos casos, el ventilador comunica al aire la misma energía si vehicula el mismo volumen.

La transformación de presiones entre los puntos B y C sigue la fórmula de los estrechamientos (Fig. 5-19). En B debe existir suficiente PE para poder suministrar el incremento de PD necesario en C. Además la transferencia de energía entre estos dos puntos se produce con una pérdida de 7,5. Puesto que PE en B = 50, la PE en C = $-50 + (-25) + (-7,5) = -82,5$.

La recuperación de presión estática entre D y E sigue la fórmula de la Figura 5-19. Si no existiesen pérdidas en la pieza de transformación, la diferencia de 25 en la presión dinámica se recuperaría como presión estática en E, y la presión estática en este punto sería -70. Sin embargo, la transformación sólo tiene una eficacia del 60% (pérdida de 10), así la PE en E = $-70 + (-10) = -80$.

EJEMPLO - CONDUCTO SITUADO EN LA IMPULSIÓN DEL VENTILADOR. Los cambios de velocidad están indicados. Todo el conducto está situado en el lado de la impulsión del ventilador. La presión total en la salida del ventilador (punto A) es igual a la presión dinámica en el punto de descarga al final del conducto (punto F) más las pérdidas acumuladas en todo el conducto. La suma es $25 + 25 + 10 + 12,5 + 7,5 + 25 = 105$.

La recuperación de presión estática entre D y E sigue la fórmula de la Figura 5-19. Si no existiesen pérdidas en la pieza de transformación, la presión estática en D sería 0, puesto que la diferencia de PD de 25 se recuperaría como presión estática. Sin embargo, la transformación sólo tiene una eficacia del 60%, lo que significa una pérdida de 10, así la PE en D = $0 + 10 = 10$.

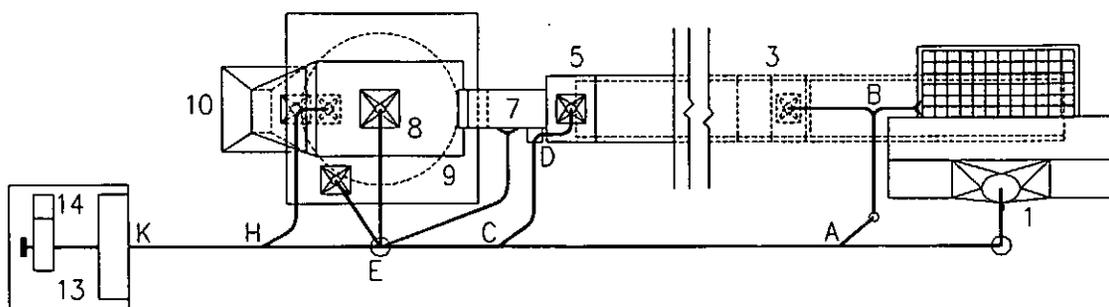
La transformación de presión estática en presión dinámica entre los puntos B y C sigue la fórmula de los estrechamientos (Fig. 5-19). En B debe existir suficiente PE para poder suministrar el incremento de PD necesario en C. Además la transferencia de energía entre estos dos puntos se produce con una pérdida de 7,5. Puesto que PE en C = 22,5, PE en B = $22,5 + 7,5 + 25 = 55$. Puesto que no hay conducto en el lado de aspiración del ventilador, la presión total que debe vencer el ventilador es de 105.

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

CONTRACCIONES
Y EXPANSIONES

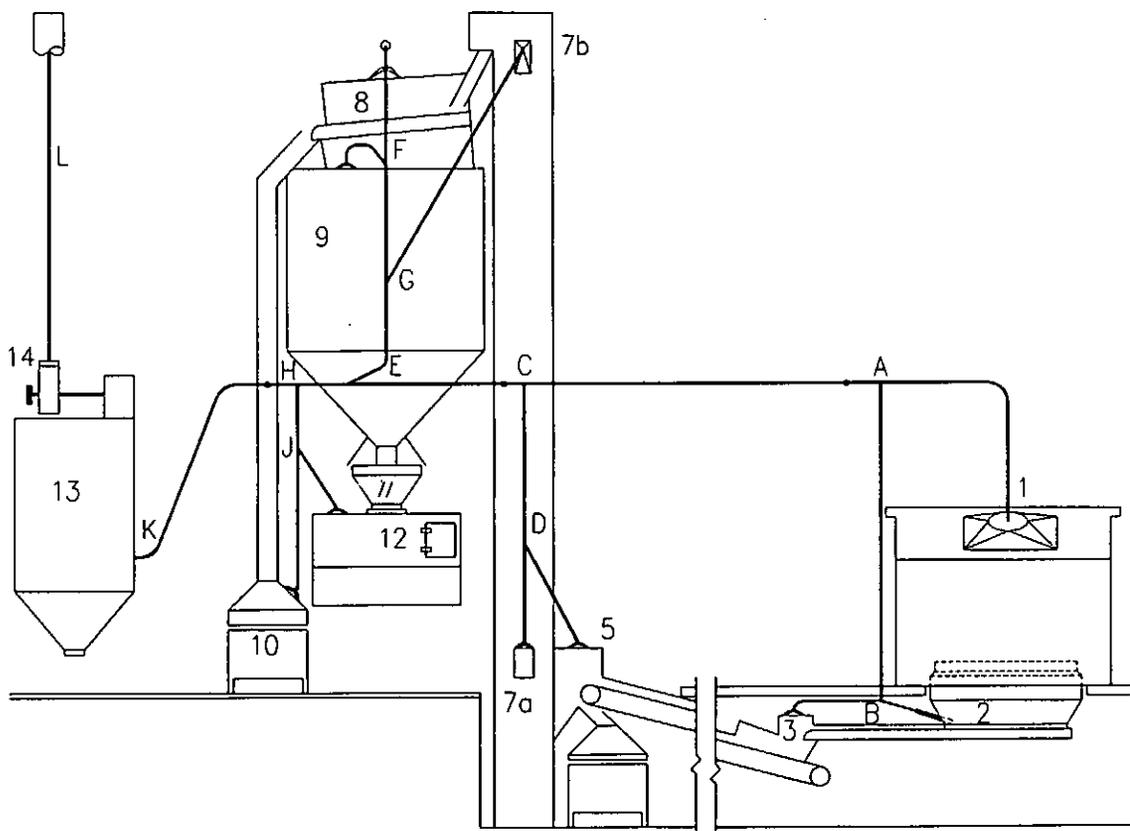
FECHA 1-88

FIGURA 5-7



PLANTA

Todos los codos de radio = 2,0 D
(medido en el eje)
entradas 30°



ALZADO

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

PROBLEMA 2

FECHA 1-88

FIGURA 5-8

HOJA DE CÁLCULO POR EL MÉTODO DE PRESIÓN DINÁMICA

Empresa: Problema 2

Altitud: Nivel del mar

Fecha: 7-90

Notas:

Dirección:

Temperatura: 20 °C

Referencia planos: Figura 5-8

Departamento:

Factor: 1

Elaborado por:

1	Identificación del tramo de conducto	1-A	2-B	3-B	B-A	1-A	A-C	5-D	7a-D	D-C	C-E
2	Caudal m ³ /s	4,5	0,45	0,324	0,774	4,5	5,274	0,324	0,115	0,467	5,741
3	Velocidad mínima de transporte m/s	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
4	Diámetro del conducto mm	550	170	150	220	460	600	150	90	170	600
5	Sección del conducto m ²	0,2376	0,0227	0,0177	0,0380	0,166	0,283	0,0177	0,00636	0,0227	0,283
6	Velocidad real en conducto m/s	18,9	19,8	18,3	20,4	27,1	18,6	18,3	18,1	20,6	20,3
7	Presión Dinámica mmca	21,9	24,0	20,5	25,4	45,0	21,2	20,5	20,0	25,9	25,2
8	S R Área de la rendija m ²	0,9				0,9					
9	U E Velocidad en rendija m/s	5,0				5,0					
10	C N Presión Dinámica en rendija mmca	1,53				1,53					
11	C D Fac. pérdida rendija: Fig. 5-15 o Cap. 10	1,78				1,78					
12	I J Factor de aceleración 0 ó 1	0				0					
13	Ó J Pérdidas en pleno (en PD) ítems 11+12	1,78				1,78					
14	N A PE en el pleno ítems 10x13 mmca	2,7				2,7					
15	C Fac. pérdida entrada; Fig. 5-15 o Cap. 10	0,25	0,25	0,25		0,25		0,25	1,00		
16	A Factor de aceleración 1 ó 0	1	1	1		1		1	1		
17	M Pérdida en entrada (PD) ítems 15+16	1,25	1,25	1,25		1,25		1,25	2,00		
18	P Pérdida en la entrada ítems 7x17	27,4	30,0	25,6		56,2		25,6	40,0		
19	Otras pérdidas mmca				2,9(2)					2,9(5)	3,6(6)
20	Succ. en campana; ítems 14+18+19 mmca	30,1	30,0	25,6	2,9	58,9		25,6	40,0	2,9	3,6
21	Longitud de conducto recto m	4,0	0,9	1,2	5,5	4,0	10,4	2,1	1,5	4,3	2,0
22	Factor de pérdidas (Hf) Fig. 5-18 o ecuac.	0,028	0,12	0,14	0,086	0,034	0,026	0,14	0,27	0,12	0,025
23	Pérdidas en PD; ítems 21x22	0,112	0,11	0,17	0,47	0,14	0,27	0,29	0,41	0,52	0,05
24	N.º de codos de 90°	1	0,5	1,67	2	1		1		1,67	
25	Pérdida en codos en PD; ítem 24 x factor	0,27	0,14	0,45	0,54	0,27		0,27		0,45	
26	N.º de uniones		1	1	1			1		1	
27	Pérdida en uniones en PD; ítem 26 x factor		0,28	0,18	0,18			0,18		0,18	
28	Fact. de pérdida de accesorios especiales										
29	Pérdidas en tramo en PD; ítems 23+25+27+28	0,382	0,53	0,80	1,19	0,41	0,27	0,74	0,41	1,15	0,05
30	Pérdidas en el tramo; ítem 7x29 mmca	8,4	12,7	16,4	30,2	18,5	5,7	15,2	8,2	29,8	1,3
31	Pérdida de PE en tramo; ítem 20+30 mmca	38,5	42,7	42,0	33,1	77,4	5,7	40,8	48,2	32,7	4,9
32	PE acumulada mmca	-38,5	-42,7	-42,0	-75,8	-77,4	-83,1	-40,8	-48,2	-80,9	-88,0
33	PE controlante mmca	-75,8		-42,7	-77,4			-48,2		-83,1	
34	Caudal corregido m ³ /s	(3)						0,352(4)			
35	Presión Dinámica resultante mmca			22,5(1)				23,0		21,6	

ECUACIONES RELACIONADAS:

$$Q_{\text{corregido}} = Q_{\text{diseño}} \sqrt{\frac{PE_{\text{control}}}{PE_{\text{tramo}}}}$$

$$H_f(\text{PD}/m) = 0,0155 \frac{V^{0,533}}{Q^{0,612}} = \frac{27,8}{Q^{0,079} D^{1,066}}$$

V en m/s
Q en m³/s
D en mm

$$PEV = PE_{\text{salida}} - PE_{\text{entrada}} - PD_{\text{entrada}}$$

$$PD_r = \left[\frac{Q_1 + Q_2}{4,043 (A_1 + A_2)} \right]^2$$

FACTORES DE PÉRDIDA			
CODOS DE 90°		UNIONES	
R/D	Factor	ángulo	Factor
0,0 escuadra	1,25	15°	0,09
1,5	0,39	30°	0,18
2,0	0,27	45°	0,28
2,5	0,22	60°	0,44
		90°	1,00
codos de 60° = 2/3 pérdida			
codos de 30° = 1/3 pérdida			

FIGURA 5-9 EQUILBRADO POR DISEÑO

HOJA DE CÁLCULO POR EL MÉTODO DE PRESIÓN DINÁMICA

Empresa: Problema 2 (cont.)

Altitud: Nivel del mar

Fecha:

Notas:

Dirección:

Temperatura: 20 °C

Referencia planos:

Departamento:

Factor: 1

Elaborado por:

1	Identificación del tramo de conducto	8-F	9-F	F-G	7b-G	G-E	E-H	10-J	12-J	J-H	10-J
2	Caudal m ³ /s	0,55	0,225	0,775	0,115	0,957	6,736	0,563	0,423	1,011	0,563
3	Velocidad mínima de transporte m/s	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
4	Diámetro del conducto mm	190	120	220	90	260	650	190	170	260	170
5	Sección del conducto m ²	0,0283	0,0113	0,0380	0,00636	0,0531	0,332	0,0283	0,0227	0,0531	0,0227
6	Velocidad real en conducto m/s	19,4	19,9	20,4	18,1	18,0	20,3	19,9	18,6	19,0	24,8
7	Presión Dinámica mmca	23,1	24,3	25,4	20,0	19,9	25,2	24,2	21,2	22,2	37,6
8	S R Área de la rendija m ²										
9	U E Velocidad en rendija m/s										
10	C N Presión Dinámica en rendija mmca										
11	C D Fac. pérdida rendija: Fig. 5-15 o Cap. 10										
12	I I Factor de aceleración 0 ó 1										
13	Ó J Pérdidas en pleno (en PD) ítems 11+12										
14	N A PE en el pleno ítems 10×13 mmca										
15	C Fac. pérdida entrada; Fig. 5-15 o Cap. 10	0,50	0,25		1,00			0,25	0,25		0,25
16	A Factor de aceleración 1 ó 0	1	1		1			1	1		1
17	M Pérdida en entrada (PD) ítems 15+16	1,5	1,25		2,00			1,25	1,25		1,25
18	P Pérdida en la entrada ítems 7×17	34,7	30,3		40,0			30,3	26,5		47,0
19	Otras pérdidas mmca			2,0							
20	Succ. en campana; ítems 14+18+19 mmca	34,7	30,3	2,0	40,0			30,3	26,5		47,0
21	Longitud de conducto recto m	3,4	1,2	1,5	4,6	1,8	1,1	1,8	0,8	2,4	1,8
22	Factor de pérdidas (Hf) Fig. 5-18 o ecuac.	0,105	0,28	0,086	0,27	0,072	0,023	0,11	0,13	0,072	0,12
23	Pérdidas en PD; ítems 21×22	0,36	0,34	0,13	1,24	0,13	0,03	0,20	0,10	0,17	0,22
24	N.º de codos de 90°	2	1,67		0,67	0,67		0,5	0,33	1,67	0,5
25	Pérdida en codos en PD; ítem 24 × factor	0,54	0,45		0,18	0,18		0,14	0,09	0,45	0,14
26	N.º de entradas		1		1	1			1	1	
27	Pérdida en entradas en PD; ítem 26 × factor		0,18		0,18	0,18			0,18	0,18	
28	Fact. de pérdida de accesorios especiales										
29	Pérdidas en tramo en PD; ítems 23+25+27+28	0,90	0,97	0,13	1,60	0,49	0,03	0,34	0,37	0,80	0,36
30	Pérdidas en el tramo; ítem 7×29 mmca	20,8	23,6	3,4	32,0	9,8	0,8	8,2	7,8	17,8	13,5
31	Pérdida de PE en tramo; ítem 20+30 mmca	55,5	53,9	5,4	72,0	9,8	0,8	38,5	34,3	17,8	60,5
32	PE acumulada mmca	-55,5	-53,9	-60,9	-72,0	-81,8	-88,8	-38,5	-34,3	-56,3	-60,5
33	PE controlante mmca		-55,5	-72,0		-88,0			-38,5	-88,8	
34	Caudal corregido m ³ /s			0,842(7)		0,995(8)			0,448(9)	(10)	
35	Presión Dinámica resultante mmca		23,4								

CÁLCULOS:

$$(1) PD_r = \left[\frac{0,45 + 0,324}{4,043 (0,0227 + 0,0177)} \right]^2 = 22,5 \text{ mmca}$$

$$(5) \text{ Corrección por aceleración: } 25,9 - 23,0 = 2,9 \text{ mmca}$$

$$(2) PD_{B-A} - PD_r = 25,4 - 22,5 = 2,9 \text{ mmca}$$

$$(6) \text{ Corrección por aceleración } 25,2 - 21,6 = 3,6 \text{ mmca}$$

$$(3) \frac{PE_{B-A}}{PE_{1-A}} = \frac{75,8}{38,5} = 1,97 \text{ se recalcula 1-A para incrementar su PE}$$

$$(7) \frac{PE_{7b-G}}{PE_{F-G}} = \frac{72,0}{60,9} = 1,18 (< 20\%) \text{ se incrementa el caudal en F-G}$$

$$(4) \frac{PE_{7b-D}}{PE_{5-D}} = \frac{48,2}{40,8} = 1,18 (< 20\%) \text{ se incrementa el caudal en 5-D}$$

$$Q_{F-G} = 0,775 \cdot \sqrt{1,18} = 0,842$$

$$Q_{5-D} = 0,324 \sqrt{\frac{48,2}{40,8}} = 0,352$$

FIGURA 5-9 EQUILBRADO POR DISEÑO (Continuación)

HOJA DE CÁLCULO POR EL MÉTODO DE PRESIÓN DINÁMICA

Empresa: Problema 2 (final)
 Dirección:
 Departamento:

Altitud: Nivel del mar
 Temperatura: 20 °C
 Factor: 1

Fecha:
 Referencia planos:
 Elaborado por:

Notas:

		12-J	J-H	H-K	13	14 in	14-L
1	Identificación del tramo de conducto						
2	Caudal m ³ /s	0,423	0,999	7,735	7,735	7,735	7,735
3	Velocidad mínima de transporte m/s	18	18	18			
4	Diámetro del conducto mm	150	240	700		800	800
5	Sección del conducto m ²	0,0177	0,0452	0,385		0,503	0,503
6	Velocidad real en conducto m/s	23,9	22,1	20,1		15,4	15,4
7	Presión Dinámica mmcda	34,9	29,9	24,7		14,5	14,5
8	S R Área de la rendija m ²						
9	U E Velocidad en rendija m/s						
10	C N Presión Dinámica en rendija mmcda						
11	C D Fac. pérdida rendija: Fig. 5-15 o Cap. 10						
12	I I Factor de aceleración 0 ó 1						
13	Ó J Pérdidas en pleno (en PD) ítems 11+12						
14	N A PE en el pleno ítems 10×13 mmcda						
15	C Fac. pérdida entrada; Fig. 5-15 o Cap. 10	0,25					
16	A Factor de aceleración 1 ó 0	1					
17	M Pérdida en entrada (PD) ítems 15+16	1,25					
18	P Pérdida en la entrada ítems 7×17	43,6					
19	Otras pérdidas mmcda	Pérdida en el depurador húmedo = 115 mmcda					
20	Succ. en campana; ítems 14+18+19 mmcda	43,6					
21	Longitud de conducto recto m	0,8	2,4	2,7			6,1
22	Factor de pérdidas (Hf) Fig. 5-18 o ecuac.	0,14	0,078	0,021			0,018
23	Pérdidas en PD; ítems 21×22	0,11	0,19	0,06			0,11
24	N.º de codos de 90°	0,33	1,67	1			
25	Pérdida en codos en PD; ítem 24 × factor	0,09	0,45	0,27			
26	N.º de uniones	1	1				
27	Pérdida en uniones en PD; ítem 26 × factor	0,18	0,18				
28	Fact. de pérdida de accesorios especiales						
29	Pérdidas en tramo en PD; ítems 23+25+27+28	0,38	0,82	0,33			0,11
30	Pérdidas en el tramo; ítem 7×29 mmcda	13,3	24,5	8,2			1,6
31	Pérdida de PE en tramo; ítem 20+30 mmcda	56,9	24,5	8,2	115		1,6
32	PE acumulada mmcda	-56,9	-85,0	-97,0	-212		+1,6
33	PE controlante mmcda	-60,5	-88,8				(12)
34	Caudal corregido m ³ /s	0,436 (11)					
35	Presión Dinámica resultante mmcda						

$$(8) \frac{PE_{C-E}}{PE_{G-E}} = \frac{88,0}{81,8} = 1,08 (< 20\%) \text{ se incrementa el caudal en G-E}$$

$$Q_{G-E} = 0,957 \cdot \sqrt{1,08} = 0,995$$

$$(9) \frac{PE_{10-J}}{PE_{12-J}} = \frac{38,5}{34,3} = 1,12 (< 20\%) \text{ se incrementa el caudal en 12-J}$$

$$Q_{12-J} = 0,423 \sqrt{1,12} = 0,448$$

$$(10) \frac{PE_{E-H}}{PE_{J-H}} = \frac{88,8}{56,3} = 1,58 (> 20\%) \text{ se recalcula la rama J-H desde el principio}$$

$$(11) \frac{PE_{10-J}}{PE_{12-J}} = \frac{60,5}{56,9} = 1,06 (< 20\%) \text{ se incrementa el caudal en 12-J}$$

$$Q_{12-J} = 0,423 \cdot \sqrt{1,06} = 0,436$$

$$(12) \text{ PEV} = +1,7 - (-212) - 14,5 = 199,2 \text{ mmcda}$$

$$\text{PTV} = \text{PEV} + \text{PD}_{\text{salida}} = 199,2 + 14,5 = 213,7 \text{ mmcda}$$

FIGURA 5-9 EQUILIBRADO POR DISEÑO (Continuación)

HOJA DE CÁLCULO POR EL MÉTODO DE PRESIÓN DINÁMICA

Empresa: Problema 2
 Dirección:
 Departamento:

Altitud: Nivel del mar
 Temperatura: 20 °C
 Factor: 1

Fecha: 7-90
 Referencia planos: Figura 5-8
 Elaborado por:

Notas:

1	Identificación del tramo de conducto		1-A	2-B	3-B	B-A	A-C	5-D	7a-D	D-C	C-E	8-F	
2	Caudal	m³/s	4,5	0,45	0,324	0,774	5,274	0,324	0,115	0,439	5,713	0,55	
3	Velocidad mínima de transporte	m/s	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
4	Diámetro del conducto	mm	550	170	150	220	600	150	90	170	600	190	
5	Sección del conducto	m²	0,238	0,0227	0,0177	0,0380	0,283	0,0177	0,00636	0,0227	0,283	0,0283	
6	Velocidad real en conducto	m/s	18,9	19,8	18,3	20,4	18,6	18,3	18,1	19,3	20,2	19,4	
7	Presión Dinámica	mmcda	21,9	24,0	20,5	25,4	21,2	20,5	20,0	22,8	24,9	23,1	
8	S U E C N C D I J Ó J N A C A M P	Área de la rendija	m²	0,9									
9		Velocidad en rendija	m/s	5,0									
10		Presión Dinámica en rendija	mmcda	1,53									
11		Fac. pérdida rendija: Fig. 5-15 o Cap. 10		1,78									
12		Factor de aceleración	0 ó 1	0									
13		Pérdidas en pleno (en PD) ítems 11+12		1,78									
14		PE en el pleno ítems 10×13	mmcda	2,7									
15		Fac. pérdida entrada; Fig. 5-15 o Cap. 10		0,25	0,25	0,25			0,25	1,00			0,50
16		Factor de aceleración	1 ó 0	1	1	1			1	1			1
17		Pérdida en entrada (PD) ítems 15+16		1,25	1,25	1,25			1,25	2,00			1,50
18		Pérdida en la entrada ítems 7×17		27,4	30,0	25,6			25,6	40,0			34,7
19		Otras pérdidas	mmcda				2,9					3,5	
20		Succ. en campana; ítems 14+18+19	mmcda	30,1	30,0	25,6	2,9		25,6	40,0		3,5	34,7
21		Longitud de conducto recto	m	4,0	0,9	1,2	5,5	10,4	2,1	1,5	4,3	2,0	3,4
22		Factor de pérdidas (Hf) Fig. 5-18 o ecuac.		0,028	0,12	0,14	0,086	0,026	0,14	0,27	0,12	0,025	0,11
23		Pérdidas en PD; ítems 21×22		0,11	0,11	0,17	0,47	0,27	0,29	0,41	0,52	0,05	0,37
24		N.º de codos de 90°		1	0,5	1,67	2		1		1,67		2
25		Pérdida en codos en PD; ítem 24 × factor		0,27	0,14	0,45	0,54		0,27		0,45		0,54
26		N.º de uniones			1	1	1		1		1		
27	Pérdida en uniones en PD; ítem 26 × factor			0,28	0,18	0,18		0,18		0,18			
28	Fact. de pérdida de accesorios especiales												
29	Pérdidas en tramo en PD; ítems 23+25+27+28		0,38	0,53	0,80	1,19	0,27	0,74	0,41	1,15	0,05	0,91	
30	Pérdidas en el tramo; ítem 7×29	mmcda	8,4	12,7	16,4	30,2	5,7	15,2	8,2	26,2	1,2	21,0	
31	Pérdida de PE en tramo; ítem 20+30	mmcda	38,5	42,7	42,0	33,1	5,7	40,8	48,2	26,2	4,7	55,7	
32	PE acumulada	mmcda	-38,5	-42,7	-42,0	-75,8	-81,5	-40,8	-48,2	-74,4	-86,2	-55,7	
33	PE controlante	mmcda	-75,8		-42,7			-48,2		-81,5			
34	Caudal corregido	m³/s	COMP					COMP		COMP			
35	Presión Dinámica resultante	mmcda			22,5					21,4			

ECUACIONES RELACIONADAS:

$$Q_{\text{corregido}} = Q_{\text{diseño}} \sqrt{\frac{PE_{\text{control}}}{PE_{\text{tramo}}}}$$

$$Hf(PD/m) = 0,0155 \frac{V^{0,533}}{Q^{0,612}} = \frac{27,8}{Q^{0,079} D^{1,066}}$$

V en m/s
 Q en m³/s
 D en mm

$$PD_r = \left[\frac{Q_1 + Q_2}{4,043 (A_1 + A_2)} \right]^2$$

$$PEV = PE_{\text{salida}} - PE_{\text{entrada}} - PD_{\text{entrada}}$$

FACTORES DE PÉRDIDA			
CODOS DE 90°		UNIONES	
R/D	Factor	ángulo	Factor
0,0 escuadra	1,25	15°	0,09
1,5	0,39	30°	0,18
2,0	0,27	45°	0,28
2,5	0,22	60°	0,44
		90°	1,00
codos de 60° = 2/3 pérdida			
codos de 30° = 1/3 pérdida			

CÁLCULOS:

PEV = +1,5 - (-209,8) - 13,9 = 197,4 mmcda

FIGURA 5-10 EQUILBRADO POR COMPUERTAS

HOJA DE CÁLCULO POR EL MÉTODO DE PRESIÓN DINÁMICA

Empresa: Problema 2 (Cont.)

Elevación: Nivel del mar

Fecha:

Notas:

Dirección:

Temperatura: 20 °C

Referencia planos: Figura 5-8

Departamento:

Factor: 1

Elaborado por:

1	Identificación del tramo de conducto	9-F	F-G	7b-G	G-E	E-H	10-J	12-J	J-H	H-K	13	
2	Caudal m ³ /s	0,225	0,775	0,115	0,890	6,603	0,563	0,423	0,986	7,589	7,589	
3	Velocidad mínima de transporte m/s	18	18	18	18	18	18	18	18	18		
4	Diámetro del conducto mm	120	220	90	240	650	190	170	260	700		
5	Sección del conducto m ²	0,0113	0,0380	0,00636	0,0452	0,332	0,0283	0,0227	0,0531	0,385		
6	Velocidad real en conducto m/s	19,9	20,4	18,1	19,7	19,9	19,9	18,6	18,6	19,7		
7	Presión Dinámica mmcda	24,3	25,4	20,0	23,7	24,2	24,2	21,2	21,2	23,8		
8	S U C D I Ó N A C M P	R	Área de la rendija m ²									
9		E	Velocidad en rendija m/s									
10		N	Presión Dinámica en rendija mmcda									
11		D	Fac. pérdida rendija: Fig. 5-15 o Cap. 10									
12		I	Factor de aceleración 0 ó 1									
13		J	Pérdidas en pleno (en PD) ítems 11+12									
14		A	PE en el pleno ítems 10×13 mmcda									
15		C	Fac. pérdida entrada; Fig. 5-15 o Cap. 10	0,25		1,0		0,25	0,25			
16		A	Factor de aceleración 1 ó 0	1		1		1	1			
17		M	Pérdida en entrada (PD) ítems 15+16	1,25		2,0		1,25	1,25			
18	P	Pérdida en la entrada ítems 7×17	30,3		40,0		30,3	26,5				
19		Otras pérdidas mmcda									115	
20		Succ. en campana; ítems 14+18+19 mmcda	30,3		40,0		30,3	26,5				
21		Longitud de conducto recto m	1,2	1,5	4,6	1,8	1,1	1,8	0,8	2,4	2,7	
22		Factor de pérdidas (Hf) Fig. 5-18 o ecuac.	0,28	0,086	0,27	0,08	0,023	0,11	0,13	0,072	0,021	
23		Pérdidas en PD; ítems 21×22	0,34	0,13	1,24	0,14	0,03	0,20	0,10	0,17	0,06	
24		N.º de codos de 90°	1,67		0,67	0,67		0,5	0,33	1,67	1	
25		Pérdida en codos en PD; ítem 24 × factor	0,45		0,18	0,18		0,14	0,09	0,45	0,27	
26		N.º de uniones	1		1	1		1	1			
27		Pérdida en uniones en PD; ítem 26 × factor	0,18		0,18	0,18		0,18	0,18			
28		Fact. de pérdida de accesorios especiales										
29		Pérdidas en tramo en PD; ítems 23+25+27+28	0,97	0,13	1,60	0,50	0,03	0,34	0,37	0,80	0,33	
30		Pérdidas en el tramo; ítem 7×29 mmcda	23,6	3,4	32,0	11,9	0,7	8,2	7,8	17,0	7,9	
31		Pérdida de PE en tramo; ítem 20+30 mmcda	53,9	3,4	72,0	11,9	0,7	38,5	34,3	17,0	7,9	
32		PE acumulada mmcda	-53,9	-59,1	-72,0	-83,9	-86,9	-38,5	-34,3	-55,5	-94,8	
33		PE controlante mmcda	-55,7	-72,0		-86,2		-38,5	-86,9			
34		Caudal corregido m ³ /s		COMP		COMP		COMP	COMP			
35		Presión Dinámica resultante mmcda										

FIGURA 5-10 EQUILBRADO POR COMPUERTAS (Continuación)

HOJA DE CÁLCULO POR EL MÉTODO DE PRESIÓN DINÁMICA

Empresa: Problema 2 (Cont.)		Elevación: Nivel del mar		Fecha:		Notas:	
Dirección:		Temperatura: 20 °C		Referencia planos:			
Departamento:		Factor: 1		Elaborado por:			
1	Identificación del tramo de conducto	14 in	14-L				
2	Caudal	m ³ /s	7,589	7,589			
3	Velocidad mínima de transporte	m/s					
4	Diámetro del conducto	mm	800	800			
5	Sección del conducto	m ²	0,503	0,503			
6	Velocidad real en conducto	m/s	15,1	15,1			
7	Presión Dinámica	mmdca	13,9	13,9			
8	S R	Área de la rendija	m ²				
9	U E	Velocidad en rendija	m/s				
10	C N	Presión Dinámica en rendija	mmdca				
11	C D	Fac. pérdida rendija: Fig. 5-15 o Cap. 10					
12	I I	Factor de aceleración	0 ó 1				
13	Ó J	Pérdidas en pleno (en PD) ítems 11+12					
14	N A	PE en el pleno ítems 10×13	mmdca				
15	C	Fac. pérdida entrada; Fig. 5-15 o Cap. 10					
16	A	Factor de aceleración	1 ó 0				
17	M	Pérdida en entrada (PD) ítems 15+16					
18	P	Pérdida en la entrada ítems 7×17					
19		Otras pérdidas	mmdca				
20		Succ. en campana; ítems 14+18+19	mmdca				
21		Longitud de conducto recto	m	6,1			
22		Factor de pérdidas (Hf) Fig. 5-18 o ecuac.		0,018			
23		Pérdidas en PD; ítems 21×22		0,11			
24		N.º de codos de 90°					
25		Pérdida en codos en PD; ítem 24 × factor					
26		N.º de uniones					
27		Pérdida en uniones en PD; ítem 26 × factor					
28		Fact. de pérdida de accesorios especiales					
29		Pérdidas en tramo en PD; ítems 23+25+27+28		0,11			
30		Pérdidas en el tramo; ítem 7×29	mmdca	1,5			
31		Pérdida de PE en tramo; ítem 20+30	mmdca	1,5			
32		PE acumulada	mmdca	+1,5			
33		PE controlante	mmdca				
34		Caudal corregido	m ³ /s				
35		Presión Dinámica resultante	mmdca				

FIGURA 5-10 EQUILIBRADO POR COMPUERTAS (Continuación)

siempre se refieren a aire en condiciones standard. En estas condiciones el aire tiene una densidad de $1,2 \text{ kg/m}^3$. Cuando existen cambios importantes en las condiciones atmosféricas la densidad del aire puede tener valores muy diferentes. El factor de corrección para diferentes temperaturas y elevaciones sobre el nivel del mar está indicado en la Tabla 5-7. Como se puede apreciar, las correcciones para temperaturas comprendidas entre 0° y 50°C y/o altitudes entre -250 y $+250 \text{ m}$ son de poca magnitud y raramente son necesarias teniendo en cuenta la precisión habitual en los diseños de sistemas de extracción localizada.

Las ecuaciones de variación de la densidad indicadas en el Capítulo 1 (sección 1.4) muestran que si la temperatura aumenta o la presión absoluta disminuye, la densidad disminuirá, pero el caudal másico en la(s) campana(s) debe ser el mismo; en consecuencia el caudal volumétrico debe modificarse si la densidad varía. Es útil recordar que un ventilador conectado a un sistema siempre aspira el mismo CAUDAL VOLUMÉTRICO independientemente de cuál sea el valor de la densidad del aire. La masa de aire vehiculada, en consecuencia, será función de la densidad.

5.13.1 Temperatura y/o Altitud variable: Consideremos un sistema de extracción situado a nivel del mar, en el que se aspira a través de una campana con un caudal de $8500 \text{ m}^3/\text{h}$ a 20°C . El aire se calienta posteriormente hasta 320°C , por lo que la densidad del aire que sale del calentador es de $0,6 \text{ kg/m}^3$. El caudal volumétrico después del calentador será de $17000 \text{ m}^3/\text{h}$ con la nueva densidad de $0,6 \text{ kg/m}^3$. Esto es así porque a una disminución a la mitad de la densidad le debe corresponder un aumento al doble del caudal volumétrico para que el caudal másico sea constante.

Si no se tiene en cuenta el aumento de temperatura y se instala en el sistema un ventilador previsto para $8500 \text{ m}^3/\text{h}$, el caudal en la campana será muy inferior al necesario para conseguir el control de los contaminantes. El punto de operación exacto del sistema podría ser calculado a partir de las características del ventilador incorrectamente instalado.

5.13.2 Humedad elevada: No son necesarias correcciones debidas a la humedad del aire si la temperatura es inferior a 40°C . Cuando la temperatura es superior a 40°C y el contenido de humedad del aire es mayor que $0,02 \text{ kg}$ de vapor/kg de aire seco es necesario introducir unas correcciones para determinar la velocidad de giro y la potencia del ventilador. Los factores de corrección se leen en un diagrama psicrométrico como los que se presentan en las Figuras 5-23 a 5-26.

5.13.3 Principios de psicrometría: Las características del aire húmedo se presentan en los diagramas psicrométricos trazados para una presión absoluta dada. Estas características definen las propiedades físicas de las mezclas aire/vapor de agua. Para seleccionar un ventilador se debe conocer el caudal en las condiciones de operación y la densidad del gas a la entrada del mismo. El diagrama psicromé-

trico proporciona la información necesaria para calcular los cambios de caudal y densidad del aire que se producen al circular por los elementos de un sistema de extracción localizada. Las propiedades físicas del aire húmedo son:

- * **Temperatura seca:** Es la temperatura medida con un termómetro ordinario. Se mide en grados Celsius, y está representado en el diagrama psicrométrico en el eje de abscisas.
- * **Temperatura húmeda:** Es la temperatura a la que llega una mezcla de aire y agua líquida o sólida si se produce una evaporación adiabática hasta la saturación. Se expresa en grados Celsius y se lee en el diagrama psicrométrico en el punto de intersección de las líneas de entalpía constante con la curva de saturación.
- * **Temperatura de rocío:** Es la temperatura a la cual la mezcla de aire y vapor de agua queda saturada, y por tanto cualquier disminución de la temperatura seca del aire por debajo de ella causa la condensación del vapor de agua en forma de gotas. Se mide en grados Celsius y se lee en el diagrama psicrométrico en el punto de intersección de la curva de saturación con una línea horizontal que representa el contenido constante de humedad.
- * **Curvas de porcentaje de humedad:** Indican el contenido de vapor de agua en el aire como un porcentaje de la cantidad de vapor en condiciones de saturación para cada combinación de temperatura seca y humedad absoluta. Se expresa como porcentaje y se lee en las curvas del gráfico.
- * **Factor de densidad:** Es una cantidad sin dimensiones que expresa la relación entre la densidad de la mezcla aire/vapor y la densidad del aire seco en condiciones standard ($1,2 \text{ kg/m}^3$). Estas líneas generalmente no están trazadas en los diagramas psicrométricos de bajas temperaturas. En la sección 5.13.4 se presenta un método para el cálculo de este factor.
- * **Humedad Absoluta:** Es la cantidad de vapor de agua contenida en el aire. Se expresa en g o kg de vapor de agua por kg de aire seco y en el diagrama psicrométrico queda representada en el eje de ordenadas.
- * **Entalpía (Calor total):** La entalpía de la mezcla aire/vapor de agua es la suma de las cantidades de calor necesarias para: a) elevar la temperatura de 1 kg de aire seco desde 0°C hasta la temperatura seca (en el sistema anglosajón -una libra de aire seco desde 0°F -), más, b) elevar la temperatura de la masa de agua contenida en la mezcla en estado líquido desde 0°C hasta la temperatura de rocío de la mezcla, más, c) vaporizar el agua a esta temperatura, más, d) elevar la temperatura del vapor de agua desde la temperatura de rocío hasta la temperatura seca. Se expresa en kcal/kg de aire seco y se lee en el diagrama en la prolongación de las líneas diagonales de temperatura húmeda.
- * **Volumen húmedo:** Es el volumen que ocupa la mezcla de aire/vapor expresado en m^3/kg de aire seco. Es muy

importante entender bien el significado de esta unidad y darse cuenta de que no es el inverso de la densidad. El volumen húmedo es el parámetro más usado en los cálculos de los cambios del caudal volumétrico provocados por la mezcla de corrientes de aire de diferentes propiedades o por enfriamientos evaporativos en el interior del sistema.

5.13.4 Cálculo de la densidad: Cuando se determinan las propiedades de una mezcla aire/vapor por lectura de su punto representativo en un diagrama psicrométrico que tenga trazadas las líneas de factores de densidad todo lo que hay que hacer para determinar la densidad de la mezcla es multiplicar el factor leído en el diagrama por la densidad del aire standard (1,2 kg/m³). Puesto que en ocasiones sólo se presentan en el diagrama las curvas de porcentaje de humedad, se debe utilizar información obtenida del análisis dimensional para calcular la densidad de la mezcla. El cálculo se puede hacer con relativa facilidad de la manera siguiente: La densidad de la mezcla vendrá dada por la suma de 1 kg de aire seco y de la masa de vapor que contiene dividida por el volumen húmedo.

$$d = \frac{1 + H}{VH} \quad [5.8]$$

siendo:

- d = densidad de la mezcla (kg/m³)
- H = humedad absoluta (kg vapor/kg aire seco)
- VH = volumen húmedo (m³/kg aire seco)

5.13.5 Cambios en el caudal de una campana con la densidad: Si la densidad del aire que entra por una campana es diferente a la del aire standard debido a cambios en la elevación sobre el nivel del mar, presión atmosférica, temperatura, o humedad, se debe modificar el caudal en la campana de forma que se mantenga el mismo caudal másico que si se tratara de aire en condiciones standard. Este cálculo puede hacerse multiplicando el caudal necesario en la campana en condiciones standard por la relación de densidades del aire en condiciones standard y en las condiciones de operación.

El ejemplo siguiente muestra los efectos de una temperatura y humedad elevadas y el método de cálculo:

EJEMPLO

Datos: El caudal volumétrico que sale de un secador de 1,5 x 8 metros, expresado en condiciones standard, es de 7,55 m³/s de aire seco más el vapor de agua. El aire sale a 260 °C. El secador trata 54 t/h de materia seca eliminando el 5 % de humedad. La succión necesaria en la campana de aspiración del secador es de -50 mmca; la velocidad mínima de transporte debe ser de 20 m/s.

Se ha decidido que el sistema de control de la contaminación atmosférica esté constituido por un ciclón para la recuperación del producto seco y un depurador húmedo de alta energía. Estos aparatos tienen las siguientes características de operación:

- * **Ciclón:** La pérdida de carga es de 115 mmca con un caudal en condiciones standard de 16,5 m³/s. La pérdida de carga en cualquier ciclón varía de forma directamente proporcional a las variaciones de densidad y al cuadrado del caudal.
- * **Depurador húmedo de alta energía:** El fabricante indica que se necesita una pérdida de carga 510 mmca para cumplir con las limitaciones impuestas por la legislación de prevención de la contaminación. La eficacia de humidificación es del 90 %.
- * **Ventilador:** Se ha recomendado la utilización de un ventilador modelo "HYZ" de tamaño n.º 34 cuyas características se muestran en la tabla 5-3.

SE PIDE:

Dimensionar el conducto y seleccionar la velocidad de giro del ventilador y la potencia del motor.

SOLUCIÓN

Etapa 1

Cálculo del caudal real que debe ser aspirado del secador en condiciones de operación. Este caudal es la suma del caudal de aire necesario para secar y del agua, en fase vapor,

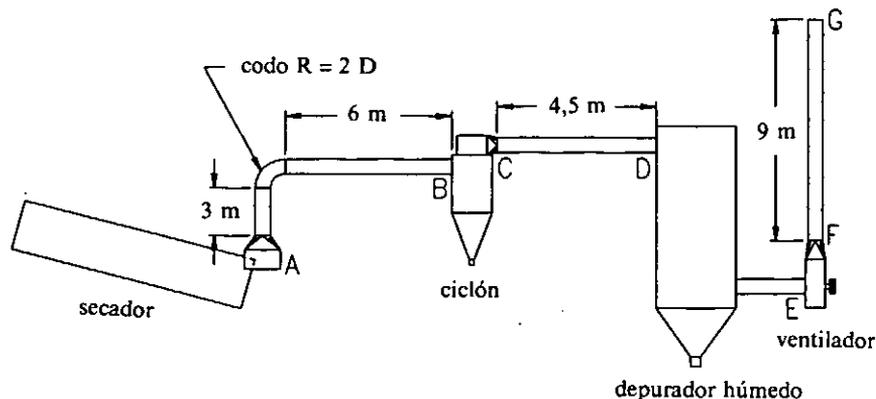


FIGURA 5-13 ESQUEMA DEL SISTEMA

TABLA 5-3 Características del ventilador

VENTILADOR N.º 34			DIÁMETRO ASPIRACIÓN 850 mm								VELOCIDAD MÁX. 1700 rpm											
Caudal	PE 500		PE 550		PE 600		PE 650		PE 700		PE 750		PE 800		PE 850		PE 900		PE 950		PE 1000	
m ³ /s	rpm	CV	rpm	CV	rpm	CV	rpm	CV	rpm	CV	rpm	CV	rpm	CV	rpm	CV	rpm	CV	rpm	CV	rpm	CV
6,931	1171	73,3	1225	81,4	1277	89,8	1326	98,3	1374	107	1421	116	1466	125	1510	134	1552	143	1594	153	1634	162
7,798	1181	81,8	1234	90,2	1286	98,8	1335	107	1382	116	1428	126	1472	135	1516	145	1557	155	1600	165	1639	175
8,664	1191	90,2	1244	99,5	1294	108	1344	118	1391	127	1437	137	1481	146	1524	157	1565	167	1606	178	1645	188
9,530	1204	99,9	1256	109	1306	119	1354	129	1400	139	1446	149	1490	160	1532	170	1574	181	1615	191	1654	202
10,40	1217	110	1268	120	1318	130	1366	141	1412	151	1456	162	1499	173	1542	184	1584	196	1624	207	1663	218
11,26	1230	120	1282	131	1331	142	1378	154	1424	165	1468	176	1511	187	1553	199	1594	211	1633	223	1672	235
12,13	1245	131	1296	143	1345	155	1391	167	1437	179	1481	191	1524	203	1565	215	1606	227	1645	239	1683	252
13,00	1261	143	1311	156	1359	168	1406	181	1450	193	1494	206	1537	219	1578	233	1618	245	1658	258	1695	271
13,86	1277	156	1327	169	1374	182	1421	196	1465	209	1508	222	1550	236	1591	249	1631	263	1670	277		
14,73	1295	170	1344	184	1391	197	1436	211	1480	225	1523	239	1564	253	1605	268	1644	282	1683	297		
15,60	1313	184	1361	198	1407	213	1453	228	1496	242	1538	257	1580	272	1620	287	1659	302	1697	317		
16,46	1331	198	1379	214	1425	229	1469	245	1513	260	1555	276	1595	291	1636	307	1674	323				

que se ha eliminado del producto. Puesto que debe estar expresado en condiciones reales, se deben calcular los valores de humedad, temperatura, y presión en el conducto.

Etapa 1A

Cálculo de cantidad (masa) de agua evaporada.

Descarga del secador = 54 t/h de materia seca (dato)

Puesto que el secador elimina el 5 % de humedad:

54 t/h = 0,95 × (Alimentación al secador)
 Alimentación al secador = 54 / 0,95 = 56,8 t/h
 Agua eliminada = 56,8 - 54 = 2,8 t/h = 0,778 kg/s

Etapa 1B

Cálculo de la cantidad (masa) de aire seco aspirado
 Aire seco aspirado = 7,55 m³/s a 20 °C y 760 mmHg (densidad 1,2 kg/m³)
 Caudal masico de aire seco = 7,55 × 1,2 = 9,06 kg/s

Etapa 1C

Conociendo la relación entre las cantidades de agua y aire seco y la temperatura de la mezcla, es posible determinar el resto de propiedades de la mezcla con ayuda de los diagramas psicrométricos de las figuras 5-23 a 5-26. Estos diagramas son herramientas imprescindibles cuando se trabaja con aire húmedo.

$$H = \frac{0,778 \text{ kg de vapor}}{9,06 \text{ kg de aire seco}} = 0,0859 \text{ kg vapor/kg aire seco}$$

Temperatura seca = 260 °C (dato)

La intersección de las líneas correspondientes a una humedad absoluta de 0,0859 kg vapor/kg de aire seco y 260 °C define un punto en el diagrama psicrométrico (ver la Figura 5-14). Este punto, n.º 1, define completamente las propiedades de la mezcla aire-vapor. La lectura de las otras características específicas de esta mezcla dan los valores:

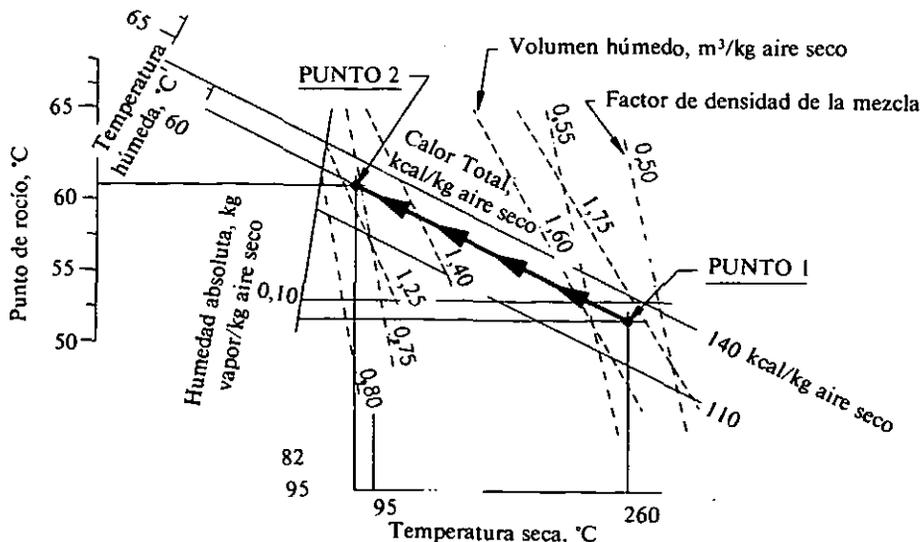


FIGURA 5-14 DIAGRAMA PSICROMÉTRICO. (Ver las Figuras 5-23 a 5-26)

Temperatura de rocío	50 °C
Temperatura húmeda	62 °C
Volumen húmedo	1,72 m ³ /kg aire seco
Entalpía	128 kcal/kg aire seco
Factor de densidad	0,53

Etapa 1D

Cálculo del caudal en las condiciones de operación.

$$\text{Caudal (c.o.)} = \text{Caudal másico de aire seco} \times \text{Volumen húmedo}$$

El caudal másico de aire seco se ha calculado en la etapa 1B, es de 9,06 kg/s. El volumen húmedo se ha hallado en la etapa 1C, es de 1,72 m³/kg aire seco. El caudal en condiciones de operación será:

$$Q \text{ (en c.o.)} = 9,06 \times 1,72 = 15,58 \text{ m}^3/\text{s}$$

Etapa 2

Dimensionado del conducto. La velocidad mínima de transporte es de 20 m/s. La succión en la salida del secador es de -50 mmcd, que corresponde a la succión en la campana.

La sección del conducto se calcula dividiendo el caudal real por la velocidad, esto es: $A = 15,58 / 20 = 0,779 \text{ m}^2$. Se elige un conducto de 950 mm cuya sección es de 0,709 m² ya que es el de mayor diámetro disponible cuya sección es inferior a la necesaria. La velocidad real en el conducto será:

$$V = 15,58 / 0,709 = 22 \text{ m/s.}$$

Etapa 2A

La presión dinámica no se puede calcular utilizando la ecuación para aire standard, $PD = (V/4,043)^2$, sino la ecuación corregida:

$$PD = (fd) (PD_{std})$$

siendo fd = factor de densidad.

El valor del factor de densidad se determinó en la etapa 1C, la presión dinámica en el conducto será:

$$PD = 0,53 \times 29,5 = 15,6 \text{ mmcd}$$

Etapa 3

Cálculo de la pérdida de carga desde el punto A al punto B, y cálculo de la presión estática en el punto B.

Los datos de las Figuras 5-16 a 5-19 se pueden utilizar directamente. La pérdida de presión estática en el conducto se calcula multiplicando la longitud del conducto por el factor de pérdidas por rozamiento, sumando el factor correspondiente al codo y multiplicando el resultado por la presión dinámica:

$$\begin{aligned} \text{Pérdida de PE} &= (0,014 \times 9 + 0,27) \times 15,6 \\ &= 0,396 \times 15,6 = 6,2 \text{ mmcd} \end{aligned}$$

La presión estática a la entrada del ciclón será de -56,2 mmcd (succión en la campana más las pérdidas por fricción y accesorios).

Etapa 4

La pérdida de presión en el ciclón la proporciona el propio fabricante. En este ejemplo la pérdida en el ciclón es de 115 mmcd a un caudal de 16,5 m³/s (c. standard). La pérdida de carga en un ciclón, como en un conducto, es proporcional al cuadrado del caudal y a la densidad. Por lo tanto la pérdida de carga real en el ciclón será:

$$115 \left[\frac{15,58}{16,50} \right]^2 0,53 = 54,3 \text{ mmcd}$$

y la presión estática a la salida del ciclón será de -110,5 mmcd.

Etapa 5

El cálculo desde el punto C al D es similar al de la etapa 3. Así la presión estática en la entrada al depurador húmedo será:

$$-110,5 - (0,014 \times 4,5 \times 15,6) = -111,5 \text{ mmcd}$$

NOTA: La información necesaria para las etapas 6 y 7 que implican cálculos de los cambios de caudal volumétrico, densidad, etc. en el depurador húmedo debe ser suministrada por el fabricante del equipo.

Etapa 6

Una característica importante de los depuradores húmedos es su capacidad de humidificar una corriente gaseosa. Generalmente el proceso de humidificación se realiza en condiciones adiabáticas (sin intercambio de calor con los alrededores). Por lo tanto, se añade vapor de agua a la mezcla, pero la entalpía, expresada en kcal/kg de aire seco, permanece constante. En un proceso de humidificación el punto del diagrama psicrométrico que representa la calidad de la mezcla aire-vapor se desplaza hacia la izquierda siguiendo la línea de entalpía constante hasta llegar a la saturación.

Todos los depuradores húmedos no tienen la misma capacidad de humidificar. Si un depurador es capaz de llevar la mezcla hasta saturación se dice que tiene una eficacia de humidificación del 100 %. La eficacia de humidificación de un equipo determinado se expresa mediante la ecuación:

$$\eta = \frac{t_i - t_o}{t_i - t_s} \times 100 \quad [5.9]$$

siendo:

- η = eficacia de humidificación, %
- t_i = temperatura seca en la entrada al depurador °C
- t_o = temperatura seca en la salida del depurador °C
- t_s = temperatura de saturación adiabática °C

o bien:

$$\eta = \frac{H_i - H_o}{H_i - H_s} \times 100 \quad [5.10]$$

siendo:

- H_i = humedad en la entrada, kg vapor/kg aire seco
- H_o = humedad en la salida, kg vapor/kg aire seco
- H_s = humedad en condiciones de saturación, kg vapor/kg aire seco

Etapa 6A

Cálculo de la composición de la mezcla aire-agua a la salida del depurador (punto n.º 2).

Eficacia de humidificación = 90 % (dato); Temperatura seca a la entrada del depurador = 260 °C (dato). Temperatura de saturación adiabática = 62 °C leído en el diagrama psicrométrico (etapa 1C).

$$90 = \frac{260 - t_o}{260 - 62} \times 100 \text{ de donde } t_o = 82 \text{ °C}$$

El aire que sale del depurador tendrá una temperatura seca de 82 °C y una entalpía de 128 kcal/kg aire seco ya que el proceso de humidificación no modifica el calor total o entalpía de la mezcla.

En el diagrama psicrométrico, el punto de intersección de la línea de temperatura seca de 82 °C y la línea de entalpía de 128 kcal/kg aire seco define la calidad del aire saliente del depurador húmedo y se pueden leer el resto de características cuyos valores son:

Temperatura de rocío	61 °C
Temperatura húmeda	62 °C
Volumen húmedo	1,28 m ³ /kg aire seco
Entalpía	128 kcal/kg aire seco
Factor de densidad	0,76

Etapa 7

¿Cuál es el valor del caudal en las condiciones de operación y el factor de densidad en la salida del depurador?

Etapa 7A

Caudal = (volumen húmedo) × (caudal másico de aire seco). El volumen húmedo es 1,28 m³/kg aire seco (etapa 6). El caudal másico de aire seco es (etapa 1B): 9,06 kg/s. Caudal = 1,28 × 9,06 = 11,6 m³/s en condiciones de operación.

Puesto que la pérdida de carga en el depurador húmedo es de 510 mmca, la presión estática en la salida será de -621,5 mmca.

Etapa 7B

En los sistemas de extracción a baja presión, cuando la presión negativa en la entrada al ventilador es inferior a 500 mmca, el efecto de la depresión suele ser despreciable. Sin embargo, a medida que la presión disminuye, o la presión negativa aumenta en valor absoluto, es un hecho conocido que los gases se expansionan y ocupan un volumen mayor. A menos que se tenga en cuenta el aumento de volumen al seleccionar el ventilador el resultado será que la cantidad de aire aspirada en la campana de inicio del sistema será inferior a la prevista. A partir de la ecuación clásica de la ley de los gases ideales $PV = nRT$ se deduce que la relación entre la presión y el caudal es:

$$P_1 Q_1 = P_2 Q_2 \text{ o bien } \frac{P_1}{P_2} = \frac{Q_2}{Q_1}$$

Hasta el momento hemos considerado que la presión absoluta del aire era la presión atmosférica standard, esto es 760 mmHg o 10340 mmca. La presión estática en el conducto en el punto E es -621,5 mmca con respecto a la atmosférica, por tanto la presión absoluta en el interior del conducto será 10340 - 621,5 = 9718,5 mmca.

$$\frac{10340}{9718,5} = \frac{Q_2}{11,6} \text{ de donde } Q_2 = 12,34 \text{ m}^3/\text{s}$$

Etapa 7C

La presión absoluta también influye en la densidad del aire. A partir de la relación $PV = nRT$ se deduce que la presión es directamente proporcional al factor de densidad

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{df_1}{df_2}$$

sustituyendo:

$$\frac{10340}{9718,5} = \frac{0,76}{df_2} \text{ de donde } df_2 = 0,71$$

Etapa 7D

Determinación del tamaño del conducto entre el depurador húmedo y el ventilador. El caudal saliente del depurador húmedo es de 12,34 m³/s. Puesto que el ventilador seleccionado tiene un cono de entrada de 850 mm de diámetro parece lógico elegir un conducto de este diámetro (sección 0,5675 m²). La velocidad en el conducto será de: 12,34/0,5675 = 21,7 m/s. La presión dinámica valdrá: 0,71 × (21,7/4,043)² = 20,5 mmca.

Etapa 7E

La pérdida de carga en el conducto basada en un caudal de 12,34 m³/s y un diámetro de 850 mm será 0,017 × 1,5 × 20,5 = 0,5 mmca. Por lo tanto la PE en la entrada al ventilador será: -622,0 mmca.

Etapa 8

Cálculo de la pérdida de carga entre la descarga del ventilador F y la salida de la chimenea G. El aire está ahora a una presión muy próxima a la atmosférica. No son necesarias correcciones por presión. El caudal y el factor de densidad serán 11,6 m³/s y 0,76 respectivamente.

Suponiendo que la sección de la brida de salida del ventilador sea igual a la de entrada, con un conducto de 850 mm de diámetro se obtiene una velocidad de 20,4 m/s y una presión dinámica de 0,76 (20,4/4,043)² = 19,3 mmcda.

En la Figura 5-18 se lee que el factor de fricción vale 0,017, y la pérdida de carga en la chimenea de 9 metros será 0,017 × 9 × 19,3 = 3 mmcda. Puesto que la presión en el punto de descarga de la chimenea es la atmosférica, en la salida del ventilador la PE será positiva.

Etapa 9

Cálculo de la Presión Estática del ventilador en las condiciones de operación

$$\begin{aligned} \text{PEV real} &= \text{PE}_{\text{salida}} - \text{PE}_{\text{entrada}} - \text{PD}_{\text{entrada}} \\ &= +3 - (622) - 19,2 \\ &= 605,8 \text{ mmcda} \end{aligned}$$

Etapa 10

Cálculo de la PEV equivalente para usar en las tablas de características del ventilador. La PEV equivalente se calcula dividiendo la PEV real por el factor de densidad en la entrada al ventilador. Este cálculo es necesario ya que las tablas de características de los ventiladores están establecidas para aire en condiciones standard.

$$\text{PEV equivalente} = 605,8/0,71 = 853 \text{ mmcda}$$

Etapa 11

Selección del ventilador a partir de la PEV equivalente y del caudal en la entrada al ventilador. Interpolando en la tabla de características para un caudal de 12,5 m³/s y 855 mmcda se lee una velocidad de giro de 1574 rpm y una potencia de 223 CV.

Etapa 12

Cálculo de la potencia real necesaria. Puesto que la densidad real es inferior a la standard la potencia necesaria se calculará multiplicando por el factor de densidad, esto es 0,71 × 223 = 158 CV. Si se instala una compuerta en el conducto para evitar la sobrecarga del motor en caso de arranque con aire frío el motor puede ser de sólo 200 CV (ver el Capítulo 6).

5.14 EQUIPOS PARA DEPURACIÓN DEL AIRE

El polvo, humo y los gases tóxicos o corrosivos no deben ser lanzados a la atmósfera. Todo sistema de extracción localizada que trabaje con este tipo de productos debe estar provisto de un depurador adecuado tal como se expuso en

el Capítulo 4. Como norma general el ventilador debe estar situado después del depurador. Una excepción la constituyen los depuradores ciclónicos en los que la tolva de descarga no tiene un cierre hermético, en cuyo caso se obtienen mejores resultados si el ventilador se sitúa antes del depurador.

5.15 DESCARGA GRADUAL

Una descarga gradual está constituida por un conducto cuya sección se ensancha gradualmente (ver la Figura 5-19). La misión del ensanchamiento es reducir con eficacia la velocidad de los gases en la descarga a la atmósfera; de esta forma se puede recuperar parte de la presión dinámica de los gases en vez de perderla en la descarga. Por consideraciones de orden práctico, en los sistemas normales de extracción localizada, una descarga gradual está limitada a un ángulo de 10° aproximadamente (5° a cada lado) y a una velocidad de descarga de 10 m/s (PD = 6 mmcda).

Hay que hacer notar, sin embargo, que para lograr una buena dispersión vertical del aire contaminado, muchos proyectistas opinan que la velocidad de descarga no debe ser inferior a 15-18 m/s. Cuando estas consideraciones son dominantes, el uso de una descarga gradual es cuestionable.

El siguiente ejemplo muestra la aplicación de este accesorio. No es preciso colocar la descarga gradual inmediatamente en la salida del ventilador. Hay que hacer notar que, en función de la situación del ensanchamiento, la presión estática en la salida del ventilador puede ser inferior a la atmosférica, esto es negativa, como se muestra en este ejemplo.

EJEMPLO

Conducto n.º	Diám.	Q	V	PD	PE
1 Entrada ventilador	500	4	20,4	25,4	-185
2 Salida ventilador = 420 × 500			19,0	22,1	
3 Manguito de unión	500		20,4	25,4	
4 Descarga gradual	700		10,4	6,6	0

Para calcular el efecto del ensanchamiento hay que consultar la Figura 5-19 con una relación de diámetros D₄/D₃ = 700/500 = 1,4 y longitud L/D = 1000/500 = 2.

$$R = 0,52 \times 70 \% = (\text{ya que la descarga está a menos de 5 diámetros del ventilador})$$

$$\text{PE}_4 = 0 \text{ (la salida del conducto está a presión atmosférica)}$$

$$\text{PD} = 25,4 \text{ (dato)}$$

$$\text{PE}_3 = \text{PE}_4 - R(\text{PD}_3) = 0 - 0,52 \times 0,70 \times 25,4 = -9,2 \text{ mmcda}$$

$$\begin{aligned} \text{PEV} &= \text{PE}_{\text{salida}} - \text{PE}_{\text{entrada}} - \text{PD}_{\text{entrada}} \\ &= -9,2 - (-185) - 25,4 = 150,4 \text{ mmcda} \end{aligned}$$

5.16 CHIMENEAS PARA SISTEMAS DE EXTRACCIÓN

El tipo y situación de las chimeneas es importante en orden a conseguir una buena dispersión del aire contaminado que se vehicula en los sistemas de extracción localizada incluso aunque se instale un buen depurador. Unas condiciones de descarga incorrectas conducen a unos niveles de contaminación que pueden re-entrar en el edificio a causa de los efectos del viento (turbulencias provocadas por el edificio), por la presión negativa en el edificio, o aspirados por los sistemas de suministro de aire al local. Las Figuras 5-30 y 5-31 muestran los principios de un buen diseño de chimeneas; la Figura 5-32 muestra los efectos de las turbulencias arquitectónicas y la altura de las chimeneas. Cuando existan dudas acerca de la altura o ubicación de los puntos de descarga, unos sencillos ensayos con generadores de humo pueden ayudar a determinar los trayectos del aire en las inmediaciones del techo del edificio.

5.17 ENTRADAS DE AIRE ADICIONALES

Estas entradas se sitúan en los extremos de los conductos secundarios de los sistemas de extracción localizada para obtener unos caudales de aire adicionales que ayuden al transporte de materiales muy pesados, por ejemplo en las sierras o cepilladoras de las carpinterías, o en el extremo de los conductos principales a fin de mantener la velocidad mínima de transporte cuando el sistema se ha sobredimensionado deliberadamente en previsión de futuras ampliaciones. Algunos proyectistas también utilizan estas entradas para reducir la temperatura del aire o para mejorar el equilibrio de la instalación.

EJEMPLO

Entrada de aire en un extremo de conducto. Considerado como un orificio, $h_e = 1,78$ PD (Figura 5-15).

1. Calcular la PE en el tramo secundario hasta la unión (X).
2. Determinar el caudal en el conducto principal de acuerdo al diseño o a la futura capacidad, o en base a consideraciones sobre la temperatura y humedad deseadas.
3. Q añadido = Q cond. principal - Q cond. lateral.
4. PE en orificio = PE en unión
5. $PD \text{ orificio} = \frac{PE \text{ orificio}}{h_e + 1 PD} = \frac{PE \text{ orificio}}{1,78 + 1} = \frac{PE \text{ orificio}}{2,78}$
6. Velocidad en orificio a partir de PD y tabla 5-4.
7. Sección del orificio = $\frac{Q \text{ orificio}}{V \text{ orificio}}$

5.18 VELOCIDAD ECONÓMICA ÓPTIMA

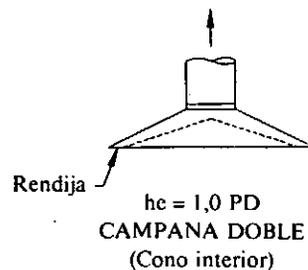
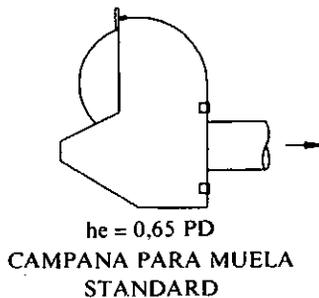
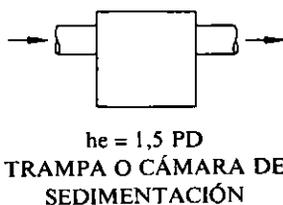
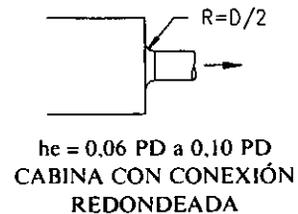
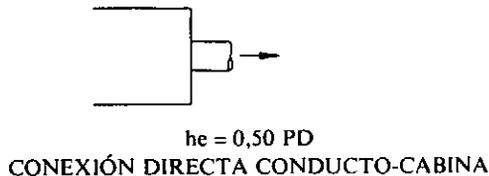
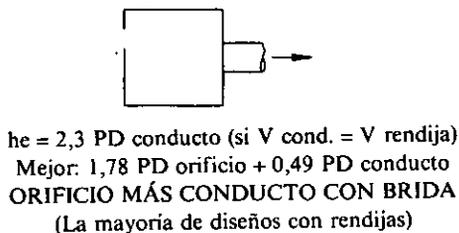
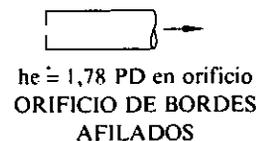
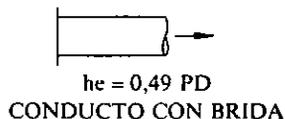
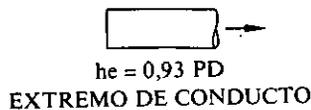
En los sistemas que van a transportar polvo se necesita una velocidad mínima para evitar la sedimentación. Por otra parte, cuando el sistema se va a instalar en un área silenciosa, las velocidades se deben mantener por debajo de un valor para evitar un ruido excesivo en los conductos. Cuando se utilizan ventiladores de flujo axial se suelen adoptar velocidades entre 5 y 8 m/s. En los sistemas de extracción localizada para gases y vapores instalados en ambientes industriales en los que no son pertinentes ninguna de estas restricciones, la velocidad puede elegirse de forma que se obtenga el coste mínimo de operación.

Para determinar la velocidad económica óptima, en primer lugar se debe diseñar el sistema con cualquier velocidad y estimar el coste total de los materiales, fabricación de conductos e instalación^(5,4).

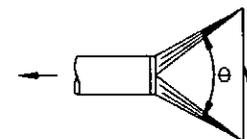
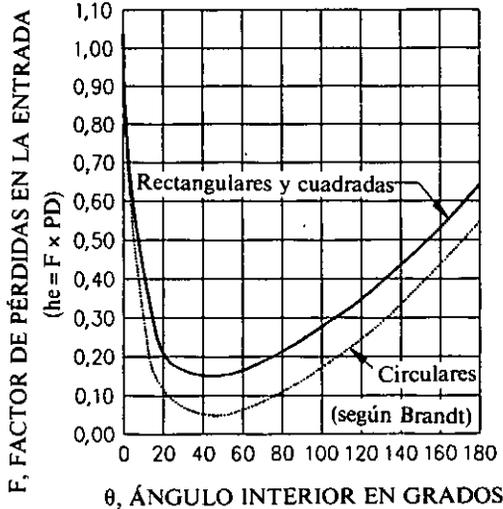
La velocidad óptima puede variar entre 10 y 20 m/s. Los costes de los materiales y los costes financieros altos tienden a hacer subir el óptimo, mientras que la previsión de largos períodos de servicio y el espaciamiento de las intervenciones tienden a disminuir el óptimo. En general, la selección de una velocidad entre 13 y 15 m/s resultará a un coste anual no muy por encima del verdadero óptimo.

REFERENCIAS

- 5.1 *Air Movement and Control Association, Inc.: AMCA Standard 210-74*, 30 West University Drive, Arlington Heights, IL 60004.
- 5.2 J. A. Constance: "Estimating Air Friction in Triangular Ducts," *Air Conditioning, Heating and Ventilating*, 60, 6, junio 1963, pp. 85, 86.
- 5.3 The Kirk and Blum Mfg. Co.: *Woodworking Plants*, pp. W-9, Cincinnati, OH.
- 5.4 J. R. Lynch, "Computer Design of Industrial Exhaust Systems," *Heating, Piping and Air Conditioning*, septiembre 1968.
- 5.5 J. J. Loeffler: "Simplified Equations for HVAC Duct Friction Factors," *ASHRAE Journal*, enero 1980, pp. 76, 79.
- 5.6 D. K. Wright, Jr.: "A New Friction Chart for Round Ducts," *ASHVE Transactions*, Vol. 51, 1945, p. 303.
- 5.7 J. H. Clarke: "Air Flow Around Buildings," *Heating, Piping and Air Conditioning*, 39, 5, mayo 1967, pp. 145-154.
- 5.8 R. D. Madison y W. R. Elliot: "Friction Charts for Gases Including Correction for Temperature, Viscosity and Pipe Roughness," *Heating, Piping and Air Conditioning*, 18, 107, octubre 1946.
- 5.9 American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. *Heating, Ventilating, Air Conditioning Guide*, 37 ed., 1959. ASHRAE, Atlanta, GA.

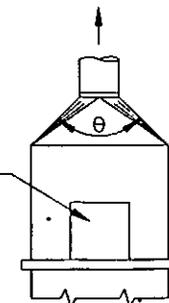


Reproducida con permiso de "Industrial Health Engineering" por A. D. Brandt, publicado por John Wiley and Sons, Inc.

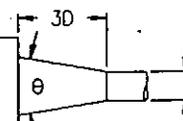


Superficie abierta al menos doble que la sección del conducto

CAMPANAS CON UNIÓN PROGRESIVA
Con brida o sin ella; circulares, cuadradas o rectangulares, θ es el ángulo mayor en las campanas rectangulares.



θ	CIRCULAR	RECTANGULAR
15°	0,15 PD	0,25 PD
30°	0,08 PD	0,16 PD
45°	0,06 PD	0,15 PD
60°	0,08 PD	0,17 PD
90°	0,15 PD	0,25 PD
120°	0,26 PD	0,35 PD
150°	0,40 PD	0,48 PD



OTROS VALORES

FACTOR DE PÉRDIDAS EN LA ENTRADA, F

PD = Presión dinámica en el conducto
PE = Presión estática en la garganta, mmca
he = Pérdida de carga en la entrada, mmca
Q = caudal, m³/s
A = sección de la garganta, m²

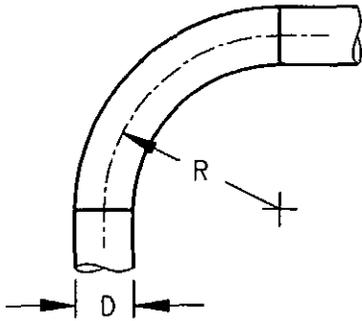
CAMPANA	FACTOR DE PÉRDIDAS EN LA ENTRADA, F
Chorro de arena, cámara	1,0
Chorro de arena, elevador	2,3
Separador de granalla	2,3
Elevadores (cerramiento)	0,69
Tubo con brida con un codo inmediato	0,8
Tubo sin brida con un codo inmediato	1,6

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

FACTORES DE PÉRDIDA DE CARGA EN LAS ENTRADAS

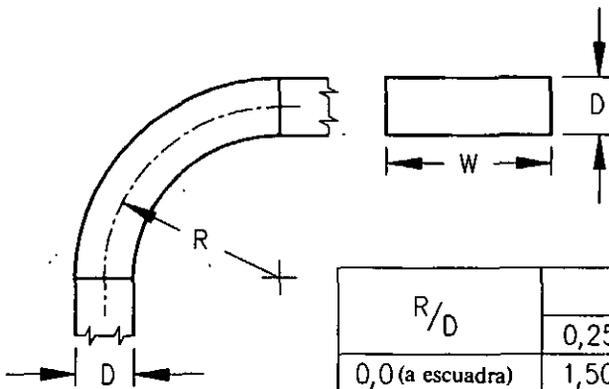
FECHA 7-89

FIGURA 5-15



R/D	Pérdida de carga Fracción de PD
2,75	0,26
2,50	0,22
2,25	0,26
2,00	0,27
1,75	0,32
1,50	0,39
1,25	0,55

CODOS DE SECCIÓN CIRCULAR



R/D	Relación de tamaños W/D					
	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
0,0 (a escuadra)	1,50	1,32	1,15	1,04	0,92	0,86
0,5	1,36	1,21	1,05	0,95	0,84	0,79
1,0	0,45	0,28	0,21	0,21	0,20	0,19
1,5	0,28	0,18	0,13	0,13	0,12	0,12
2,0	0,24	0,15	0,11	0,11	0,10	0,10
3,0	0,24	0,15	0,11	0,11	0,10	0,10

CODOS DE SECCIÓN CUADRADA Y RECTANGULAR

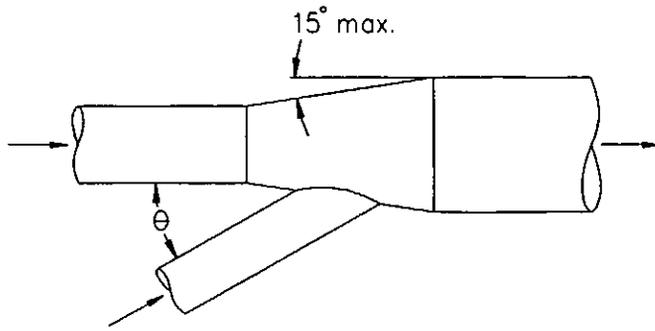
PÉRDIDAS DE CARGA EN CODOS

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

DATOS PARA DISEÑO
DE CONDUCTOS

FECHA 1-88

FIGURA 5-16

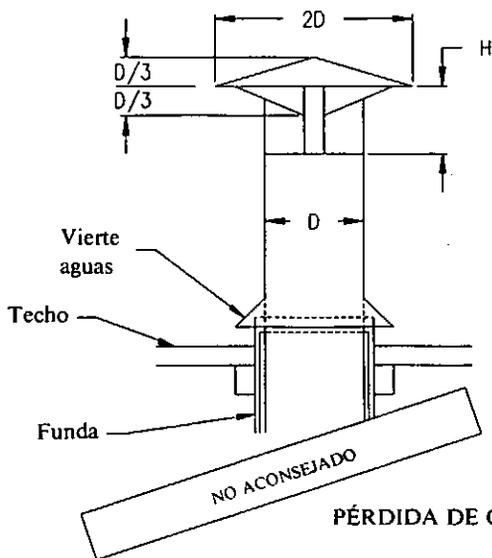


Ángulo θ grados	Pérdida de carga en el conducto lateral Fracción de PD
10	0,06
15	0,09
20	0,12
25	0,15
30	0,18
35	0,21
40	0,25
45	0,28
50	0,32
60	0,44
90	1,00

Nota: La pérdida de carga se produce en el conducto lateral y se debe contabilizar en el mismo.

No incluir el cálculo de la recuperación de presión en los conductos laterales con uniones progresivas.

PÉRDIDAS DE CARGA EN LAS UNIONES



H, número de diámetros	Pérdida de carga, Fracción de PD
1,0 D	0,10
0,75 D	0,18
0,70 D	0,22
0,65 D	0,30
0,60 D	0,41
0,55 D	0,56
0,50 D	0,73
0,45 D	1,0

PÉRDIDA DE CARGA EN SOMBRERETES

Ver la Figura 5-30

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

DATOS PARA DISEÑO
DE CONDUCTOS

FECHA

1-88

FIGURA

5-17

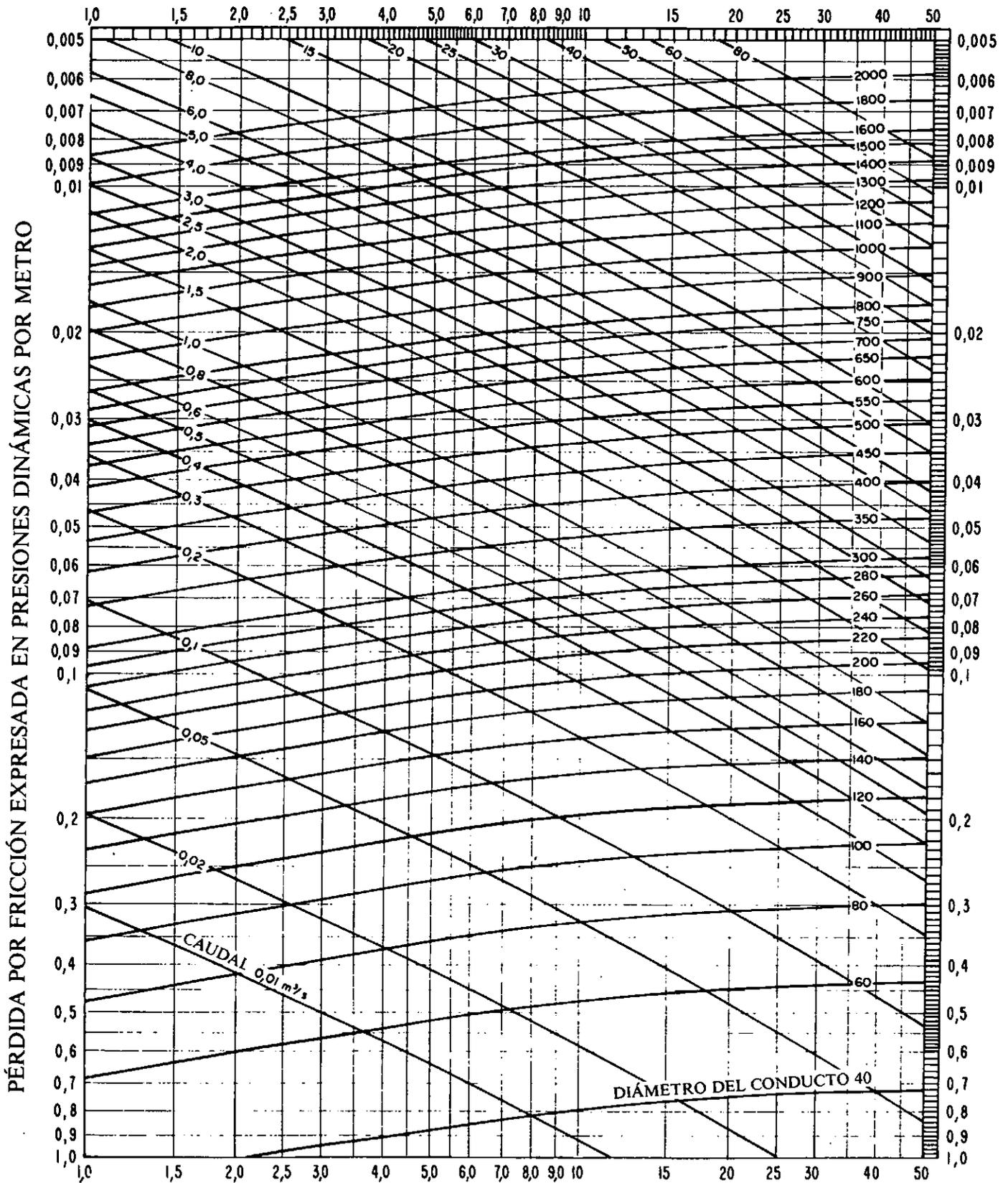
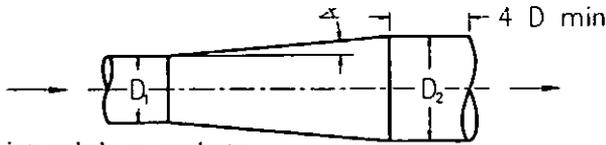


FIGURA 5-18

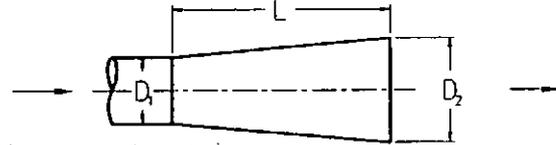
$$H_f(\text{PD/m}) = 0,0155 \frac{V^{0,533}}{Q^{0,612}} = \frac{27,8}{Q^{0,079} D^{1,066}}$$

H_f : Factor de pérdidas por metro
 V : Velocidad, m/s
 Q : Caudal, m³/s
 D : Diámetro, mm

GANANCIA DE PRESIÓN ESTÁTICA EN ENSANCHAMIENTOS



intercalado en conducto



en el extremo del conducto

Ganancia (R), fracción de la diferencia de PD					
Ángulo de la pieza, grados	Relación de diámetros D ₂ /D ₁				
	1,25:1	1,5:1	1,75:1	2:1	2,5:1
3 1/2	0,92	0,88	0,84	0,81	0,75
5	0,88	0,84	0,80	0,76	0,68
10	0,85	0,76	0,70	0,63	0,53
15	0,83	0,70	0,62	0,55	0,43
20	0,81	0,67	0,57	0,48	0,43
25	0,80	0,65	0,53	0,44	0,28
30	0,79	0,63	0,51	0,41	0,25
Brusco 90	0,77	0,62	0,50	0,40	0,25

$PE_2 = PE_1 + R (PD_1 - PD_2)$

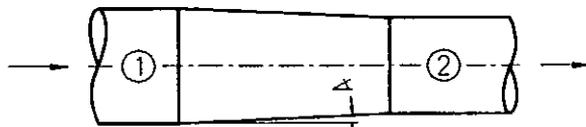
Ganancia (R), fracción de PD en la entrada						
Factor de forma L/D ₁	Relación de diámetros D ₂ /D ₁					
	1,2:1	1,3:1	1,4:1	1,5:1	1,6:1	1,7:1
1,0:1	0,37	0,39	0,38	0,35	0,31	0,27
1,5:1	0,39	0,46	0,47	0,46	0,44	0,41
2,0:1	0,42	0,49	0,52	0,52	0,51	0,49
3,0:1	0,44	0,52	0,57	0,59	0,60	0,59
4,0:1	0,45	0,55	0,60	0,63	0,63	0,64
5,0:1	0,47	0,56	0,62	0,65	0,66	0,68
7,5:1	0,48	0,58	0,64	0,68	0,70	0,72

$PE_1 = PE_2 - R (PD_1)$ *

* Cuando $PE_2 = 0$ (atmósfera) PE_1 será (-).

La ganancia será sólo del 70 % de la indicada cuando la pieza de expansión se encuentre a una distancia inferior a 5 diámetros

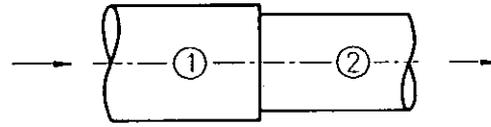
PÉRDIDA DE PRESIÓN ESTÁTICA EN ESTRECHAMIENTOS



Estrechamiento gradual

$PE_2 = PE_1 - (PD_2 - PD_1) - L (PD_2 - PD_1)$

Ángulo de la pieza	L(Pérdida)
5	0,05
10	0,06
15	0,08
20	0,10
25	0,11
30	0,13
45	0,20
60	0,30
superior a 60°	Estrecham. brusco



Estrechamiento brusco

$PE_2 = PE_1 - (PD_2 - PD_1) - K (PD_2)$

Relación A ₂ /A ₁	K
0,1	0,48
0,2	0,46
0,3	0,42
0,4	0,37
0,4	0,32
0,6	0,26
0,7	0,20

A = Sección del conducto m²

Nota: Al calcular la PE en ensanchamientos o estrechamientos hay que utilizar valores algebraicos; PD es (+), y seguramente PE es (+) en el conducto de impulsión del ventilador y (-) en el conducto de aspiración del ventilador.

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS.

DATOS PARA DISEÑO DE CONDUCTOS

FECHA 1-88

FIGURA 5-19

HOJA DE CÁLCULO DE SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA MEDIANTE LONGITUDES EQUIVALENTES

Empresa: Problema 2			Referencia planos: Fig. 5-8			Temperatura: 20 °C			Factor: 1			Notas:							
Dirección:						Elevación: Nivel del mar													
Departamento:																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
								Ver fig. 5-20	col. 7 + col. 9	Ver fig. 5-21	col. 10 x col. 11	col. 6 y tabla 5-4	Ver fig. 5-15	1.0 + col. 14	col. 13 x col. 15	col. 12 + col. 16	En la unión		
N.º de cond.	Diám. cond. mm	Área cond. m²	Caudal m³/s		Veloc. m/s	Longitud del conducto en metros				Pérdida de carga			factor (PD)	Succ. (PD)	Presión estática mmcda			Caud. correg. m³/s	
			secund.	princ.		long. recto	número de codos	uniones	long. equiv.	long. total	mmcda por metro	tramo total mmcda			PD mmcda	Succ.	PE en tramo		PE control
1-A	rend	0,9	4,5		5,0								1,53	1,78		2,7			
	550	0,238	4,5		18,9	4,0	90°		10,1	14,1	0,6	8,5	21,9	0,25	1,25	27,4	38,6		
2-B	170	0,0227	0,45		19,8	0,9	45°	45°	3,8	4,7	3,0	14,1	24,0	0,25	1,25	30,0	44,1	44,5	O.K.
3-B	150	0,0177	0,324		18,3	1,2	90°+60°	30°	5,1	6,3	3,0	18,9	20,5	0,25	1,25	25,6	44,5		
B-A	220	0,0380		0,774	20,4	5,5	2x90°	30°	9,2	14,7	2,4	35,3+2,9	25,4			82,7			
<p>La presión dinámica en B-A es mayor que en 2 y 3. Ver texto</p> <p style="text-align: center;">$PD_r = [(0,45 + 0,324) / 4,043 (0,0227 + 0,0177)]^2 = 22,5$; Incremento: 25,4 - 22,5 = 2,9</p> <p>En la unión A el conducto 1-A precisa 38,6 mmcda, el B-A 82,7 mmcda. Se recalcula 1-A</p>																			
1-A	rend	0,9	4,5		5,0								1,53	1,78		2,7			
	460	0,166	4,5		27,1	4,0	90°		8,3	12,3	1,6	19,7	45,0	0,25	1,25	56,3	78,7	82,7	O.K.
A-C	600	0,283		5,274	18,6	10,4				10,4	0,55	5,7	20,5				88,4		
7a-D	90	0,00636	0,115		18,1	1,5				1,5	5,7	8,6	20,0	1,00	2,00	40,0	48,6		
5-D	150	0,0177	0,324		18,3	2,1	60°+30°	30°	3,6	5,7	3,0	17,1	20,5	0,25	1,25	25,6	42,7	48,6	0,346
<p>Las ramas 7a-D y 5-D están al 14% del equilibrio en D; Se incrementa el caudal en 5-D</p> <p style="text-align: center;">$Q = 0,324 (48,6/42,7)^{0,5} = 0,346$</p>																			
D-C	170	0,0227	0,461		20,3	4,3	90°+60°	30°	5,8	10,1	3,3	33,3+2,7	25,2				84,6	88,4	O.K.
<p>La PD en D-C es mayor que en 5-D y 7a-D. Ver texto</p> <p style="text-align: center;">$PD_r = [(0,115 + 0,346)/4,043 (0,00636 + 0,0177)]^2 = 22,5$; Incremento: 25,2 - 22,5 = 2,7</p>																			
C-E	600	0,283		5,735	20,3	2,0				2,0	0,65	1,3+3,6	25,1				93,3		
<p>La PD en CE es mayor que en A-C y D-C. Ver texto</p> <p style="text-align: center;">$PD_r = [(5,274 + 0,461)/4,043 (0,283 + 0,0227)]^2 = 21,5$; Incremento: 25,1 - 21,5 = 3,6</p>																			
8-F	190	0,0283	0,55		19,4	3,4	2x90°		5,8	9,2	2,5	23,0	23,1	0,5	1,5	34,7	57,7		
9-F	120	0,0113	0,225		19,9	1,2	90°+60°	30°	3,7	4,9	4,9	24,0	24,3	0,25	1,25	30,4	54,4	57,7	O.K.
F-G	220	0,0380	0,775		20,4	1,5				1,5	2,3	3,5	25,4				61,2	74,2	0,853
7b-G	90	0,00636	0,115		18,1	4,6	60°	30°	1,4	6,0	5,7	34,2	20,0	1,0	2,0	20,0	40,0	74,2	
<p>Las ramas F-G y 7b-G están al 20% del equilibrio en G; Se incrementa el caudal en F-G</p> <p style="text-align: center;">$Q = 0,775 \cdot (74,2/61,2)^{0,5} = 0,853$</p>																			
G-E	260	0,0531	0,968		18,2	1,8	60°	30°	5,5	7,3	1,5	11,0	20,3				85,2	93,3	1,013
<p>Las ramas C-E y G-E están al 10% del equilibrio en E; Se incrementa el caudal en G-E</p> <p style="text-align: center;">$Q = 0,968 (93,3/85,2)^{0,5} = 1,013$</p>																			
E-H	650	0,332		6,748	20,3	1,1				1,1	0,6	0,7	25,3				94,0		
10-J	170	0,0227	0,563		24,8	1,8	45°			1,3	3,1	4,8	14,9	37,6	0,25	1,25	47,0	61,9	
12-J	150	0,0177	0,423		23,9	0,8	30°	30°	2,1	2,9	4,5	13,1	34,9	0,25	1,25	43,6	56,7	61,9	0,442
<p>Las ramas 10-J y 12-J están al 9% del equilibrio en J; Se incrementa el caudal en 12-J</p> <p style="text-align: center;">$Q = 0,423 (61,9/56,7)^{0,5} = 0,442$</p>																			
J-H	240	0,0452	1,005		22,2	2,4	90°-60°	30°	8,9	11,3	2,5	28,3	30,2				90,2	94,0	O.K.
H-K	700	0,385		7,753	20,1	2,7	2x45°			14,0	16,7	0,50	8,4	24,8				102,4	
13	Resistencia del depurador incluida la entrada al ventilador: 115 mmcda																	217,4	
14-L	800	0,503		7,753	15,4	6,1				6,1	0,28	1,7	14,5				1,7		
<p>PD entrada ventilador = 14,5 mmcda</p> <p>PEV = 1,7 + 217,4 - 14,5 = 204,6 mmcda</p>																			

Características del ventilador calculadas para condiciones standard					Correcciones por temperatura y elevación				
CAUDAL: 7,753 m³/s	Tipo y tamaño del ventilador:				rpm:	m³/s:	Motor:		
PTV: mmcda					CV:	PTV:	Transmisión:		
PEV: 204,6 mmcda	rpm:				CV:	PEV:			

FIGURA 5-11 EQUILIBRADO POR DISEÑO

HOJA DE CÁLCULO DE SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA MEDIANTE LONGITUDES EQUIVALENTES

Empresa: Problema 2 Referencia planos: Fig. 5-8 Temperatura: 20 °C Factor: 1 Notas:
 Dirección: Elevación: Nivel del mar
 Departamento: Fundición

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
								Ver fig. 5-20	col. 7 + col. 9	Ver fig. 5-21	col. 10 x col. 11	col. 6 y tabla 5-4	Ver fig. 5-15	1.0 + col. 14	col. 13 x col. 15	col. 12 + col. 16	En la unión		
N.º de cond.	Diám. cond. mm	Área cond. m²	Caudal m³/s		Veloc. m/s	Longitud del conducto en metros				Pérdida de carga			factor (PD)	Succ. (PD)	Presión estática mmcda			Caud. correg. m³/s	
			secund.	princ.		long. recto	número de codos uniones	long. equiv.	long. total	mmcda metro	f. tramo mmcda	PD mmcda			Succ.	PE en tramo	PE control		
1-A	rend	0,9	4,5		5								1,53	1,78		2,7			
	550	0,238	4,5		18,9	4,0	90°		10,1	14,1	0,6	8,5	21,9	0,25	1,25	27,4	38,6	79,8	COMP
2-B	170	0,0227	0,45		19,8	0,9	45°	45°	3,8	4,7	3,0	14,1	24,0	0,25	1,25	30,0	44,1	44,5	O.K.
3-B	150	0,0177	0,324		18,3	1,2	90°+60°	30°	5,1	6,3	3,0	18,9	20,5	0,25	1,25	25,6	44,5		
B-A	220	0,0380		0,774	20,4	5,5	2x90°	30°	9,2	14,7	2,4	35,3	25,4				79,8		
A-C	600	0,283		5,274	18,6	10,4				10,4	0,55	5,7	20,5				85,5		
7a-D	90	0,00636	0,115		18,1	1,5				1,5	5,7	8,6	20,0	1,00	2,00	40,0	48,6		
5-D	150	0,0177	0,324		18,3	2,1	60°+30°	30°	3,6	5,7	3,0	17,1	20,5	0,25	1,25	25,6	42,7	48,6	COMP
D-C	170	0,0227	0,439		19,3	4,3	90°+60°	30°	5,8	10,1	2,8	28,3	22,9				76,9	85,5	COMP
C-E	600	0,283		5,713	20,2	2,0				2,0	0,65	1,3+3,5	24,9				90,3		
La PD en CE es mayor que en A-C y D-C. Ver texto																			
$PD_r = [(5,274 + 0,439)/4,043 (0,283 + 0,0227)]^2 = 21,4$; Incremento: $24,9 - 21,4 = 3,5$																			
8-F	190	0,0283	0,55		19,4	3,4	2x90°		5,8	9,2	2,5	23,0	23,1	0,5	1,5	34,7	57,7		
9-F	120	0,0113	0,225		19,9	1,2	90°-60°	30°	3,7	4,9	4,9	24,0	24,3	0,25	1,25	30,4	54,4	57,7	O.K.
F-G	220	0,0380	0,775		20,4	1,5				1,5	2,3	3,5	25,4				61,2	74,2	COMP
7b-G	90	0,00636	0,115		18,1	4,6	60°	30°	1,4	6,0	5,7	34,2	20,0	1,00	2,00	40,2	74,2		
G-E	240	0,0452	0,890		19,7	1,8	60°	30°	3,1	4,9	1,9	9,3	23,7				83,5	90,3	COMP
E-H	650	0,332		6,603	19,9	1,1				1,1	0,58	0,6	24,2				90,9		
10-J	170	0,0227	0,563		24,8	1,8	45°		1,3	3,1	4,8	14,9	37,6	0,25	1,25	47,0	61,9		
12-J	150	0,0177	0,423		23,9	0,8	30°	30°	2,1	2,9	4,5	13,1	34,9	0,25	1,25	43,6	56,7	61,9	COMP
J-H	240	0,0452	0,986		21,8	2,4	90°-60°	30°	8,9	11,3	2,4	27,1	29,1				89,0	90,9	O.K.
H-K	700	0,385		7,589	19,7	2,7	2x45°		14,0	16,7	0,5	8,4	24,8				99,3		
13		Resistencia del depurador incluida la entrada al ventilador: 115 mmcda																	
14-L	800	0,503		7,589	15,1	6,1				6,1	0,26	1,6	14,5				1,7		

Características del ventilador calculadas para condiciones standard

Correcciones por temperatura y elevación

CAUDAL: 7,589 m³/s

Tipo y tamaño del ventilador:

rpm:

m³/s:

Motor:

PTV: mmcda

CV:

PTV:

Transmisión:

PEV: $1,6 + 214,3 - 14,5 = 201,4$ mmcda

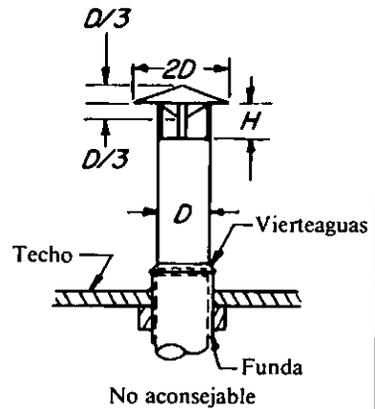
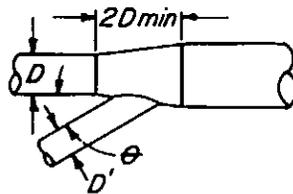
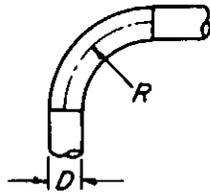
rpm:

CV:

PEV:

FIGURA 5-12 EQUILIBRADO POR COMPUERTAS

LONGITUDES EQUIVALENTES DE ACCESORIOS EN METROS



Diámetro en mm	Codo de 90° Radio de curvatura R			Ángulo de la unión		H. expresada en diámetros		
	1,5D	2,0D	2,5D	30°	45°	1,0 D	0,75 D	0,5 D
75	1,4	0,9	0,7	0,5	0,9	0,3	0,5	2,0
100	2,0	1,3	1,1	0,8	1,3	0,5	0,8	3,4
125	2,6	1,7	1,4	1,1	1,7	0,6	1,1	4,4
150	3,2	2,2	1,8	1,4	2,2	0,8	1,4	5,5
175	3,9	2,6	2,2	1,7	2,6	0,9	1,7	6,6
200	4,6	3,1	2,5	2,0	3,1	1,1	2,0	7,8
250	6,0	4,0	3,3	2,6	4,0	1,4	2,6	10
300	7,4	5,0	4,1	3,2	5,0	1,8	3,2	13
350	8,9	6,0	5,0	3,8	6,0	2,1	3,8	15
400	10	7,0	5,8	4,5	7,0	2,5	4,5	18
450	12	8,1	6,7	5,2	8,1	2,8	5,2	21
500	14	9,2	7,6	5,9	9,2	3,2	5,9	23
600	17	11	9,5	7,3	11	4,0	7,3	29
700	21	14	11	8,8	14	4,8	8,8	35
800	24	16	13	10	16	5,7	10	41
900	28	19	15					
1000	32	21	18					
1200	39	26	22					
1400	47	32	26					
1600	55	37	31					
1800	64	43	36					
2000	72	49	40					

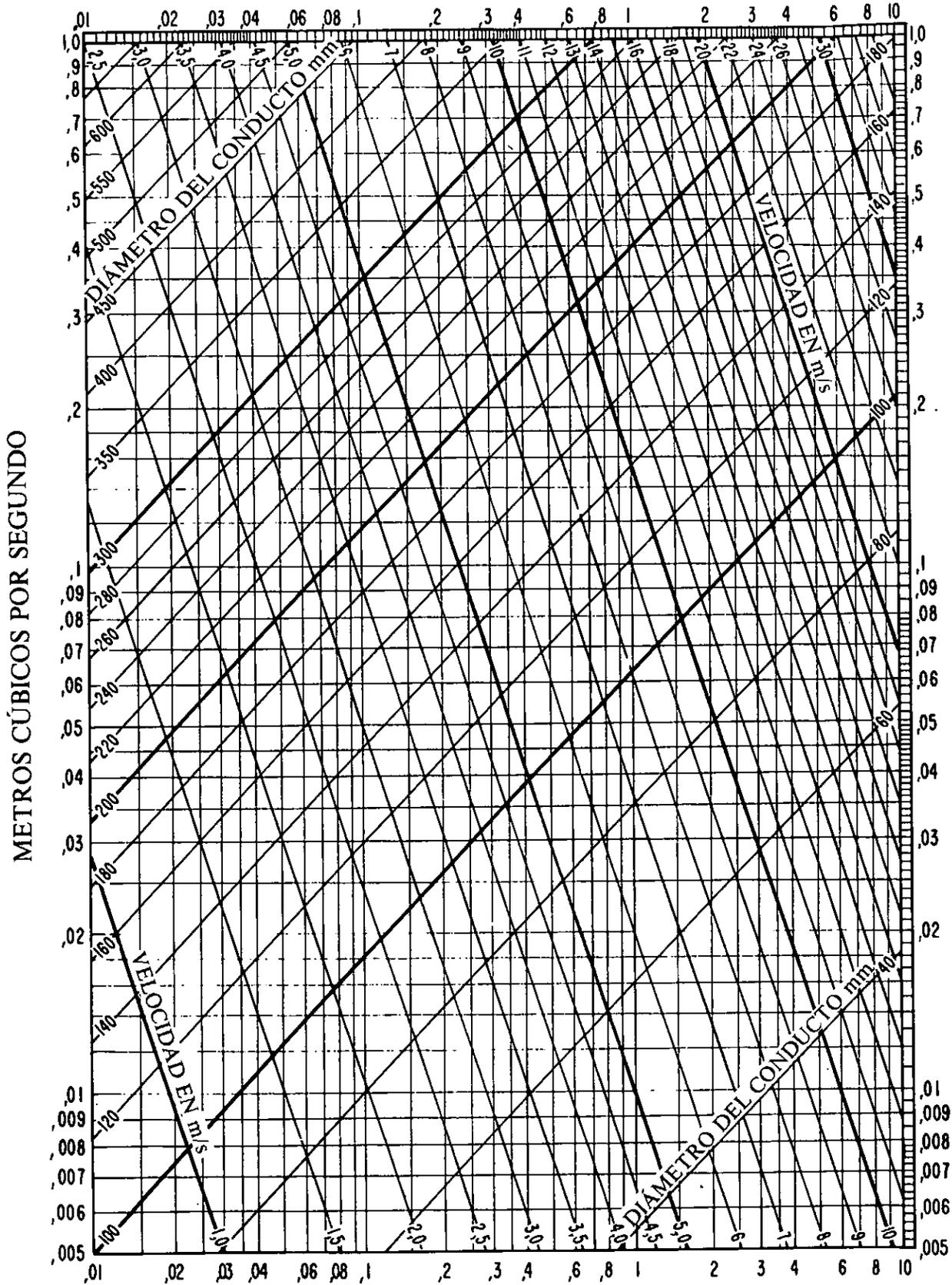
* Para codos de 60° — x 0,67
 Para codos de 45° — x 0,5

AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

DATOS PARA DISEÑO DE CONDUCTOS

FECHA 1-70

FIGURA 5-20



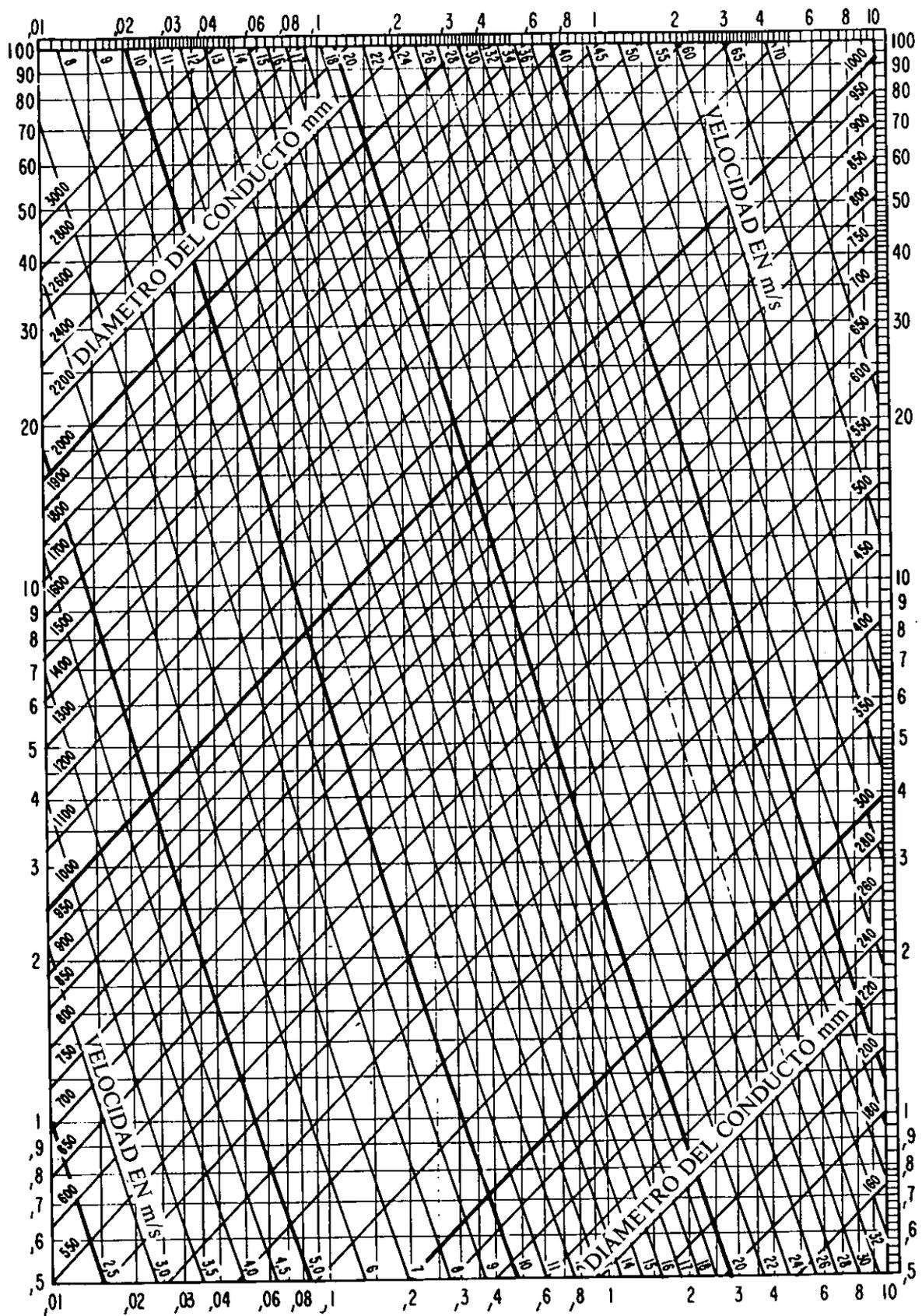
PÉRDIDA POR FRICCIÓN EN mmca/m

FIGURA 5-21a

$$h_f = 5,38 \frac{V^{1.9}}{D^{1.22}}$$

h_f : Pérdida por fricción, mmca/m
 V : velocidad, m/s
 D : diámetro, mm

METROS CÚBICOS POR SEGUNDO



PÉRDIDA POR FRICCIÓN EN mmca/m

FIGURA 5-21b

$$h_f = 5,38 \frac{V^{1.9}}{D^{1.22}}$$

h_f : Pérdida por fricción, mmca/m

V: velocidad, m/s

D: diámetro, mm

TABLA 5.4A Conversión presión dinámica a velocidad. Aire standard

$$V = 4,043 \sqrt{PD} \quad \text{DENSIDAD DEL AIRE} = 1,2 \text{ Kg/m}^3$$

$$PD = \text{PRESIÓN DINÁMICA EN mmca} \quad V = \text{VELOCIDAD EN m/s}$$

PD	V	PD	V	PD	V	PD	V	PD	V	PD	V
0,1	1,28	5,1	9,13	11,0	13,41	61,0	31,58	111,0	42,59	161,0	51,30
0,2	1,81	5,2	9,22	12,0	14,00	62,0	31,83	112,0	42,79	162,0	51,46
0,3	2,21	5,3	9,31	13,0	14,58	63,0	32,09	113,0	42,98	163,0	51,62
0,4	2,56	5,4	9,39	14,0	15,13	64,0	32,34	114,0	43,17	164,0	51,77
0,5	2,86	5,5	9,48	15,0	15,66	65,0	32,59	115,0	43,35	165,0	51,93
0,6	3,13	5,6	9,57	16,0	16,17	66,0	32,84	116,0	43,54	166,0	52,09
0,7	3,38	5,7	9,65	17,0	16,67	67,0	33,09	117,0	43,73	167,0	52,24
0,8	3,62	5,8	9,74	18,0	17,15	68,0	33,34	118,0	43,92	168,0	52,40
0,9	3,84	5,9	9,82	19,0	17,62	69,0	33,58	119,0	44,10	169,0	52,56
1,0	4,04	6,0	9,90	20,0	18,08	70,0	33,82	120,0	44,29	170,0	52,71
1,1	4,24	6,1	9,99	21,0	18,53	71,0	34,07	121,0	44,47	171,0	52,87
1,2	4,43	6,2	10,07	22,0	18,96	72,0	34,30	122,0	44,65	172,0	53,02
1,3	4,61	6,3	10,15	23,0	19,39	73,0	34,54	123,0	44,84	173,0	53,18
1,4	4,78	6,4	10,23	24,0	19,81	74,0	34,78	124,0	45,02	174,0	53,33
1,5	4,95	6,5	10,31	25,0	20,21	75,0	35,01	125,0	45,20	175,0	53,48
1,6	5,11	6,6	10,39	26,0	20,61	76,0	35,24	126,0	45,38	176,0	53,63
1,7	5,27	6,7	10,46	27,0	21,01	77,0	35,48	127,0	45,56	177,0	53,79
1,8	5,42	6,8	10,54	28,0	21,39	78,0	35,71	128,0	45,74	178,0	53,94
1,9	5,57	6,9	10,62	29,0	21,77	79,0	35,93	129,0	45,92	179,0	54,09
2,0	5,72	7,0	10,70	30,0	22,14	80,0	36,16	130,0	46,10	180,0	54,24
2,1	5,86	7,1	10,77	31,0	22,51	81,0	36,39	131,0	46,27	181,0	54,39
2,2	6,00	7,2	10,85	32,0	22,87	82,0	36,61	132,0	46,45	182,0	54,54
2,3	6,13	7,3	10,92	33,0	23,22	83,0	36,83	133,0	46,62	183,0	54,69
2,4	6,26	7,4	11,00	34,0	23,57	84,0	37,05	134,0	46,80	184,0	54,84
2,5	6,39	7,5	11,07	35,0	23,92	85,0	37,27	135,0	46,97	185,0	54,99
2,6	6,52	7,6	11,15	36,0	24,26	86,0	37,49	136,0	47,15	186,0	55,14
2,7	6,64	7,7	11,22	37,0	24,59	87,0	37,71	137,0	47,32	187,0	55,28
2,8	6,76	7,8	11,29	38,0	24,92	88,0	37,93	138,0	47,49	188,0	55,43
2,9	6,88	7,9	11,36	39,0	25,25	89,0	38,14	139,0	47,66	189,0	55,58
3,0	7,00	8,0	11,43	40,0	25,57	90,0	38,35	140,0	47,84	190,0	55,73
3,1	7,12	8,1	11,51	41,0	25,89	91,0	38,57	141,0	48,01	200,0	57,17
3,2	7,23	8,2	11,58	42,0	26,20	92,0	38,78	142,0	48,18	210,0	58,59
3,3	7,34	8,3	11,65	43,0	26,51	93,0	38,99	143,0	48,35	220,0	59,96
3,4	7,45	8,4	11,72	44,0	26,82	94,0	39,20	144,0	48,51	230,0	61,31
3,5	7,56	8,5	11,79	45,0	27,12	95,0	39,40	145,0	48,68	240,0	62,63
3,6	7,67	8,6	11,86	46,0	27,42	96,0	39,61	146,0	48,85	250,0	63,92
3,7	7,78	8,7	11,92	47,0	27,72	97,0	39,82	147,0	49,02	260,0	65,19
3,8	7,88	8,8	11,99	48,0	28,01	98,0	40,02	148,0	49,18	270,0	66,43
3,9	7,98	8,9	12,06	49,0	28,30	99,0	40,23	149,0	49,35	280,0	67,65
4,0	8,09	9,0	12,13	50,0	28,59	100,0	40,43	150,0	49,51	290,0	68,85
4,1	8,19	9,1	12,20	51,0	28,87	101,0	40,63	151,0	49,68	300,0	70,02
4,2	8,29	9,2	12,26	52,0	29,15	102,0	40,83	152,0	49,84	310,0	71,18
4,3	8,38	9,3	12,33	53,0	29,43	103,0	41,03	153,0	50,01	320,0	72,32
4,4	8,48	9,4	12,40	54,0	29,71	104,0	41,23	154,0	50,17	330,0	73,44
4,5	8,58	9,5	12,46	55,0	29,98	105,0	41,43	155,0	50,33	340,0	74,55
4,6	8,67	9,6	12,53	56,0	30,25	106,0	41,62	156,0	50,49	350,0	75,63
4,7	8,76	9,7	12,59	57,0	30,52	107,0	41,82	157,0	50,66	360,0	76,71
4,8	8,86	9,8	12,66	58,0	30,79	108,0	42,01	158,0	50,82	370,0	77,77
4,9	8,95	9,9	12,72	59,0	31,05	109,0	42,21	159,0	50,98	380,0	78,81
5,0	9,04	10,0	12,78	60,0	31,32	110,0	42,40	160,0	51,14	390,0	79,84

TABLA 5.4B Conversión velocidad a presión dinámica. Aire standard

$$PD = (V/4,043)^2 \quad \text{DENSIDAD DEL AIRE} = 1,2 \text{ Kg/m}^3$$

$$PD = \text{PRESIÓN DINÁMICA EN mmcda} \quad V = \text{VELOCIDAD EN m/s}$$

V	PD	V	PD	V	PD	V	PD	V	PD	V	PD
1,00	0,06	13,50	11,15	26,00	41,36	38,50	90,68	51,00	159,12	63,50	246,68
1,25	0,10	13,75	11,57	26,25	42,16	38,75	91,86	51,25	160,69	63,75	248,63
1,50	0,14	14,00	11,99	26,50	42,96	39,00	93,05	51,50	162,26	64,00	250,58
1,75	0,19	14,25	12,42	26,75	43,78	39,25	94,25	51,75	163,84	64,25	252,55
2,00	0,24	14,50	12,86	27,00	44,60	39,50	95,45	52,00	165,42	64,50	254,51
2,25	0,31	14,75	13,31	27,25	45,43	39,75	96,66	52,25	167,02	64,75	256,49
2,50	0,38	15,00	13,76	27,50	46,27	40,00	97,88	52,50	168,62	65,00	258,48
2,75	0,46	15,25	14,23	27,75	47,11	40,25	99,11	52,75	170,23	65,25	260,47
3,00	0,55	15,50	14,70	28,00	47,96	40,50	100,35	53,00	171,85	65,50	262,47
3,25	0,65	15,75	15,18	28,25	48,82	40,75	101,59	53,25	173,47	65,75	264,47
3,50	0,75	16,00	15,66	28,50	49,69	41,00	102,84	53,50	175,11	66,00	266,49
3,75	0,86	16,25	16,15	28,75	50,57	41,25	104,10	53,75	176,75	66,25	268,51
4,00	0,98	16,50	16,66	29,00	51,45	41,50	105,36	54,00	178,39	66,50	270,54
4,25	1,11	16,75	17,16	29,25	52,34	41,75	106,64	54,25	180,05	66,75	272,58
4,50	1,24	17,00	17,68	29,50	53,24	42,00	107,92	54,50	181,71	67,00	274,63
4,75	1,38	17,25	18,20	29,75	54,15	42,25	109,21	54,75	183,38	67,25	276,68
5,00	1,53	17,50	18,74	30,00	55,06	42,50	110,50	55,00	185,06	67,50	278,74
5,25	1,69	17,75	19,27	30,25	55,98	42,75	111,81	55,25	186,75	67,75	280,81
5,50	1,85	18,00	19,82	30,50	56,91	43,00	113,12	55,50	188,44	68,00	282,89
5,75	2,02	18,25	20,38	30,75	57,85	43,25	114,44	55,75	190,14	68,25	284,97
6,00	2,20	18,50	20,94	31,00	58,79	43,50	115,76	56,00	191,85	68,50	287,06
6,25	2,39	18,75	21,51	31,25	59,74	43,75	117,10	56,25	193,57	68,75	289,16
6,50	2,58	19,00	22,09	31,50	60,70	44,00	118,44	56,50	195,29	69,00	291,27
6,75	2,79	19,25	22,67	31,75	61,67	44,25	119,79	56,75	197,03	69,25	293,38
7,00	3,00	19,50	23,26	32,00	62,65	44,50	121,15	57,00	198,77	69,50	295,50
7,25	3,22	19,75	23,86	32,25	63,63	44,75	122,51	57,25	200,51	69,75	297,63
7,50	3,44	20,00	24,47	32,50	64,62	45,00	123,88	57,50	202,27	70,00	299,77
7,75	3,67	20,25	25,09	32,75	65,62	45,25	125,26	57,75	204,03	70,25	301,92
8,00	3,92	20,50	25,71	33,00	66,62	45,50	126,65	58,00	205,80	70,50	304,07
8,25	4,16	20,75	26,34	33,25	67,64	45,75	128,05	58,25	207,58	70,75	306,23
8,50	4,42	21,00	26,98	33,50	68,66	46,00	129,45	58,50	209,37	71,00	308,40
8,75	4,68	21,25	27,63	33,75	69,69	46,25	130,86	58,75	211,16	71,25	310,57
9,00	4,96	21,50	28,28	34,00	70,72	46,50	132,28	59,00	212,96	71,50	312,76
9,25	5,23	21,75	28,94	34,25	71,77	46,75	133,71	59,25	214,77	71,75	314,95
9,50	5,52	22,00	29,61	34,50	72,82	47,00	135,14	59,50	216,58	72,00	317,14
9,75	5,82	22,25	30,29	34,75	73,88	47,25	136,58	59,75	218,41	72,25	319,35
10,00	6,12	22,50	30,97	35,00	74,94	47,50	138,03	60,00	220,24	72,50	321,56
10,25	6,43	22,75	31,66	35,25	76,02	47,75	139,49	60,25	222,08	72,75	323,79
10,50	6,74	23,00	32,36	35,50	77,10	48,00	140,95	60,50	223,93	73,00	326,02
10,75	7,07	23,25	33,07	35,75	78,19	48,25	142,43	60,75	225,78	73,25	328,25
11,00	7,40	23,50	33,79	36,00	79,29	48,50	143,91	61,00	227,64	73,50	330,50
11,25	7,74	23,75	34,51	36,25	80,39	48,75	145,39	61,25	229,51	73,75	332,75
11,50	8,09	24,00	35,24	36,50	81,50	49,00	146,89	61,50	231,39	74,00	335,01
11,75	8,45	24,25	35,98	36,75	82,62	49,25	148,39	61,75	233,27	74,25	337,28
12,00	8,81	24,50	36,72	37,00	83,75	49,50	149,90	62,00	235,17	74,50	339,55
12,25	9,18	24,75	37,48	37,25	84,89	49,75	151,42	62,25	237,07	74,75	341,83
12,50	9,56	25,00	38,24	37,50	86,03	50,00	152,94	62,50	238,98	75,00	344,12
12,75	9,95	25,25	39,00	37,75	87,18	50,25	154,48	62,75	240,89		
13,00	10,34	25,50	39,78	38,00	88,34	50,50	156,02	63,00	242,81		
13,25	10,74	25,75	40,56	38,25	89,51	50,75	157,57	63,25	244,74		

TABLA 5.5 Sección y perímetro de círculos

Diám. cm	Área m ²	Círc. cm	Diám. cm	Área m ²	Círc. cm	Diám. cm	Área m ²	Círc. cm
1	0,000079	3,142	42	0,1385	131,9	122	1,169	383,3
2	0,000314	6,283	44	0,1521	138,2	124	1,208	389,6
3	0,000707	9,425	46	0,1662	144,5	126	1,247	395,8
4	0,001257	12,57	48	0,1810	150,8	128	1,287	402,1
5	0,001963	15,71	50	0,1963	157,1	130	1,327	408,4
6	0,002827	18,85	52	0,2124	163,4	132	1,386	414,7
7	0,003848	21,99	54	0,2290	169,6	134	1,410	421,0
8	0,005027	25,13	56	0,2463	175,9	136	1,453	427,3
9	0,006362	28,27	58	0,2642	182,2	138	1,496	433,5
10	0,007854	31,42	60	0,2827	188,5	140	1,539	439,8
11	0,009503	34,56	62	0,3019	194,8	142	1,584	446,1
12	0,01131	37,70	64	0,3217	201,1	144	1,629	452,4
13	0,01327	40,84	66	0,3421	207,3	146	1,674	458,7
14	0,01539	43,98	68	0,3632	213,6	148	1,720	465,0
15	0,01767	47,12	70	0,3848	219,9	150	1,767	471,2
16	0,02011	50,27	72	0,4071	226,2	152	1,815	477,5
17	0,02270	53,41	74	0,4301	232,5	154	1,863	483,8
18	0,02545	56,55	76	0,4536	238,8	156	1,911	490,1
19	0,02835	59,69	78	0,4778	245,0	158	1,961	496,4
20	0,03142	62,83	80	0,5027	251,3	160	2,011	502,7
21	0,03464	65,97	82	0,5281	257,6	162	2,061	508,9
22	0,03801	69,11	84	0,5542	263,9	164	2,112	515,2
23	0,04155	72,26	86	0,5809	270,2	166	2,164	521,5
24	0,04524	75,40	88	0,6082	276,5	168	2,217	527,8
25	0,04909	78,54	90	0,6362	282,7	170	2,270	534,1
26	0,05309	81,68	92	0,6648	289,0	172	2,324	540,4
27	0,05726	84,82	94	0,6940	295,3	174	2,378	546,6
28	0,06158	87,96	96	0,7238	301,6	176	2,433	552,9
29	0,06605	91,11	98	0,7543	307,9	178	2,488	559,2
30	0,07069	94,25	100	0,7854	314,2	180	2,545	565,5
31	0,07548	97,39	102	0,8171	320,4	182	2,602	571,8
32	0,08042	100,5	104	0,8495	326,7	184	2,659	578,1
33	0,08553	103,7	106	0,8825	333,0	186	2,717	584,3
34	0,09079	106,8	108	0,9161	339,3	188	2,776	590,6
35	0,09621	110,0	110	0,9503	345,6	190	2,835	596,9
36	0,1018	113,1	112	0,9852	351,9	192	2,895	603,2
37	0,1075	116,2	114	1,021	358,1	194	2,956	609,5
38	0,1134	119,4	116	1,057	364,4	196	3,017	615,8
39	0,1195	122,5	118	1,094	370,7	198	3,079	622,0
40	0,1257	125,7	120	1,131	377,0	200	3,142	628,3

Los fabricantes de conductos de chapa metálica suelen establecer un salto de 10 mm para conductos entre 100 y 200 mm de diámetro, de 20 mm entre 200 y 500 mm de diámetro y de 50 mm para diámetros superiores a 500 mm.

TABLA 5-6 Diámetros equivalentes de conductos rectangulares

Lados conducto rectang.	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
100	63	67	72	76	80	84	88	91	94	98	101	104	107	109													
105	64	69	74	78	82	86	90	93	97	100	103	106	109	112	115												
110	65	70	75	80	84	88	92	95	99	102	105	109	112	115	117	120											
115	67	72	77	81	86	90	94	97	101	104	108	111	114	117	120	123	126										
120	68	73	78	83	87	91	95	99	103	107	110	113	117	120	123	126	128	131									
125	69	74	79	84	89	93	97	101	105	109	112	116	119	122	125	128	131	134	137								
130	70	75	81	86	90	95	99	103	107	111	114	118	121	124	128	131	134	137	139	142							
135	71	77	82	87	92	96	101	105	109	113	116	120	123	127	130	133	136	139	142	145	148						
140	72	78	84	89	93	98	102	107	111	115	118	122	125	129	132	135	139	142	145	147	150	153					
145	73	79	85	90	95	100	104	108	112	116	120	124	128	131	134	138	141	144	147	150	153	156	159				
150	75	80	86	91	96	101	106	110	114	118	122	126	130	133	137	140	143	146	150	153	156	158	161	164			
155	76	82	87	93	98	103	107	112	116	120	124	128	132	135	139	142	146	149	152	155	158	161	164	167	169		
160	77	83	88	94	99	104	109	113	118	122	126	130	134	137	141	144	148	151	154	157	161	164	166	169	172	175	
165	78	84	90	95	100	105	110	115	119	124	128	132	136	139	143	147	150	153	157	160	163	166	169	172	175	178	180
170	79	85	91	96	102	107	112	116	121	125	129	134	137	141	145	149	152	156	159	162	165	168	171	174	177	180	183
175	79	86	92	98	103	108	113	118	123	127	131	135	139	143	147	151	154	158	161	164	168	171	174	177	180	183	186
180	80	87	93	99	104	110	115	119	124	129	133	137	141	145	149	153	156	160	163	167	170	173	176	179	182	185	188
185	81	88	94	100	106	111	116	121	126	130	135	139	143	147	151	155	158	162	165	169	172	176	179	182	185	188	191
190	82	89	95	101	107	112	117	122	127	132	136	141	145	149	153	157	160	164	168	171	174	178	181	184	187	190	193
195	83	90	96	102	108	113	118	124	129	133	138	142	146	151	155	158	162	166	170	173	177	180	183	187	190	193	196
200	84	91	97	103	109	115	120	125	130	135	139	144	148	152	156	160	164	168	172	175	179	182	186	189	192	195	198
205	85	92	98	104	110	116	121	127	131	136	141	145	150	154	158	162	166	170	174	177	181	184	188	191	194	198	201
210	86	93	99	106	111	117	123	128	133	138	142	147	151	156	160	164	168	172	176	179	183	186	190	193	197	200	203
215	87	94	100	107	113	118	124	129	134	139	144	149	153	157	162	166	170	174	178	181	185	189	192	196	199	202	205
220	87	95	101	108	114	120	125	130	136	141	145	150	155	159	163	168	172	176	180	183	187	191	194	198	201	204	208
225	88	95	102	109	115	121	126	132	137	142	147	152	156	161	165	169	173	177	181	185	189	193	196	200	203	207	210
230	89	96	103	110	116	122	128	133	138	143	148	153	158	162	167	171	175	179	183	187	191	195	198	202	205	209	212
235	90	97	104	111	117	123	129	134	140	145	150	155	159	164	168	173	177	181	185	189	193	197	200	204	208	211	214
240	91	98	105	112	118	124	130	135	141	146	151	156	161	165	170	174	179	183	187	191	195	199	202	206	210	213	217
245	91	99	106	113	119	125	131	137	142	147	153	158	162	167	172	176	180	185	189	193	197	201	204	208	212	215	219
250	92	100	107	114	120	126	132	138	143	149	154	159	164	169	173	178	182	186	190	195	198	202	206	210	214	217	221
255	93	100	108	115	121	127	133	139	145	150	155	160	165	170	175	179	184	188	192	196	200	204	208	212	216	219	223

TABLA 5.7 Factor de corrección por densidad

Kg/m³ = Factor de densidad × 1,2
 Densidad del aire seco a 21 °C al nivel del mar = 1,2 Kg/m³
 Altitud sobre el nivel del mar en metros

	-250	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2500	3000
Temp. E Hg	782	760	738	717	697	677	657	639	620	603	569	536
C. E H ₂ O	10649	10345	10048	3761	3482	9211	8947	8691	8443	8201	7739	7303
0	1,11	1,08	1,05	1,02	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,86	0,81	0,76
21	1,03	1,00	0,97	0,95	0,92	0,89	0,87	0,84	0,82	0,79	0,75	0,71
50	0,94	0,91	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75	0,72	0,68	0,64
75	0,87	0,85	0,82	0,80	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,63	0,60
100	0,81	0,79	0,77	0,75	0,72	0,70	0,68	0,66	0,65	0,63	0,59	0,56
125	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,55	0,52
150	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,52	0,49
175	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,54	0,52	0,49	0,46
200	0,64	0,62	0,61	0,59	0,57	0,56	0,54	0,52	0,51	0,49	0,47	0,44
225	0,61	0,59	0,58	0,56	0,54	0,53	0,51	0,50	0,48	0,47	0,44	0,42
250	0,58	0,56	0,55	0,53	0,52	0,50	0,49	0,47	0,46	0,45	0,42	0,40
275	0,55	0,54	0,52	0,51	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,40	0,39
300	0,53	0,51	0,50	0,49	0,47	0,46	0,45	0,43	0,42	0,41	0,38	0,36
325	0,51	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,37	0,35
350	0,49	0,47	0,46	0,45	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,35	0,33
375	0,47	0,46	0,44	0,43	0,42	0,41	0,39	0,38	0,37	0,36	0,34	0,32
400	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,33	0,31
425	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,35	0,34	0,33	0,32	0,30
450	0,42	0,41	0,40	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,29
475	0,41	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,29	0,28
500	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,28	0,27
525	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29	0,27	0,26

Las pérdidas de carga son proporcionales a la densidad (en primera aproximación)
 Consultar las leyes de los ventiladores, o las referencias, para más detalles

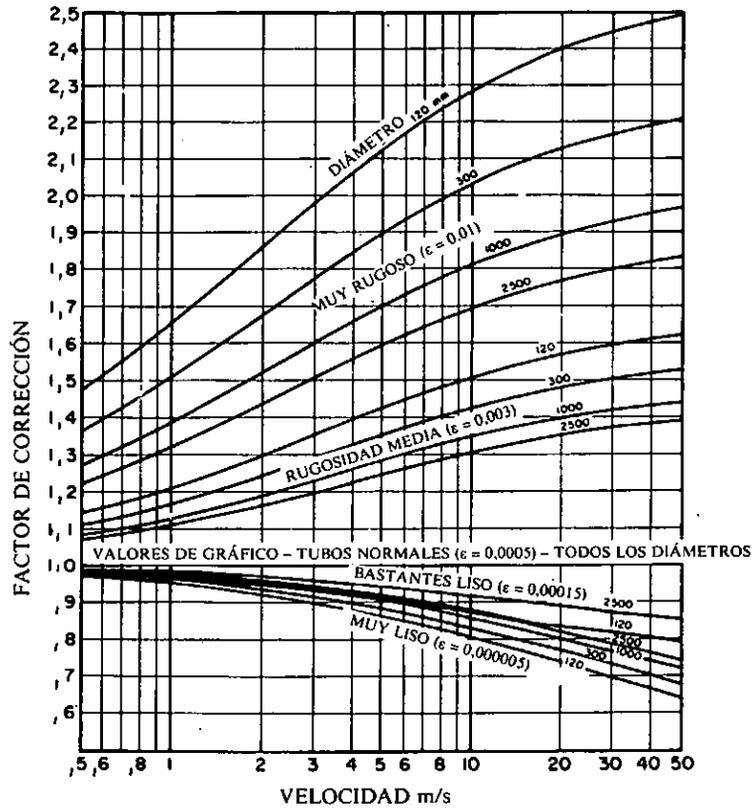


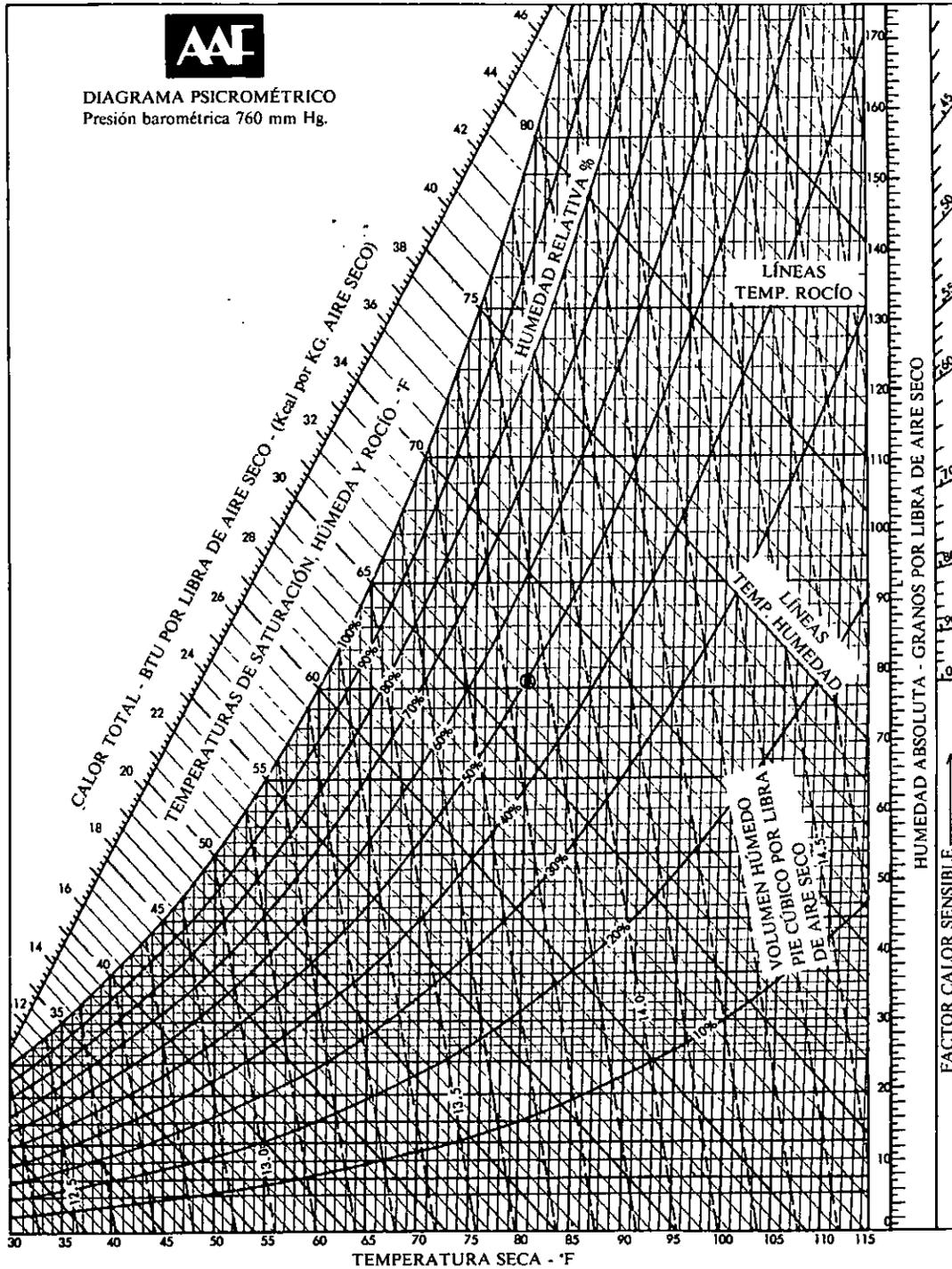
FIGURA 5.22 FACTOR DE CORRECCIÓN POR RUGOSIDAD DEL CONDUCTO

Equivalencias:

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} \text{ } ^{\circ}\text{C} + 32 \quad 1 \text{ pie cúbico por libra de aire seco} = 0,062 \text{ m}^3 \text{ por Kg. aire seco}$$

$$1 \text{ BTU por libra de aire seco} = 0,56 \text{ Kcal. por Kg. aire seco}$$

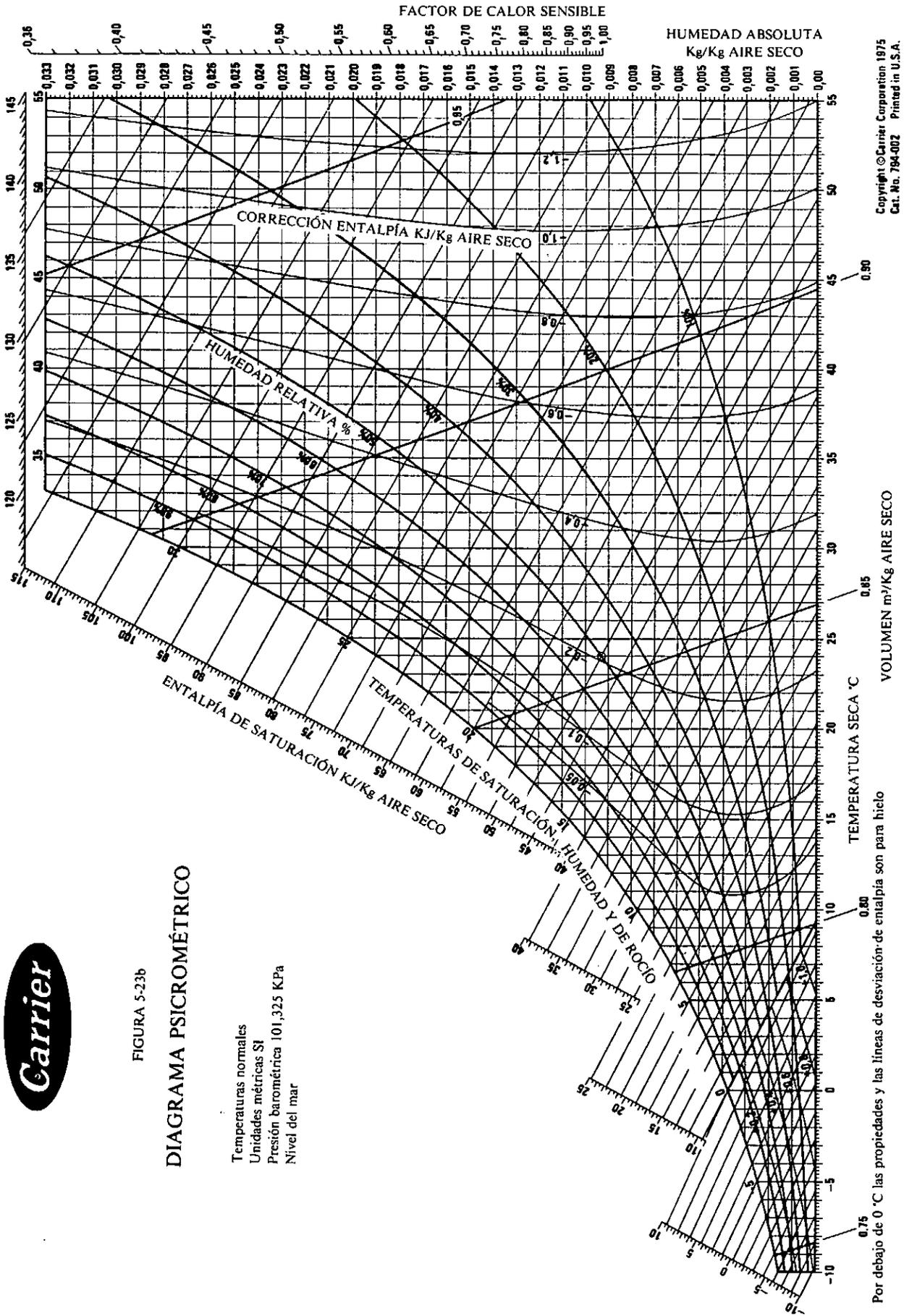
$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32) \quad 1 \text{ grano por libra de aire seco} = 0,14 \text{ gr. por Kg. aire seco}$$



© American Air Filter Co., Inc., 1959
 Louisville, Ky. Form 1932

Total Heat Values - ASHAE Guide
 End Points - Zimmerman & Lovine

FIGURA 5-23a



Copyright © Carrier Corporation 1975
Cat. No. 794-002 Printed in U.S.A.



FIGURA 5-23b

DIAGRAMA PSICROMÉTRICO

Temperaturas normales
Unidades métricas SI
Presión barométrica 101,325 KPa
Nivel del mar

Por debajo de 0 °C las propiedades y las líneas de desviación de entalpía son para hielo

Equivalencias:

- $^{\circ}F = \frac{9}{5} \cdot ^{\circ}C + 32$ 1 pie cúbico por libra de aire seco = 0,062 m³ por Kg. aire seco
- $^{\circ}C = \frac{5}{9} (F - 32)$ 1 BTU por libra de aire seco = 0,56 Kcal. por Kg. aire seco
- 1 grano por libra de aire seco = 0,14 gr. por Kg. aire seco

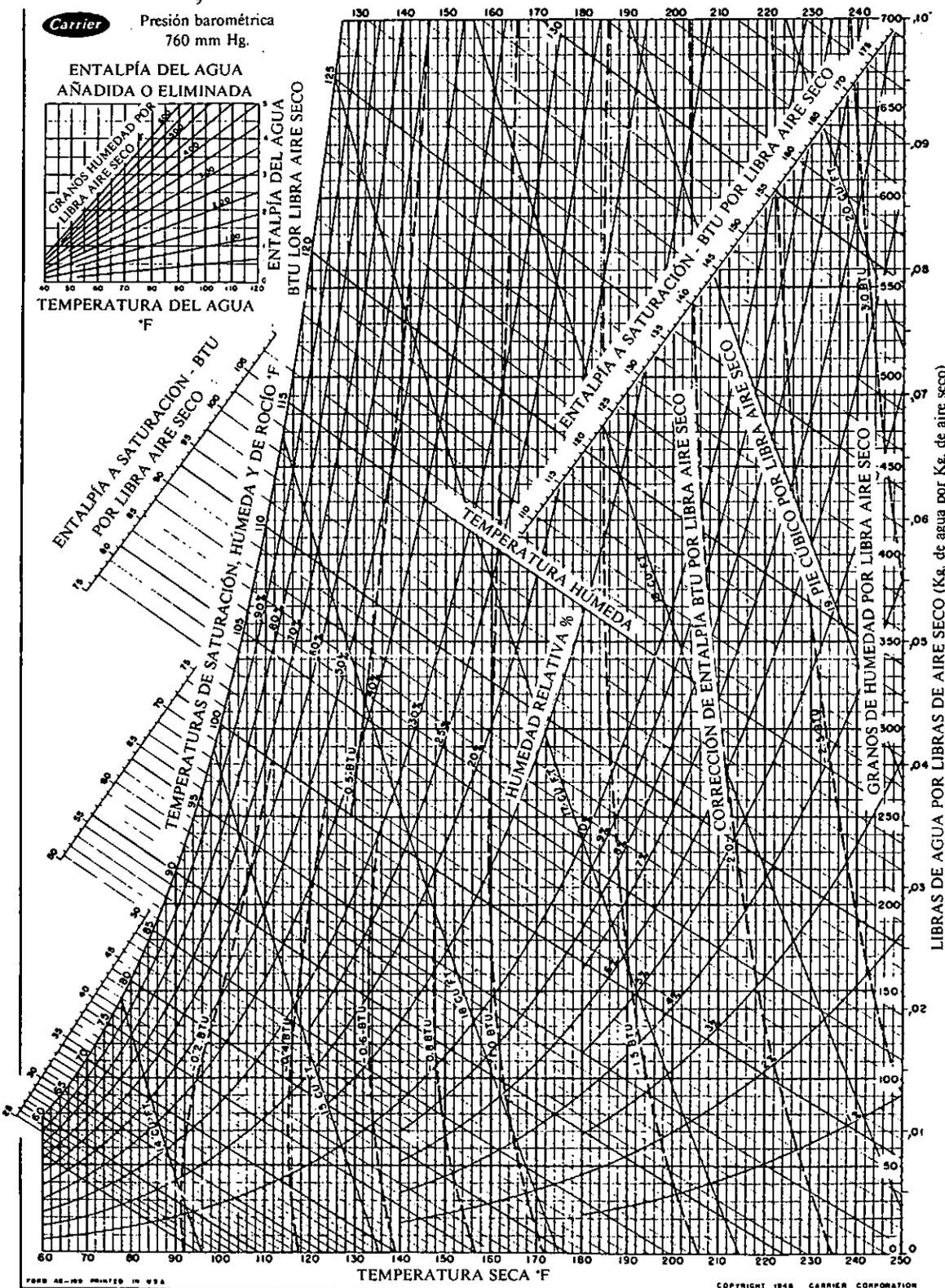


FIGURA 5-24

DIAGRAMA PSICROMÉTRICO. ALTAS TEMPERATURAS

LIBRAS DE AGUA POR LIBRA AIRE SECO - (Kg. DE AGUA POR Kg. AIRE SECO)

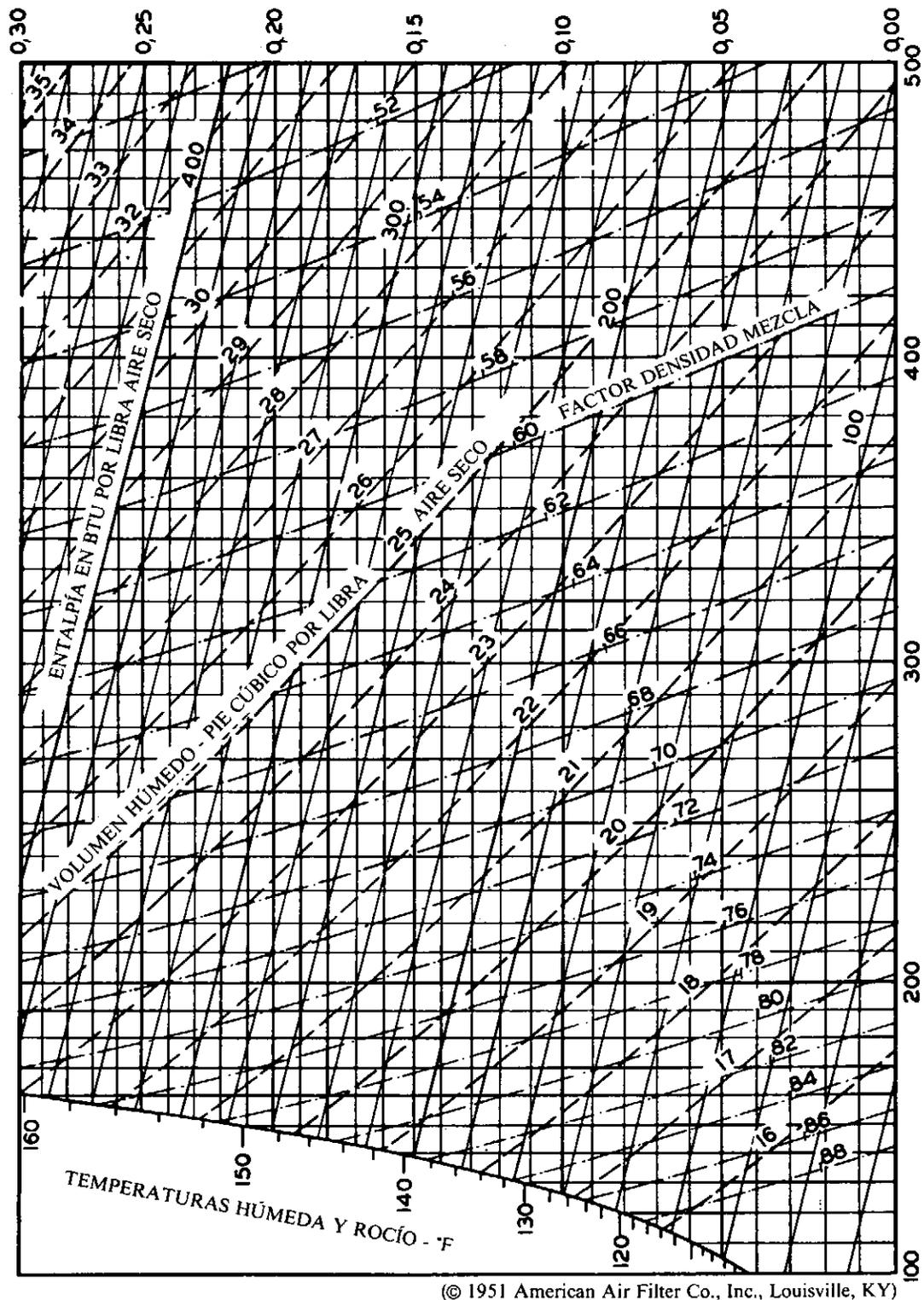


FIGURA 5-25
 DIAGRAMA PSICROMÉTRICO PARA EL AIRE HÚMEDO BASADO EN UNA LIBRA DE AIRE SECO
 PRESIÓN BAROMÉTRICO 760 mm Hg.

Equivalencias:

- $^{\circ}F = \frac{9}{5} ^{\circ}C + 32$
- $^{\circ}C = \frac{5}{9} (^{\circ}F - 32)$
- 1 pie cúbico por libra de aire seco = 0,062 m³ por Kg. aire seco
- 1 BTU por libra de aire seco = 0,56 Kcal. por Kg. aire seco
- 1 grano por libra de aire seco = 0,14 gr. por Kg. aire seco

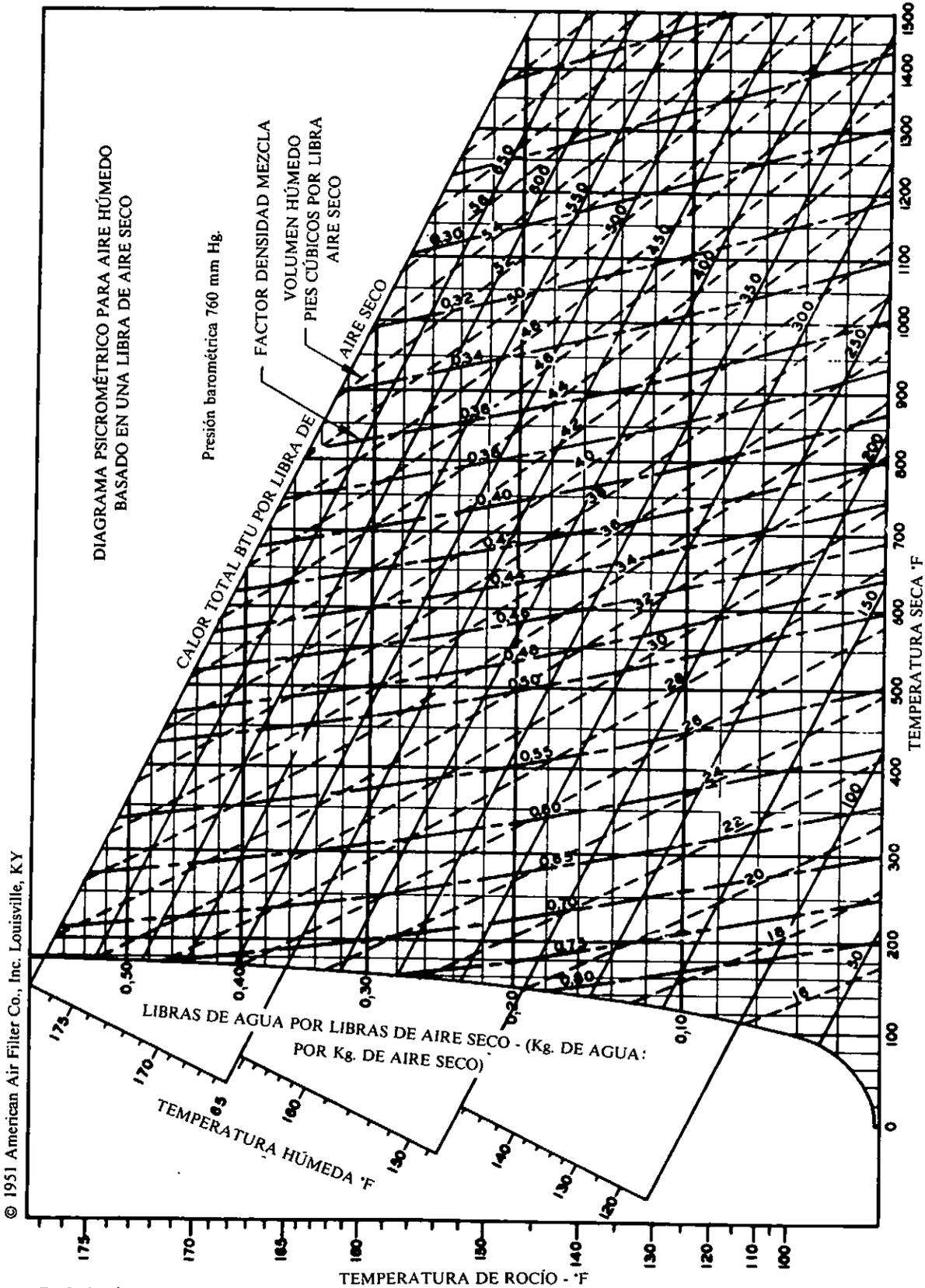
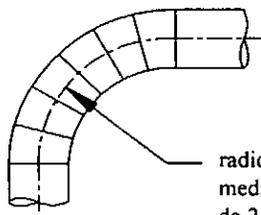


FIGURA 5-26

© 1951 American Air Filter Co., Inc. Louisville, KY

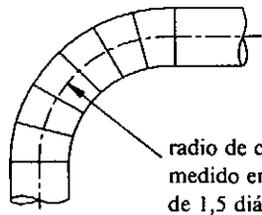
Equivalencias:

- $^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} \text{ } ^{\circ}\text{C} + 32$ 1 pie cúbico por libra de aire seco = 0,062 m³ por Kg. aire seco
- 1 BTU por libra de aire seco = 0,56 Kcal. por Kg. aire seco
- $^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (\text{ } ^{\circ}\text{F} - 32)$ 1 gramo por libra de aire seco = 0,14 gr. por Kg. aire seco



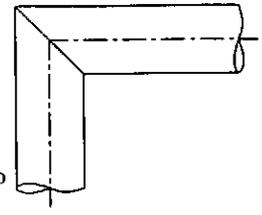
radio de curvatura medido en el centro de 2 a 2,5 diám.

RECOMENDADO



radio de curvatura medido en el centro de 1,5 diám.

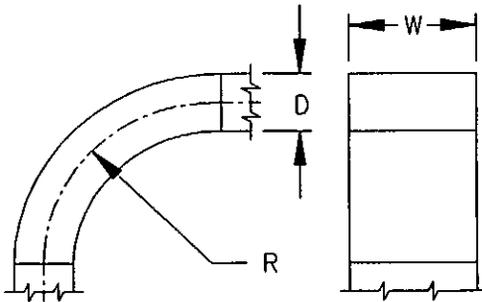
ACEPTABLE



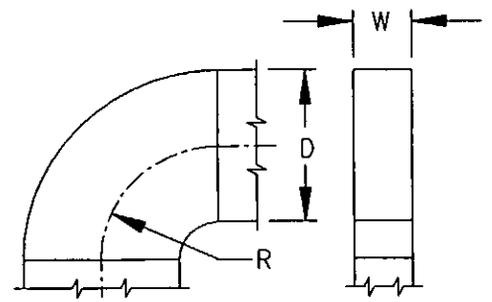
EVITAR

RADIO DE LOS CODOS

Los codos deben tener un radio de curvatura entre 2 y 2,5 diámetros, excepto cuando el espacio disponible no lo permita. Ver en la Figura 5-16 los factores de pérdida.



RECOMENDADO

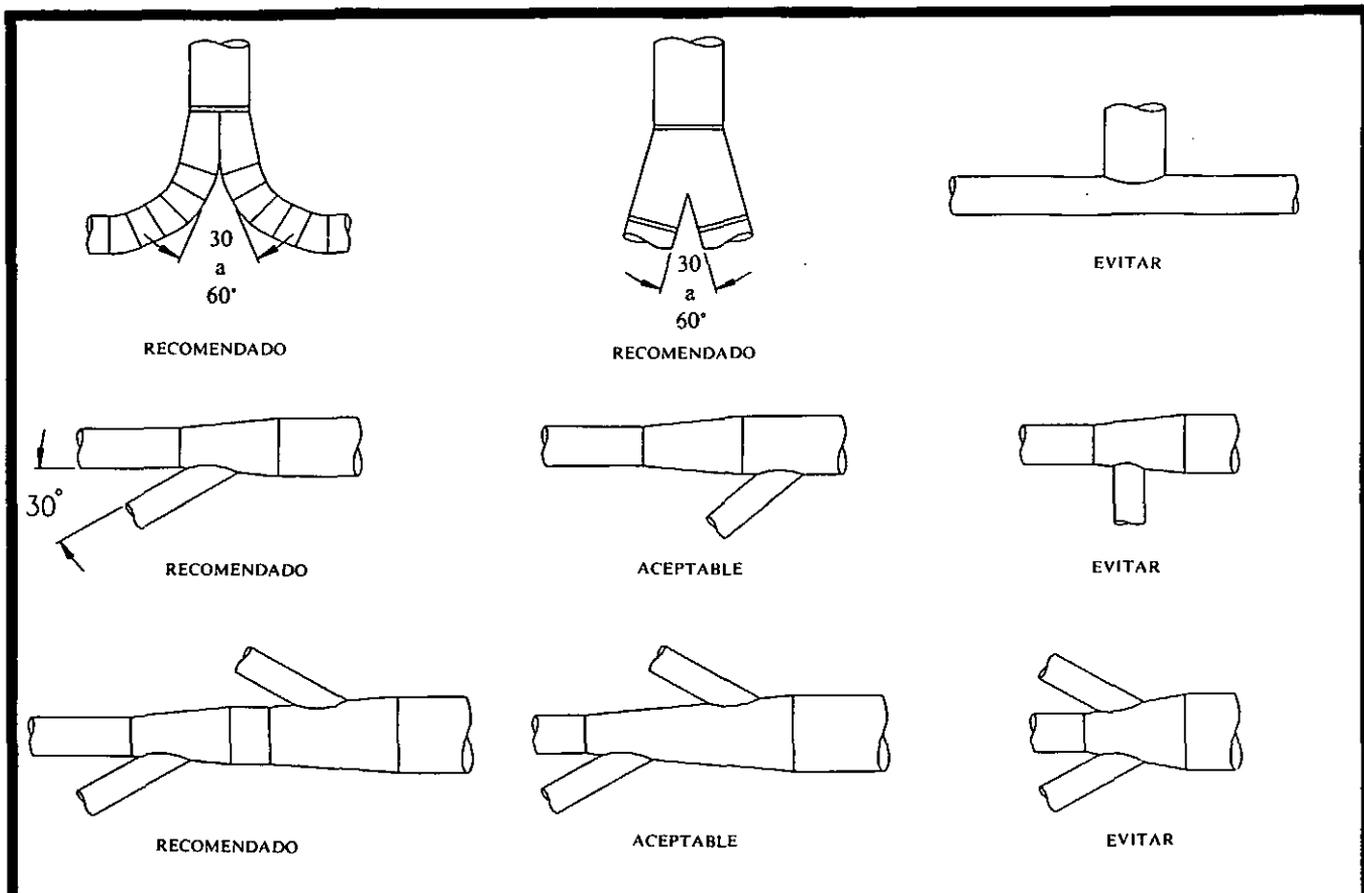


EVITAR

RELACIÓN DE TAMAÑO (W/D)

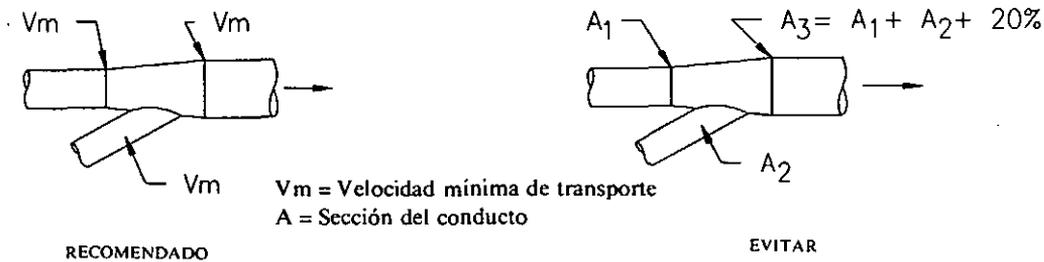
Los codos deben ser de relaciones W/D y R/D mayores que 1. Ver en la Figura 5-16 los factores de pérdida.

Nota: Evitar los codos a escuadra. Si no se pueden evitar, utilizarlos únicamente con aire limpio y equiparlos con aletas directrices. Consultar a los fabricantes los factores de pérdida de codos con aletas directrices.



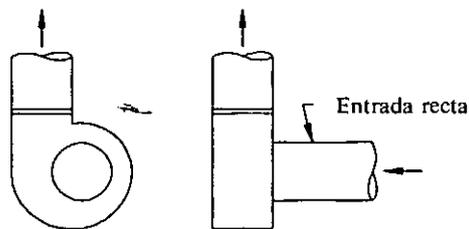
UNIONES DE CONDUCTOS LATERALES

Los conductos laterales se deben unir al principal en ensanchamientos progresivos con un ángulo de 30° o menor (recomendado), o hasta 45° si no hay espacio. El ensanchamiento debe ser de 15° como máximo. Ver en la Figura 5-17 los factores de pérdida

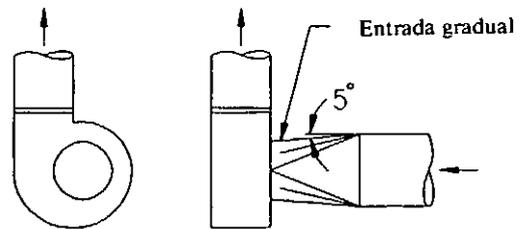


TAMAÑO CORRECTO DE LOS CONDUCTOS

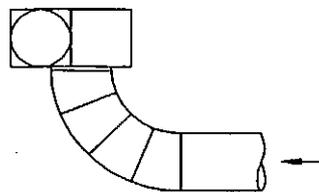
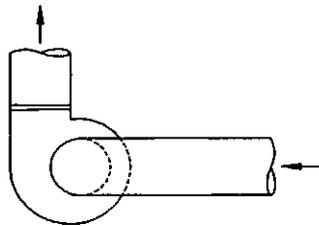
Dimensión del conducto para mantener la velocidad mínima de transporte o mayor



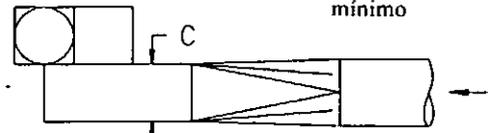
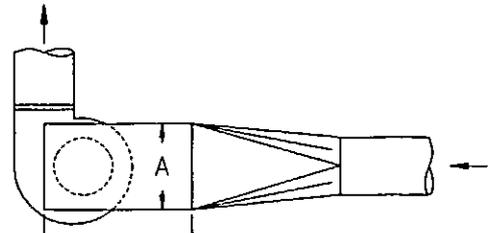
RECOMENDADO



RECOMENDADO



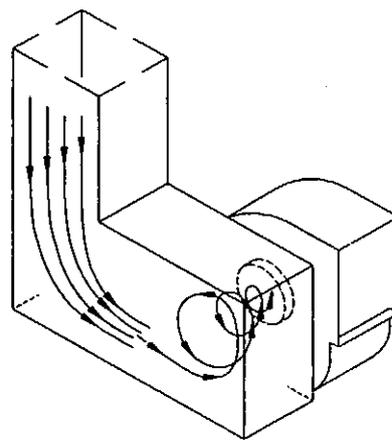
ACEPTABLE
Entrada con codo, ver nota



ACEPTABLE
Entrada con codo, ver nota

A, B, C = 2 x Diám. rodete mínimo

Nota: Consultar en el Capítulo 6 los factores de efecto del sistema de la disposición de los conductos de entrada y salida.



Utilizar aletas directrices para evitar el torbellino del aire y una carga desequilibrada en el rodete del ventilador

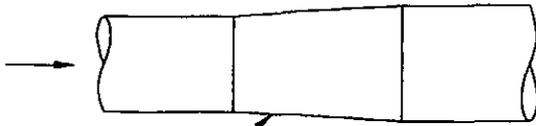
AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

PRINCIPIOS DE DISEÑO DE CONDUCTOS
ENTRADA AL VENTILADOR

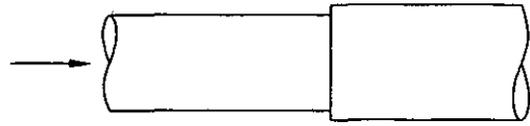
FECHA 1-88

FIGURA 5-29

ENSANCHAMIENTOS DE CONDUCTOS



Ver la Figura 5-19
RECOMENDADO

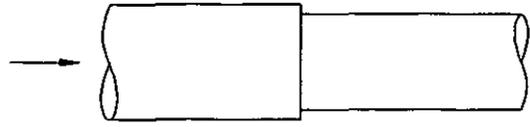


EVITAR

CONTRACCIONES DE CONDUCTOS

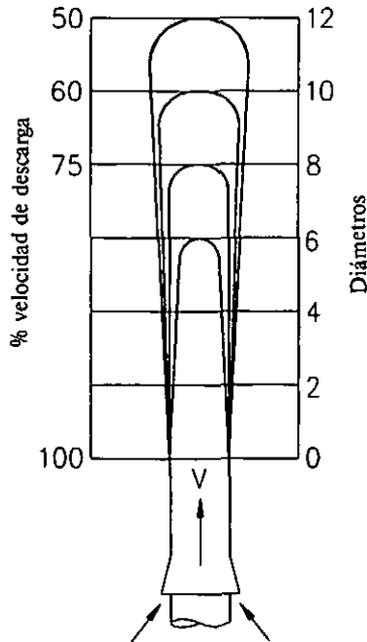


Ver la Figura 5-19
RECOMENDADO



EVITAR

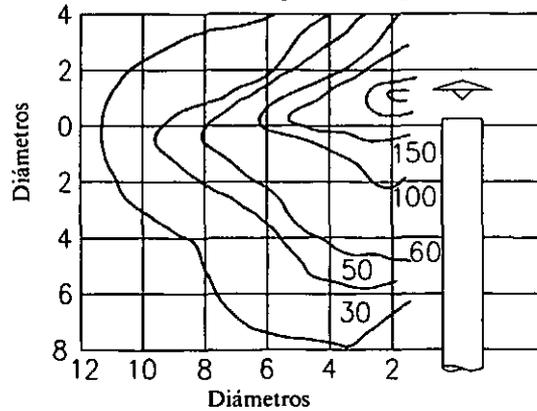
TERMINACIÓN DE CHIMENEA



RECOMENDADO
Dirige el aire hacia arriba

SOMBRERETE

Líneas de igual velocidad

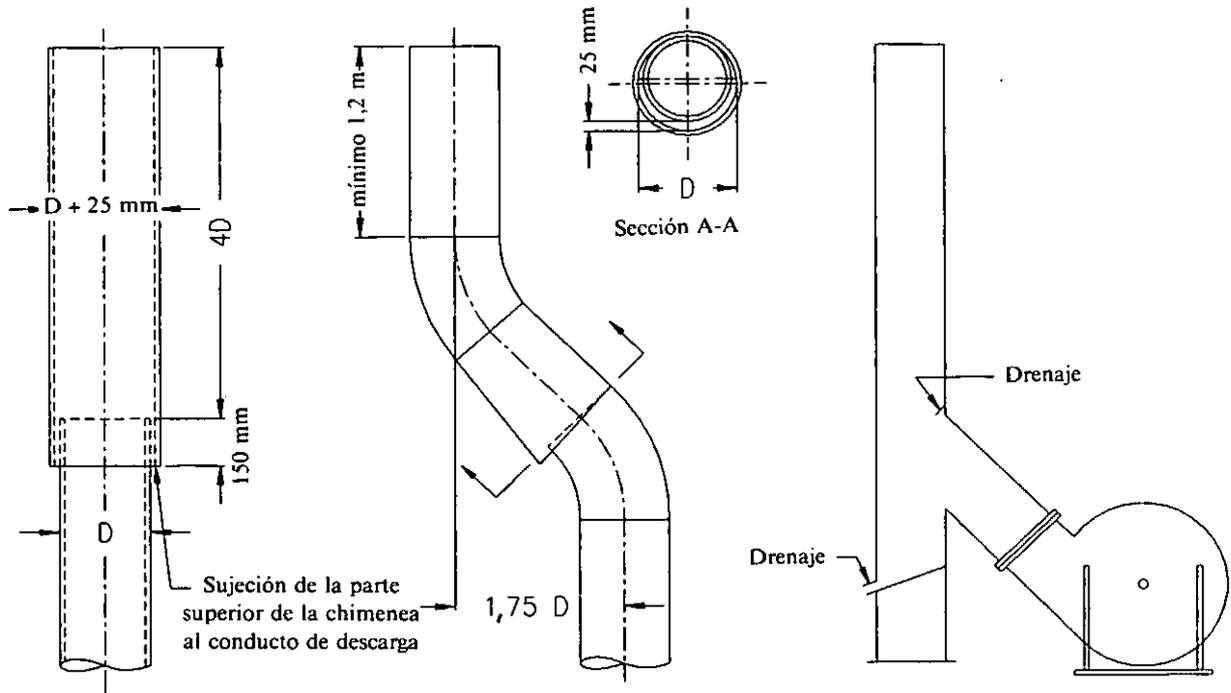


NO ACONSEJADO

Desvía el aire hacia abajo

EVITAR

Ver en la Figura 5-31
las protecciones contra la lluvia



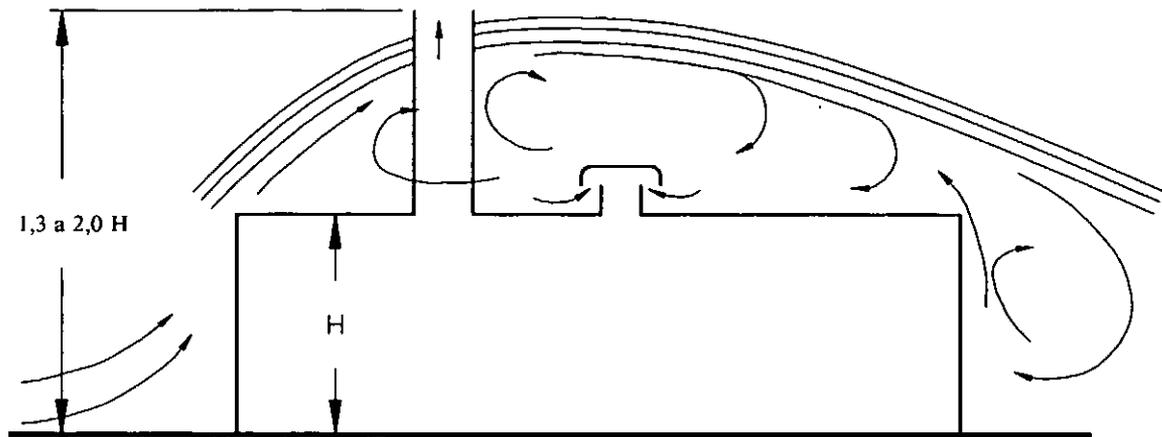
1. La protección contra la lluvia es mejor que la proporcionada por un sombrerete a $0,75 D$ por encima de la descarga.
2. La protección contra la lluvia es función directa de la altura de la parte superior de la chimenea, no obstante, una altura excesiva puede provocar que el aire salga de la chimenea a través de los orificios de drenaje.

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

*DISEÑO DE LA CÚSPIDE
DE LA CHIMENEA*

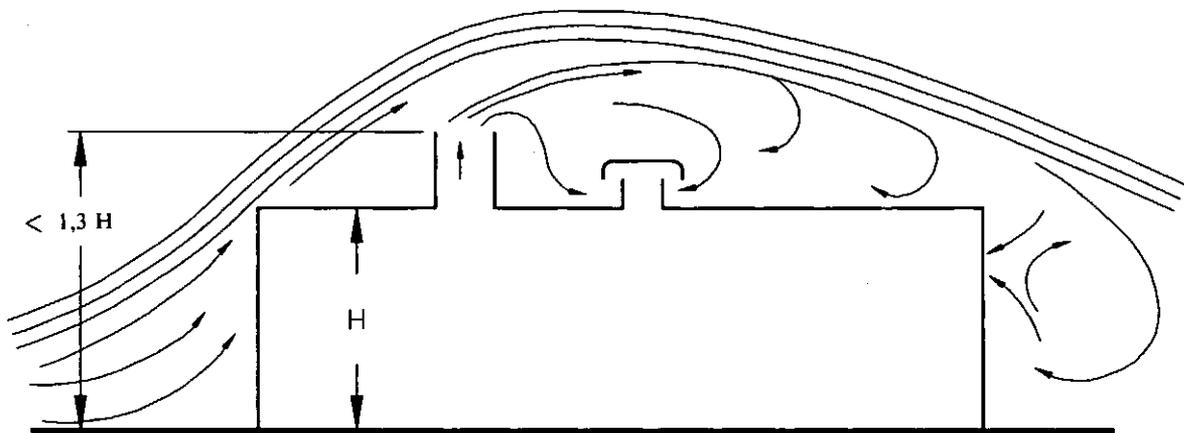
FECHA 1-88

FIGURA 5-31



RECOMENDADO

Chimenea con descarga alta con respecto a la altura del edificio, entradas de aire en el techo.



EVITAR

Chimenea con descarga baja con respecto a la altura del edificio y entradas de aire.

Aplicable únicamente al caso simple de un edificio bajo sin obstáculos en las inmediaciones y en un terreno prácticamente llano.

Nota: La depresión a sotavento (lado opuesto de donde sopla el viento) de un edificio puede ocasionar la entrada de los contaminantes por las aberturas del edificio en esa zona.

(Referencia 5-7)

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

ALTURA DE CHIMENEA

FECHA 1-88

FIGURA 5-32

Capítulo 6

VENTILADORES

6.1	INTRODUCCIÓN	6-2	6.3.5	Leyes de los ventiladores	6-16
6.2	DEFINICIONES BÁSICAS	6-2	6.3.6	Efecto del cambio de velocidad o de la densidad del gas	6-16
6.2.1	Eyectores	6-2	6.3.7	Limitaciones en el uso de las leyes de los ventiladores	6-17
6.2.2	Ventiladores axiales	6-2	6.3.8	Selección de ventiladores para densidad del aire diferente a la standard	6-17
6.2.3	Ventiladores centrífugos	6-2	6.3.9	Materiales inflamables o explosivos ...	6-21
6.2.4	Ventiladores especiales	6-6			
6.3	SELECCIÓN DE UN VENTILADOR	6-7	6.4	INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS VENTILADORES	6-22
6.3.1	Consideraciones para la selección de ventiladores	6-7	6.4.1	Efecto del sistema	6-22
6.3.2	Tablas de características	6-13	6.4.2	Revisiones y mantenimiento	6-22
6.3.3	Punto de operación	6-14			
6.3.4	Ajuste de las prestaciones del ventilador y de las necesidades del sistema	6-16		REFERENCIAS	6-22

6.1 INTRODUCCIÓN

Para mover el aire a través de un sistema de ventilación, o de extracción localizada, es necesario aportar energía para vencer las pérdidas de carga del sistema. Esta energía se puede aportar en forma de convección natural o flotación. Sin embargo, en la mayoría de sistemas se precisa de una máquina, tal como un ventilador o un eyector, para mantener el movimiento del aire.

En este capítulo se describen los diferentes tipos de máquinas para movimiento de aire que tienen aplicación en la industria, se dan recomendaciones para la selección del equipo en una situación dada, y se explica la forma de instalar el equipo para conseguir el rendimiento deseado.

La selección de una máquina para movimiento de aire puede ser una tarea compleja y se recomienda al proyectista que haga uso de toda la información disponible suministrada por las asociaciones de fabricantes o por los propios fabricantes.

6.2 DEFINICIONES BÁSICAS

Los equipos para movimiento de aire se pueden dividir en dos grandes grupos: eyectores y ventiladores. Los eyectores tienen un rendimiento bajo y sólo se utilizan en algunas aplicaciones especiales de manipulación de materiales. Los ventiladores son las máquinas de movimiento de aire más utilizadas en la industria.

Los ventiladores se pueden clasificar en tres grandes grupos: axiales, centrífugos y especiales. Como regla general, los ventiladores axiales se utilizan cuando se necesitan caudales de aire importantes con poca pérdida de carga, y los centrífugos para caudales de aire menores y pérdidas de carga elevadas.

6.2.1 Eyectores (ver la Figura 6-1): A veces se utilizan eyectores cuando no es conveniente que el aire contaminado circule a través del equipo que genera el movimiento del aire. Los eyectores se utilizan para mover aire que contiene materiales corrosivos, inflamables, explosivos, calientes o pulverulentos que pueden causar daños al ventilador, crear unas condiciones de operación peligrosas o provocar una rápida disminución de las prestaciones del ventilador. Los eyectores también se utilizan en los sistemas de transporte neumático.

6.2.2 Ventiladores axiales: Existen tres tipos básicos de ventiladores axiales: Helicoidales, tubulares y tubulares con directrices (ver las Figuras 6-2 y 6-3).

Los ventiladores helicoidales se emplean para mover aire con poca pérdida de carga, y su aplicación más común es la ventilación general. Se construyen con dos tipos de palas: Palas de disco para ventiladores sin ningún conducto; Palas estrechas para ventiladores que deban vencer resistencias bajas (menos de 25 mmcd). Sus prestaciones están muy influenciadas por la resistencia al flujo del aire y un peque-

ño incremento de la presión provoca una reducción importante del caudal.

Los ventiladores tubulares disponen de una hélice de palas estrechas de sección constante o con perfil aerodinámico (ala portante) montada en una carcasa cilíndrica, y generalmente no disponen de ningún mecanismo para enderezar el flujo de aire. Los ventiladores tubulares pueden mover aire venciendo resistencias moderadas (menos de 50 mmcd).

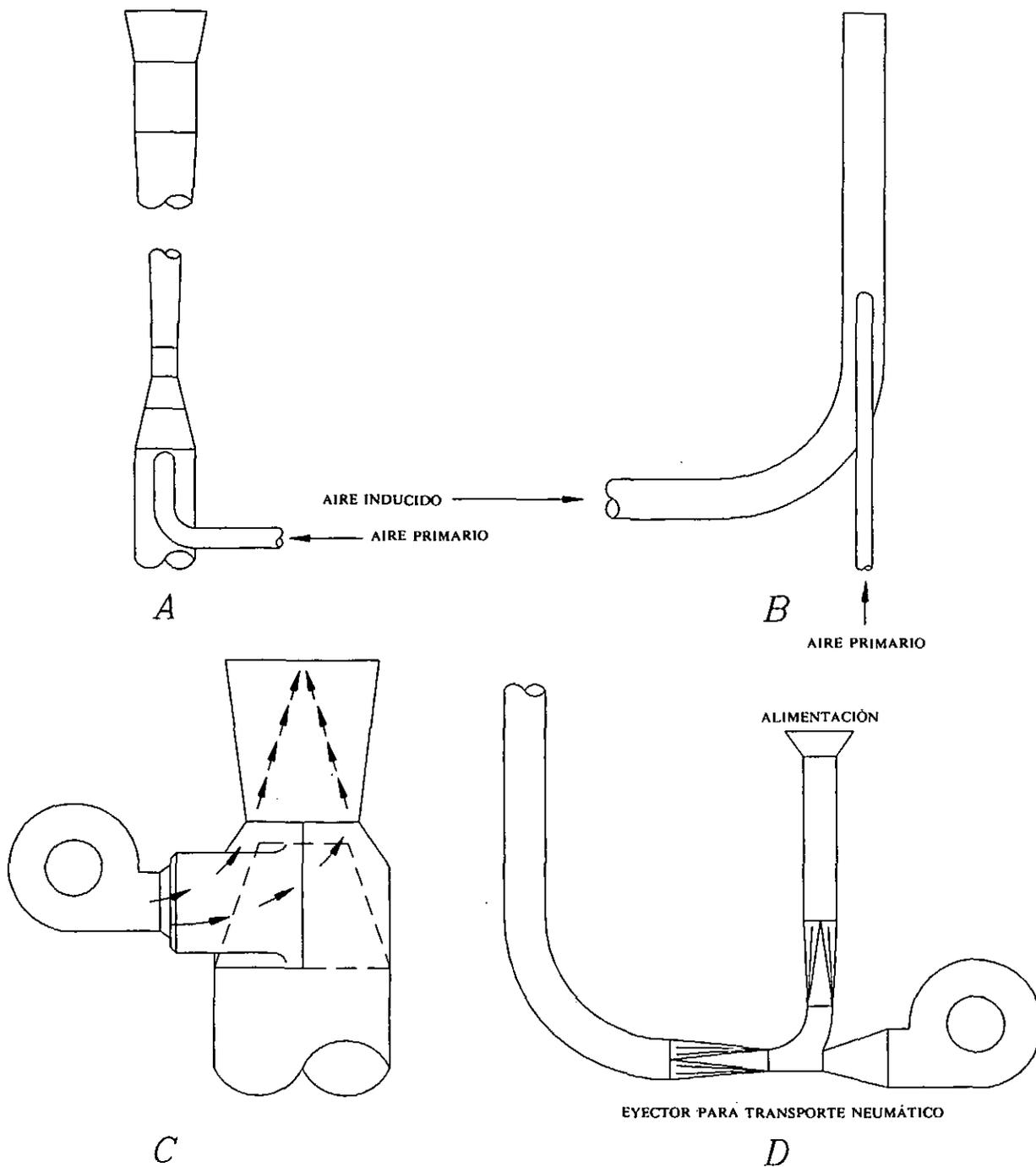
Los ventiladores tubulares con directrices tienen una hélice de palas con perfil aerodinámico (ala portante) montada en una carcasa cilíndrica que normalmente dispone de aletas enderezadoras del flujo de aire en el lado de impulsión de la hélice. En comparación con los otros tipos de ventiladores axiales, éstos tienen un rendimiento superior y pueden desarrollar presiones superiores (hasta 200 mmcd). Están limitados a los casos en los que se trabaja con aire limpio.

6.2.3 Ventiladores centrífugos (ver las Figuras 6-4 y 6-7): Estos ventiladores tienen tres tipos básicos de rodets: palas curvadas hacia adelante, palas rectas, palas inclinadas hacia atrás/curvadas hacia atrás.

Los ventiladores de palas curvadas hacia adelante (también se llaman de jaula de ardilla) tienen una hélice o rodete con las palas curvadas en el mismo sentido que la dirección de giro. Estos ventiladores necesitan poco espacio, baja velocidad periférica y son silenciosos. Se utilizan cuando la presión estática necesaria es de baja a media tal como las que se encuentran en los sistemas de calefacción, aire acondicionado o renovación de aire. No es recomendable utilizar este tipo de ventilador con aire polvoriento, ya que las partículas se adhieren a las pequeñas palas curvadas y provocan el desequilibrado del rodete.

Los ventiladores centrífugos radiales tienen el rodete con las palas dispuestas en forma radial. La carcasa está diseñada de forma que a la entrada y a la salida se alcanzan velocidades de transporte de materiales. Existen una gran variedad de diseños de rodets que van desde los de "alta eficacia con poco material" hasta los de "alta resistencia al impacto". La disposición radial de las palas evita la acumulación de materiales sobre las mismas. Este tipo de ventilador es el comúnmente utilizado en las instalaciones de extracción localizada en las que el aire contaminado con partículas debe circular a través del ventilador. En este tipo de ventiladores la velocidad periférica es media y se utilizan en muchos sistemas de extracción localizada que vehiculan aire sucio o limpio.

Los ventiladores centrífugos de palas curvadas hacia atrás/inclinadas hacia atrás tienen un rodete con las palas inclinadas en sentido contrario al de rotación. Este tipo de ventilador es el de mayor velocidad periférica y es el de mayor rendimiento con un nivel sonoro relativamente bajo y una característica de consumo de energía del tipo "no sobrecargable". En un ventilador "no sobrecargable", el consumo máximo de energía se produce en un punto próximo al de rendimiento óptimo de forma que cualquier cam-

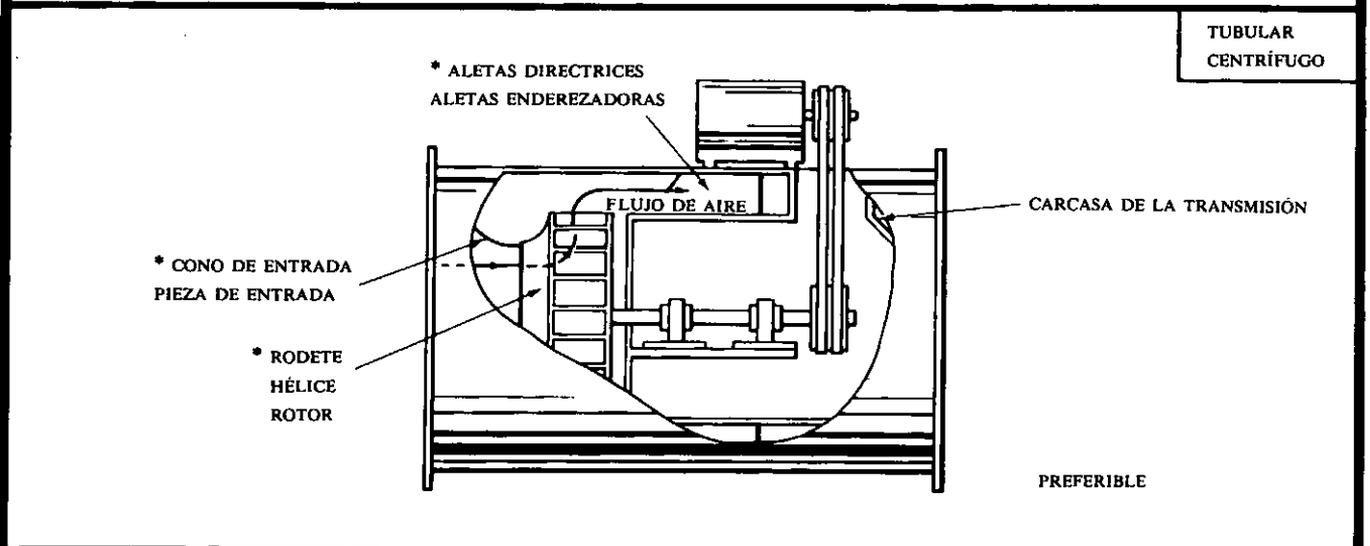
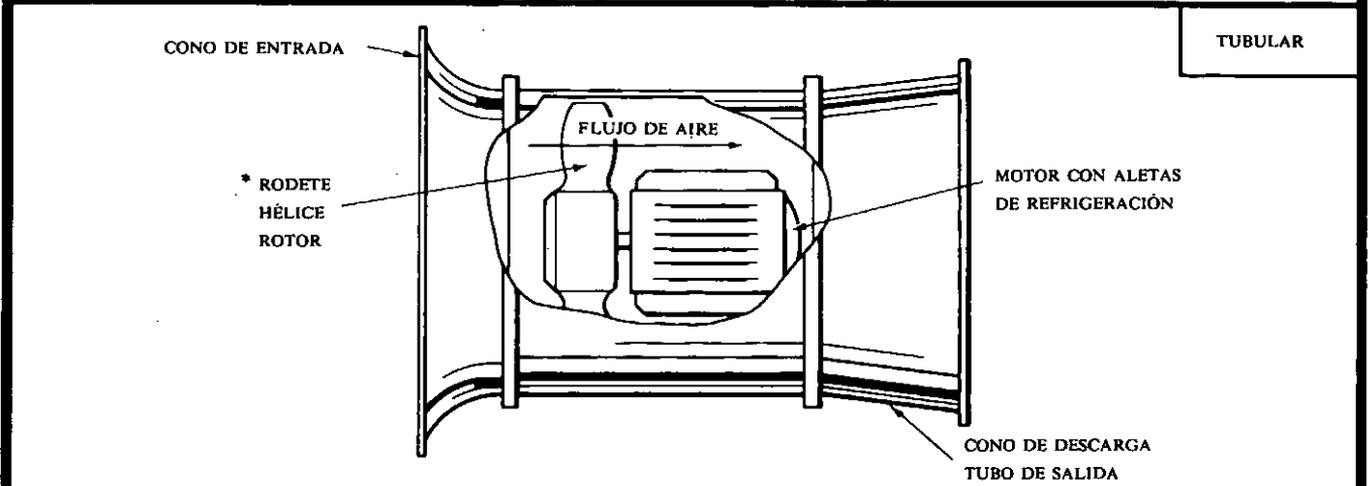
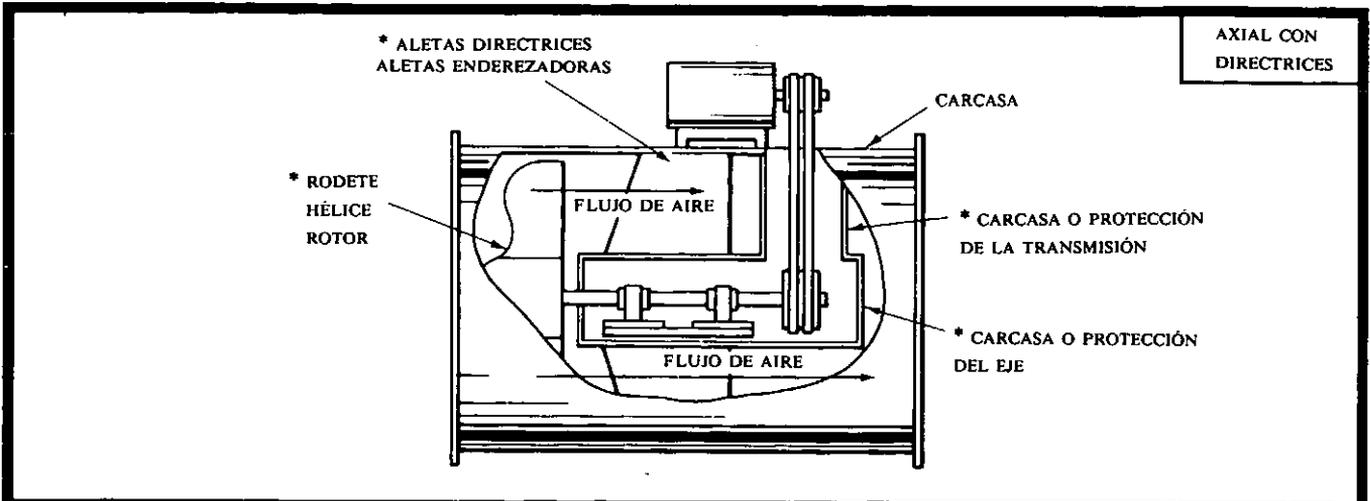


AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

EYECTORES DE AIRE

FECHA 1-88

FIGURA 6-1

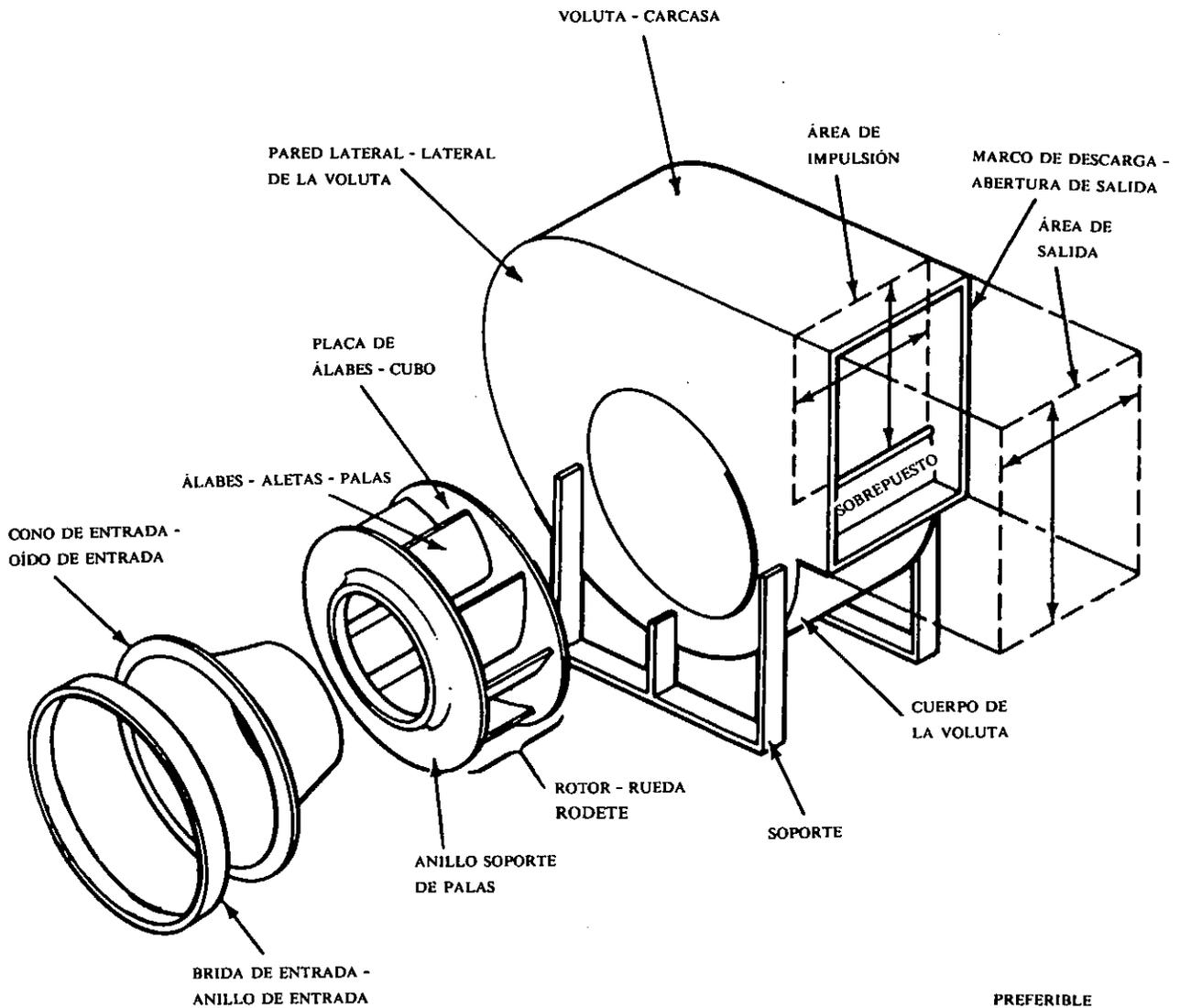


AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

TERMINOLOGÍA USUAL DE LOS
VENTILADORES DE FLUJO AXIAL
Y TUBULARES CENTRÍFUGOS
(adaptado de AMCA 201)

FECHA 1-88

FIGURA 6-2



AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

TERMINOLOGÍA USUAL DE LOS
VENTILADORES CENTRÍFUGOS
(adaptado de AMCA 201)

FECHA 1-88

FIGURA 6-3

bio a partir de este punto debido a cambios de la resistencia del sistema resultará en un consumo de energía menor. La forma de las palas condiciona la acumulación de materiales sobre ellas, de forma que el uso de estos ventiladores debe limitarse como se indica a continuación:

- * **Palas de espesor uniforme:** Las palas macizas permiten el trabajo con aire ligeramente sucio o húmedo. No debe emplearse con aire conteniendo materiales sólidos, ya que tienen tendencia a acumularse en la parte posterior de las palas.
- * **Palas de ala portante:** Las palas de ala portante permiten mayores rendimientos y una operación más silenciosa. Las palas huecas se erosionan rápidamente y se pueden llenar de líquido si la humedad es alta, por ello

su uso queda limitado a aplicaciones en las que se manipule aire limpio.

6.2.4 Ventiladores especiales (ver la Figura 6-4):

Ventiladores centrífugos de flujo axial: Constan de un rodete con palas inclinadas hacia atrás montado en una carcasa especial que permite una instalación como si se tratara de un tramo recto de conducto. Las características son similares a las de un ventilador centrífugo normal con el mismo tipo de rodete. Los requisitos de espacio son similares a los de un ventilador axial de tipo tubular.

Extractores de techo: Son equipos compactos que pueden ser de tipo axial o centrífugo. En este caso no se utiliza una voluta, sino que la descarga del aire a la atmósfera se produce en todo el perímetro de la rueda. Estos equipos se pueden

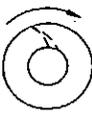
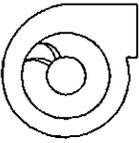
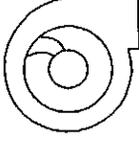
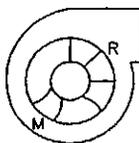
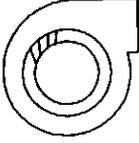
TIPO		DISEÑO DEL RODETE	DISEÑO DE LA CARCASA
VENTILADORES CENTRÍFUGOS	PALAS DE ALA PORTANTE	 <p>Es el tipo de ventilador centrífugo de mayor rendimiento. Dispone de 9 a 16 álabes de perfil aerodinámico curvadas hacia atrás con respecto a la dirección de giro. El aire sale del rodete a una velocidad inferior a la velocidad lineal de la periferia del mismo y el diseño de las palas posibilita una expansión del aire con pocas pérdidas al circular entre ellas. Para una función dada, es el diseño de ventilador centrífugo que puede girar a mayor velocidad.</p>	 <p>La carcasa tiene forma de voluta diseñada para convertir la presión dinámica en presión estática con pocas pérdidas y por tanto con alto rendimiento del ventilador; para que el rendimiento sea el mayor posible, es importante que la holgura entre el rodete y el cono de entrada sea pequeña. En ocasiones la carcasa es circular y concéntrica con el rodete tal como en algunos modelos de extractores de techo ya que la conversión a presión en el rodete es suficiente.</p>
	PALAS INCLINADAS HACIA ATRÁS PALAS CURVADAS HACIA ATRÁS	 <p>El rendimiento es un poco menor que el de los ventiladores con palas de ala portante. Las palas curvadas o inclinadas hacia atrás con respecto a la dirección de giro son de espesor constante, se montan de 9 a 16 palas. El rendimiento es alto por las mismas razones que las del ventilador con palas de ala portante ya indicadas arriba.</p>	 <p>Se utiliza el mismo diseño de carcasa que para los de ala portante.</p>
	RADIAL	 <p>Es el más sencillo y el de menor rendimiento entre todos los ventiladores centrífugos. Es muy resistente mecánicamente, y el rodete puede ser reparado con facilidad. Para una función dada requiere una velocidad de giro intermedia. Se montan entre 6 y 10 palas en disposición exactamente radial (R), o modificada (M).</p>	 <p>En forma de voluta, generalmente es el diseño más estrecho de todos los ventiladores centrífugos descritos aquí debido a la alta velocidad de descarga que precisa. Las exigencias dimensionales de esta carcasa son más críticas que en el caso de los ventiladores de palas de ala portante o inclinadas hacia atrás.</p>
	PALAS CURVADAS HACIA ADELANTE	 <p>El rendimiento es menor que el de los ventiladores de palas de ala portante o inclinadas hacia atrás. La construcción ligera y de bajo coste es la utilizada generalmente para este tipo de ventilador. Tiene entre 24 y 64 palas cortas con los bordes interior y exterior curvados hacia adelante. El aire sale del rodete a una velocidad mayor que la periférica. La energía primaria comunicada al aire se debe a la alta velocidad de giro del rodete. Para un trabajo dado, el tamaño del rodete y la velocidad de giro son los menores entre todos los ventiladores centrífugos.</p>	 <p>La voluta es de diseño similar a los otros ventiladores centrífugos. El ajuste entre el rodete y la entrada no es tan crítico como en los ventiladores con palas de ala portante o inclinadas hacia atrás. La chapa sobrepuesta en la carcasa es de gran tamaño.</p>

FIGURA 6-4 TIPOS DE VENTILADORES: DISEÑOS DEL RODETE Y LA CARCASA (ver la página siguiente)

suministrar con deflectores que conducen el aire de salida hacia arriba o hacia abajo.

Combinación de ventilador y colector de polvo: Hay equipos compactos en los que se combinan en una sola unidad un ventilador y un depurador de polvo. Se deben consultar al fabricante las características del equipo en el caso de que esté previsto utilizar una unidad de este tipo.

6.3 SELECCIÓN DEL VENTILADOR

La selección de un ventilador implica no sólo elegir un ventilador que cumpla con los requisitos de presión y caudal exigidos sino con todos los demás aspectos de la instalación incluyendo las propiedades de la corriente de aire, la temperatura de operación, la disposición de la transmisión

y las limitaciones de montaje. En la sección 6-2 se han descrito los diferentes tipos de ventiladores y los motivos que pueden llevar a su selección. En esta sección se presentan las normas a seguir para la selección, sin embargo, las características exactas y las limitaciones de un modelo particular de ventilador se deben obtener del fabricante del mismo.

6.3.1 Consideraciones para la selección de un ventilador:

CAPACIDAD:

Caudal (Q): Vendrá dado por las necesidades del sistema, se debe expresar en m³/s en las condiciones de presión y temperatura a la entrada al ventilador.

CURVAS CARACTERÍSTICAS *	CARACTERÍSTICAS	APLICACIONES
	<p>El máximo rendimiento se produce a un caudal entre el 50 y 65 % del de descarga libre. En esta zona la característica de presión también es buena; la curva de potencia tiene un máximo en la misma zona que el máximo de rendimiento y disminuye a medida que el caudal se aproxima al de descarga libre, de forma que la potencia está autolimitada.</p>	<p>Sistemas de ventilación general, calefacción y aire acondicionado. También en aplicaciones industriales con aire limpio y de gran tamaño en las que el ahorro de energía es significativo.</p>
	<p>Las características de este tipo son similares a las del ventilador con palas de ala portante citadas arriba. El rendimiento máximo de este ventilador es ligeramente inferior al anterior. Generalmente es inestable a la izquierda del máximo de presión.</p>	<p>Las mismas aplicaciones en ventilación general, calefacción y aire acondicionado que el tipo anterior. También se usa en algunas aplicaciones industriales que no permiten el uso de palas de ala portante debido a un ambiente corrosivo y/o abrasivo.</p>
	<p>La característica de presión es más alta que la de los dos tipos mencionados arriba. La potencia aumenta de forma continua al aumentar el caudal.</p>	<p>Empleado básicamente en instalaciones industriales de manipulación de materiales. El rodete puede ser de construcción muy robusta y es de fácil reparación a pie de instalación. En ocasiones se le aplican revestimientos especiales. Este diseño también se emplea en aplicaciones industriales de alta presión. Generalmente no se utiliza para instalaciones de ventilación, calefacción o aire acondicionado.</p>
	<p>La curva de presión tiene menos pendiente que la de un ventilador con las palas curvadas hacia atrás. Presenta un valle a la izquierda del pico de presión y el máximo rendimiento se produce a la derecha de este punto, a un caudal entre el 40 y 60 % del de descarga libre. El ventilador debe elegirse de forma que opere en la zona a la derecha del pico de presión. Al elegir el motor hay que tener presente que la curva de potencia crece de forma continua a medida que aumenta el caudal.</p>	<p>Utilizado básicamente en instalaciones de ventilación, calefacción y aire acondicionado de baja presión tales como hornos domésticos y unidades compactas de acondicionamiento de aire como acondicionadores de ventana o consolas.</p>

TIPOS DE VENTILADORES: CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES. (*Las curvas indicadas sólo reflejan las características generales de los diferentes tipos de ventiladores más usuales. No se han trazado con la idea de que constituyan un criterio de selección de aplicación práctica, entre otras razones porque algunos parámetros tales como el tamaño o la velocidad de giro no están definidos.)

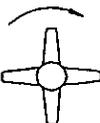
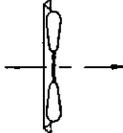
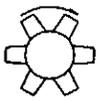
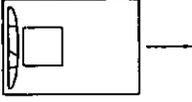
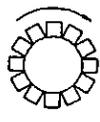
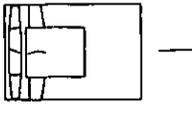
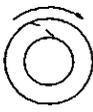
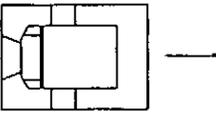
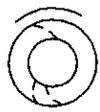
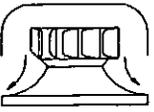
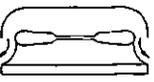
TIPO		DISEÑO DEL RODETE	DISEÑO DE LA CARCASA
VENTILADORES AXIALES	HELICOIDAL	 <p>El rendimiento es pequeño. Los ventiladores helicoidales generalmente son de construcción barata y limitados a aplicaciones de baja presión. La hélice tiene 2 o más palas de espesor uniforme en la mayoría de casos unidas a un cubo de pequeño diámetro. La transferencia de energía se produce mayoritariamente en forma de presión dinámica.</p>	 <p>El diseño se basa en un simple anillo, placa perforada o venturi. El diseño afecta de forma sustancial al rendimiento, un diseño óptimo tiende a disminuir la holgura entre la carcasa y el extremo de las palas y tiene forma de estrechamiento gradual para dirigir el aire hacia la hélice.</p>
	TUBULAR	 <p>Tiene un rendimiento algo superior al de un ventilador helicoidal y es capaz de desarrollar una presión estática mayor. Tiene entre 4 y 8 palas sobre un cubo que suele ser inferior al 50% del diámetro externo de la hélice. Las palas pueden tener un diseño de ala portante o ser chapas de espesor uniforme.</p>	 <p>Tubo cilíndrico con poca holgura entre el diámetro interior y el extremo de las palas. El resultado es una mejora significativa del rendimiento con respecto a los ventiladores helicoidales.</p>
	TUBULAR CON DIRECTRICES	 <p>Con un buen diseño de las palas se consiguen desarrollar presiones estáticas medias y altas con un buen rendimiento. Los ventiladores de este tipo de mejor rendimiento tienen palas de perfil aerodinámico. Las palas pueden ser fijas o con el ángulo de ataque ajustable, en general el diámetro del cubo es mayor que el 50% del diámetro externo de la hélice.</p>	 <p>Tubo cilíndrico con poca holgura entre el diámetro interior y el extremo de las palas y dotado de un conjunto de aletas directrices. Tanto si están situadas antes o después de la hélice, las directrices transforman la energía de rotación que la hélice comunica al aire en energía de presión mejorando el rendimiento.</p>
DISEÑOS ESPECIALES	TUBULAR		
	CENTRÍFUGO	 <p>Este ventilador tiene un rodete similar al de palas de ala portante, palas inclinadas o palas curvadas hacia atrás descrito antes. (Sin embargo este diseño de rodete tiene un rendimiento más bajo en este tipo de ventilador.) En ocasiones se utilizan hélices en las que el flujo de aire es de tipo mixto.</p>	 <p>Carcasa cilíndrica similar a la de los ventiladores tubulares, exceptuando la holgura entre la carcasa y el rodete que es mayor. El aire abandona el rodete en sentido radial, y debe cambiar la dirección dando un giro de 90° para circular a través de las aletas directrices.</p>
	CENTRÍFUGO	 <p>Muchos modelos utilizan palas de ala portante o inclinadas hacia atrás. El diseño es una modificación de los mencionados antes para conseguir una característica de alto caudal a baja presión. También se utilizan otros tipos de rodete de diseño especial, incluyendo los de flujo mixto.</p>	 <p>No utiliza una carcasa en el sentido normal del término ya que el aire se descarga en sentido radial en todas direcciones y generalmente no tiene una envolvente para recuperar la presión dinámica.</p>
EXTRACTORES DE TECHO			
AXIAL	 <p>Se emplea una gran variedad de diseños de hélice siempre con el objetivo de obtener una característica de alto caudal a baja presión.</p>	 <p>En esencia consiste en un ventilador helicoidal montado sobre una estructura que dispone de una cubierta de protección frente a la lluvia y por motivos de seguridad. El aire se descarga a través del espacio anular entre el ventilador y la cubierta de protección.</p>	

FIGURA 6-4 (Continuación) TIPOS DE VENTILADORES: DISEÑOS DEL RODETE Y LA CARCASA

CURVAS CARACTERÍSTICAS *	CARACTERÍSTICAS	APLICACIONES
	<p>Capacidad de mover caudales importantes a baja presión, el rendimiento máximo se alcanza a caudales próximos al de descarga libre. El chorro de descarga del aire tiene forma circular y tiene un movimiento de rotación debido a la acción de las palas y a la ausencia de dispositivos enderezadores.</p>	<p>Aplicaciones en las que se precisen altos caudales a baja presión tales como provocar la circulación de aire en el interior de recintos o los extractores que se instalan en paredes sin ningún conducto. Utilizado con objetivos de renovación del aire.</p>
	<p>Capacidad de mover caudales grandes de aire a presión media. Hay que evitar la operación en el valle de la curva de presión situado a la izquierda del máximo de presión. El chorro de descarga es circular y con rotación debido a la acción de las palas y a la ausencia de directrices.</p>	<p>Se utiliza en instalaciones de ventilación, calefacción y aire acondicionado con conductos que requieran presiones de media a baja y en los que la distribución del aire aguas abajo del ventilador no sea crítica. También se utiliza en algunos sistemas industriales tales como hornos de secado, cabinas de pintura y extracciones localizadas de humos.</p>
	<p>Sus características son de caudales medios a presiones elevadas. Hay que evitar la operación en el valle de la curva de presión situado a la izquierda del máximo de presión. Las directrices corrigen el movimiento de rotación comunicado al aire por la hélice y mejoran las características de presión y rendimiento del ventilador.</p>	<p>Tiene ventajas su utilización en los sistemas de ventilación general, calefacción y aire acondicionado, a cualquier presión, cuando se precisa que el flujo de aire sea recto y el equipo pequeño; la distribución del aire aguas abajo del ventilador es buena. Tiene las mismas aplicaciones industriales que los ventiladores tubulares. Para una función dada es relativamente más pequeño que el ventilador centrífugo equipable.</p>
	<p>Sus características son similares a las de un ventilador de palas curvadas hacia atrás, con la excepción de que rinde un caudal y una presión más bajas debido al giro de 90° en la carcasa. Por el mismo motivo el rendimiento también es inferior. Algunos diseños tienen un valle en la curva de presión similar al de los ventiladores axiales.</p>	<p>Utilizado principalmente en los circuitos de retorno a baja presión de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado. La configuración global del flujo de aire es axial.</p>
	<p>En general se prevé su uso sin conexión a ningún conducto y por tanto no debe vencer resistencias importantes. Es común que se prevea para dar un caudal importante. Para este tipo de máquina únicamente se indican las características de presión estática y rendimiento estático.</p>	<p>Sistemas de extracción a baja presión tales como ventilación general de talleres, cocinas, almacenes y establecimientos comerciales en los que la limitación al aumento de presión es admisible. Los costes de instalación y de operación son bajos y proporciona una extracción forzada de aire, lo cual es una ventaja importante sobre los aparatos de extracción de aire estáticos basados en fuerzas gravitatorias. El ventilador radial centrífugo es algo más silencioso que el axial que se describe a continuación.</p>
	<p>En general se prevé su uso sin conexión a ningún conducto y por tanto no debe vencer resistencias importantes. Es común que se prevea para dar un caudal importante. Para este tipo de máquina únicamente se indican las características de presión estática y rendimiento estático.</p>	<p>Sistemas de extracción a baja presión tales como ventilación general de talleres, cocinas, almacenes y establecimientos comerciales en los que la limitación al aumento de presión es admisible. Los costes de instalación y de operación son bajos y proporciona una extracción forzada de aire, lo cual es una ventaja importante sobre los aparatos de extracción de aire estáticos basados en fuerzas gravitatorias.</p>

TIPOS DE VENTILADORES: CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES

Presión: Vendrá dada por las necesidades del sistema en términos de Presión Estática del ventilador (PEV) o Presión Total del Ventilador (PTV) en ambos casos expresada en mmca para aire en condiciones standard (densidad = 1,2 kg/m³). Si la presión necesaria está indicada para aire a otras condiciones se debe corregir el dato con el factor de densidad (ver la sección 6.3.8).

CORRIENTE DE AIRE

Material vehiculado a través del ventilador: Cuando el aire contiene pequeñas cantidades de polvo o humo se puede utilizar un ventilador axial o uno centrífugo de palas curvadas hacia atrás. Con polvo o humo en cantidad más importante, o humedad, la elección debe decantarse hacia un ventilador centrífugo de palas rectas o palas curvadas hacia atrás. Si la carga de materia particulada es alta o hay que transportar el material, la elección normal es un ventilador centrífugo de palas rectas.

Materiales inflamables y explosivos: Se deben utilizar construcciones especiales (incluido el motor si se encuentra en la corriente de aire) de acuerdo a las normas del National Board of Fire Underwriters, de la National Fire Protection Association o reglamentos gubernamentales (ver la sección 6.3.9).

Productos corrosivos: Puede ser necesario el uso de recubrimientos anticorrosivos o de materiales especiales de construcción (acero inoxidable, fibra de vidrio, etc.).

Temperatura elevada: La temperatura máxima de operación afecta a la resistencia de los materiales y por tanto se debe tener en cuenta para especificar los materiales de construcción, la disposición de la transmisión, y el tipo de rodamientos.

LIMITACIONES DE ESPACIO Y ACCESO

El tamaño del ventilador será el del modelo de mejor rendimiento. Por otra parte hay que tener en cuenta su ubicación y tamaño, así como su peso y accesos para mantenimiento. Es posible que el ventilador de mejor rendimiento no quepa en el espacio disponible.

DISPOSICIONES DE LA TRANSMISIÓN

Todos los ventiladores tienen una fuente de energía, generalmente es un motor eléctrico. En las unidades más pequeñas el motor está integrado o bien se monta por el fabricante del ventilador y se suministran juntos. En las unidades de mayor tamaño el motor se suministra separado del ventilador y se conecta al mismo bien por un acoplamiento directo o mediante una transmisión por correas. En la Figura 6-5 se muestran una serie de disposiciones normalizadas de la transmisión.

Acoplamiento directo: Permite un conjunto más compacto y una velocidad de giro del ventilador prácticamente constante. Las velocidades posibles quedan limitadas a las disposiciones para los motores (excepto en el caso de que

se utilicen reguladores de velocidad). La capacidad queda fijada por construcción, según sea la geometría de las palas y la velocidad del motor.

Transmisión por correas: Permite una mayor flexibilidad en tanto que la velocidad de giro puede ser alterada variando la relación de tamaños de las poleas. Este factor puede ser importante para admitir cambios en el caudal o presión requeridos por el sistema debidos a cambios en el proceso, en los diseños de las campanas, en la situación de los equipos o en los depuradores. Las correas trapezoidales requieren mantenimiento y tienen pérdidas que se pueden estimar con el gráfico de la Figura 6-6.

RUIDO

El ruido de los ventiladores se genera por las turbulencias existentes en el interior de la carcasa y varía en función del tipo de ventilador. Debido a que cada diseño es diferente los datos de emisión sonora se debe solicitar al fabricante. La mayoría de ventiladores producen un "ruido blanco" que es una mezcla de todas las frecuencias. Además del ruido blanco, los ventiladores de palas radiales, también genera un tono puro de frecuencia igual a la frecuencia de paso de las palas (FPP):

$$FPP = RPM \times N \times FC \quad [6.1]$$

donde:

FPP =	frecuencia de paso de las palas, Hz
RPM =	velocidad de giro, rpm
N =	número de palas
FC =	factor de conversión, 1/60

Este tono puede ser audible en algunos tipos de instalación y por tanto debe ser tenido en cuenta al diseñar el sistema.

SEGURIDAD Y ACCESORIOS

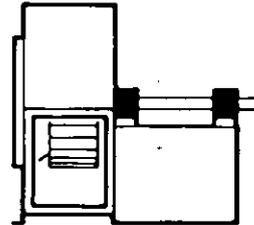
Resguardos: Se deben instalar resguardos en todos los puntos de riesgo tales como entrada y salida de aire, eje, transmisiones, motor y puertas de limpieza. La construcción debe cumplir todas las exigencias reglamentarias sobre seguridad industrial y los anclajes deben estar seguros.

Accesorios: Pueden facilitar la instalación y las futuras operaciones de mantenimiento. Como ejemplo se pueden citar los drenajes, las puertas de limpieza, las carcasas divididas y los apoyos del eje.

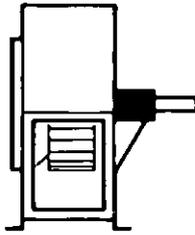
Regulación del caudal: El caudal se puede regular instalando una compuerta directamente en la entrada o en la salida del ventilador. Puede ser necesario en sistemas que deben variar el caudal a lo largo de la jornada o para reducir el caudal en previsión de una ampliación futura. Las compuertas pueden provocar la acumulación de materiales y no son aceptables en los ventiladores previstos para transporte neumático. Existen dos tipos de compuertas de regulación:

RS - Rueda simple RD - Rueda doble
 SO - Simple cono DO - Doble cono
 de entrada de entrada

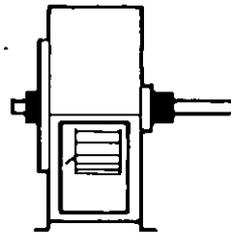
Las disposiciones (DISP.) 1, 3, 7 y 8 también están disponibles con los rodamientos montados en pedestales o bases de apoyo independientes de la carcasa del ventilador.



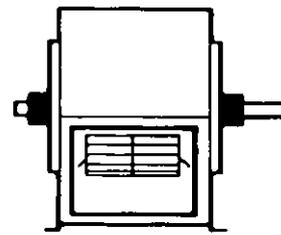
DISP. 1 RSSO Con correas de transmisión o conexión directa. Rodete flotante. Dos rodamientos en la base.



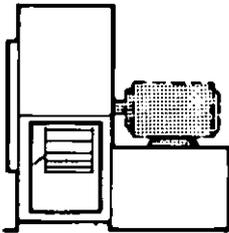
DISP. 2 RSSO Con correas de transmisión o conexión directa. Rodete flotante. Rodamientos en una escuadra apoyada en la carcasa.



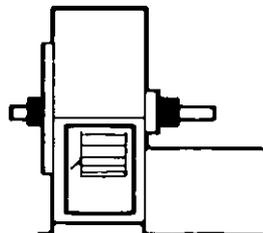
DISP. 3 RSSO Con correas de transmisión o conexión directa. Un rodamiento a cada lado del rodete apoyados en la carcasa.



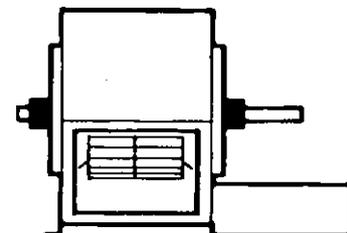
DISP. 3 RDDO Con correas de transmisión o conexión directa. Un rodamiento a cada lado del rodete apoyados en la carcasa.



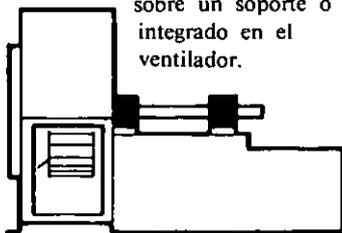
DISP. 4 RSSO Con conexión directa. Rodete flotante unido al eje del motor. Sin rodamientos en el ventilador. El motor puede estar montado



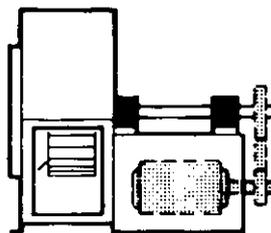
DISP. 7 RSSO Con correas de transmisión o conexión directa. DISP. 3 con una base para instalación del motor.



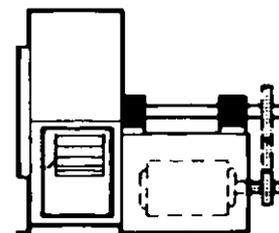
DISP. 7 RDDO Con correas de transmisión o conexión directa. DISP. 3 con una base para instalación del motor.



DISP. 8 RSSO Con correas de transmisión o conexión directa. DISP. 1 con una base ampliada para instalación del motor.



DISP. 9 RSSO Con correas de transmisión. Rodete flotante. Dos rodamientos con el motor situado en la parte externa de la base.



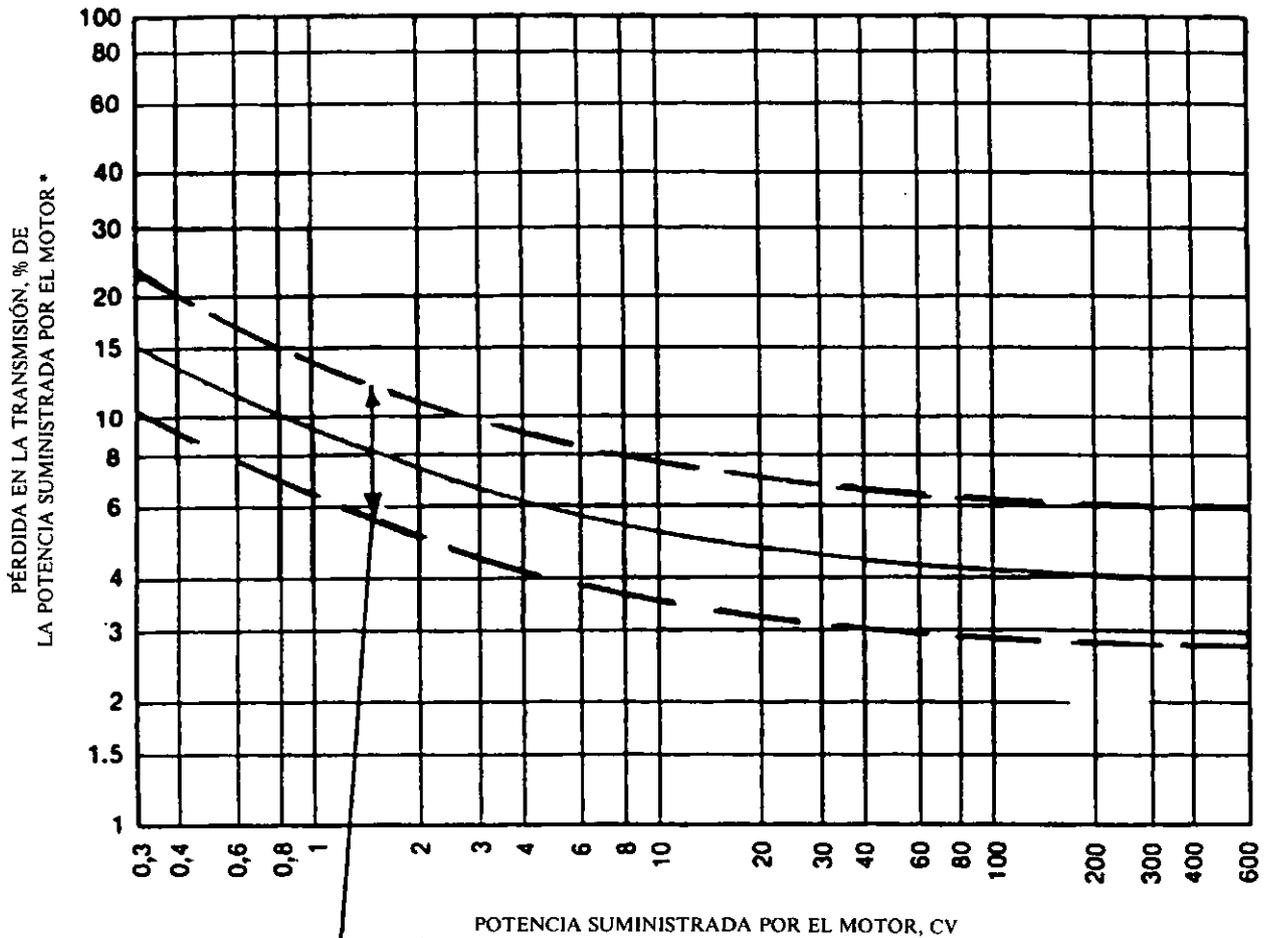
DISP. 10 RSSO Con correas de transmisión. Rodete flotante. Dos rodamientos con el motor situado en la parte interna de la base.

AMERICAN CONFERENCE
 OF GOVERNMENTAL
 INDUSTRIAL HYGIENISTS

*DISPOSICIONES DE LA TRANSMISIÓN
 EN LOS VENTILADORES CENTRÍFUGOS
 (adaptado de AMCA 99-83)*

FECHA 1-88

FIGURA 6-5



RANGO DE LAS PÉRDIDAS EN LA TRANSMISIÓN PARA CORREAS STANDARD PARA LA MISMA POTENCIA, LAS VELOCIDADES DE GIRO ELEVADAS TIENEN PÉRDIDAS MÁS ELEVADAS QUE LAS VELOCIDADES DE GIRO BAJAS

* Pérdidas en la transmisión basadas en correas trapezoidales convencionales.

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS EN
LA TRANSMISIÓN POR CORREAS
(adaptado de AMCA 203)

FECHA 1-88

FIGURA 6-6

TABLA 6-1 Ejemplo de tabla de características

		Diámetro de entrada: 13" (330 mm) Área de salida: 0,0855 m ²										Diámetro del rodete: 22 5/8" (575 mm) Perímetro del rodete: 1806 mm											
Caudal m ³ /s	Velocidad perif. m/s	50*		100*		150*		200*		250*		300*		350*		400*		450*		500*		550*	
		RPM	CV	RPM	CV	RPM	CV	RPM	CV	RPM	CV	RPM	CV	RPM	CV	RPM	CV	RPM	CV	RPM	CV	RPM	CV
0,4275	5	843	0,57	1176	1,21	1434	1,93	1653	2,75	1846	3,64	2021	4,59	2184	5,62	2333	6,68	2475	7,81	2610	9,01	2738	10,2
0,5130	6	853	0,67	1183	1,35	1439	2,12	1656	2,98	1848	3,90	2022	4,89	2182	5,95	2333	7,07	2473	8,23	2606	9,45	2733	10,7
0,5985	7	866	0,77	1191	1,51	1445	2,33	1660	3,22	1852	4,20	2025	5,23	2183	6,31	2333	7,47	2474	8,68	2606	9,95	2731	11,2
0,6840	8	882	0,89	1201	1,69	1453	2,56	1668	3,50	1857	4,51	2030	5,59	2188	6,72	2337	7,92	2474	9,13	2606	10,4	2734	11,8
0,7695	9	899	1,01	1213	1,88	1463	2,81	1676	3,81	1863	4,86	2035	5,98	2194	7,16	2340	8,38	2479	9,67	2610	11,0	2735	12,4
0,8550	10	917	1,14	1227	2,09	1474	3,09	1685	4,13	1872	5,24	2040	6,39	2199	7,62	2344	8,89	2484	10,2	2613	11,6	2735	13,0
0,9405	11	937	1,29	1242	2,32	1484	3,37	1694	4,48	1879	5,63	2048	6,84	2206	8,13	2351	9,43	2487	10,8	2618	12,2	2741	13,6
1,0260	12	961	1,45	1257	2,56	1497	3,68	1704	4,85	1889	6,07	2056	7,33	2212	8,64	2357	10,0	2493	11,4	2622	12,8	2745	14,3
1,1115	13	984	1,62	1275	2,81	1513	4,02	1717	5,25	1900	6,53	2065	7,84	2222	9,22	2364	10,6	2501	12,1	2631	13,6	2750	15,1
1,2825	15	1038	2,02	1313	3,36	1543	4,73	1744	6,11	1924	7,52	2088	8,96	2241	10,4	2383	12,0	2517	13,5	2644	15,1	2766	16,7
1,4535	17	1099	2,50	1358	3,99	1580	5,52	1775	7,05	1952	8,60	2115	10,2	2265	11,8	2405	13,4	2538	15,1	2665	16,8	2783	18,5
1,6245	19	1164	3,07	1407	4,69	1620	6,37	1812	8,09	1984	9,79	2144	11,5	2290	13,3	2428	15,0	2562	16,8	2684	18,6	2803	20,5
1,7955	21	1232	3,75	1462	5,48	1665	7,31	1851	9,19	2018	11,0	2174	12,9	2320	14,8	2458	16,8	2587	18,7	2708	20,6	2825	22,5
1,9665	23	1306	4,56	1520	6,39	1717	8,38	1894	10,4	2058	12,4	2209	14,5	2355	16,5	2489	18,6	2614	20,6	2736	22,7	2852	24,8
2,1375	25	1380	5,49	1582	7,41	1770	9,53	1941	11,7	2100	13,9	2247	16,1	2390	18,3	2521	20,5	2645	22,7	2766	25,0	2883	27,3
2,3085	27	1457	6,56	1647	8,57	1827	10,8	1990	13,1	2146	15,5	2291	17,8	2428	20,2	2558	22,6	2681	25,0	2798	27,3		
2,4795	29	1535	7,79	1719	9,93	1885	12,2	2045	14,7	2194	17,2	2334	19,7	2469	22,2	2594	24,7	2717	27,3	2830	29,8		

Los valores indicados se refieren a ventiladores con conductos de entrada y salida. La potencia indicada no incluye las pérdidas en la transmisión.
* PE en mmca.

* **Compuertas de salida:** Montadas en la salida del ventilador para añadir resistencia al sistema cuando se encuentran parcialmente cerradas. Pueden ser de aletas paralelas u opuestas. La elección depende del grado de regulación deseado (las compuertas de aletas opuestas regulan el caudal con mejor precisión en todo el margen de trabajo, desde completamente abiertas hasta cerradas).

* **Compuertas de entrada:** Montadas en la entrada al ventilador para comunicar una rotación al aire que entra en el rodete. La rotación del aire disminuye la capacidad del ventilador y la potencia consumida. Si un ventilador debe trabajar durante largos períodos de tiempo a una capacidad reducida se debe considerar la conveniencia de instalar compuertas de entrada debido al ahorro de energía.

6.3.2 Tablas de características: El tamaño, la velocidad de giro y la potencia consumida por un ventilador generalmente se obtienen a partir de tablas de características en las que los datos de entrada son el caudal y la presión requeridas por el sistema. Las tablas se basan en la Presión Total del Ventilador (PTV) o en la Presión Estática del Ventilador (PEV):

$$PTV = (PE_{salida} + PD_{salida}) - (PE_{entrada} + PD_{entrada}) \quad [6.2]$$

$$PEV = PE_{salida} - PE_{entrada} - PD_{entrada} \quad [6.3]$$

Las tablas de características están definidas para aire en condiciones standard (1,2 kg/m³). Si las condiciones reales son diferentes a las standard, la presión necesaria debe ser convertida a condiciones standard. Ver la sección 6.3.8. Selección para densidades de aire diferentes a la standard.

La forma más usual de tabla es la tabla de múltiple

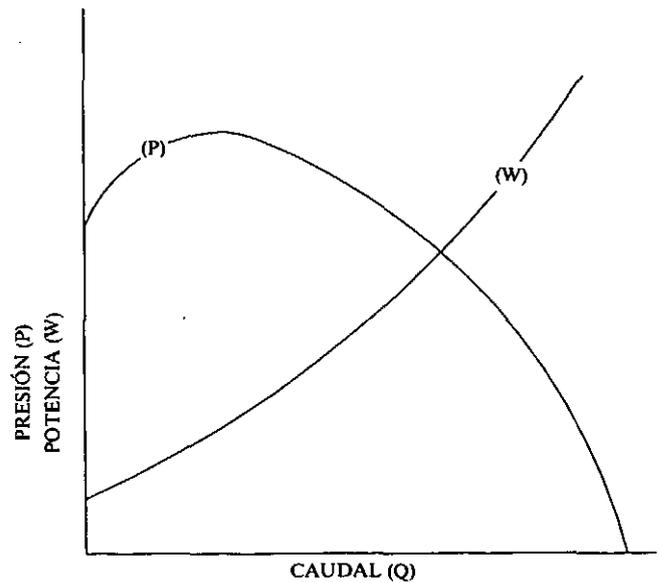


FIGURA 6-7 CURVAS CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE UN VENTILADOR

entrada (ver la Tabla 6-1) en la que se indican las prestaciones de un ventilador de un tamaño determinado. Para una presión dada, el mayor rendimiento mecánico generalmente se encuentra en el tercio medio de la columna de caudales. Algunos fabricantes indican el margen de rendimiento máximo por un subrayado u otro método similar de marcaje. Si no hay esta indicación el proyectista puede calcular el rendimiento con la ecuación:

$$\eta = \frac{Q \times PTV}{FC \times W} = \frac{Q \times (PEV + PD_{salida})}{FC \times W} \quad [6.4]$$

donde:

η = rendimiento mecánico
 Q = caudal, m^3/s
 PTV = presión total del ventilador, mmca
 PEV = presión estática del ventilador, mmca
 W = potencia consumida, CV
 FC = factor de conversión, 75

Incluso en las tablas de múltiple entrada generalmente es necesario interpolar para obtener los valores de velocidad y potencia consumida para las condiciones requeridas. En muchos casos se precisa una interpolación doble. La interpolación lineal entre los valores indicados en las tablas sólo introduce errores insignificantes.

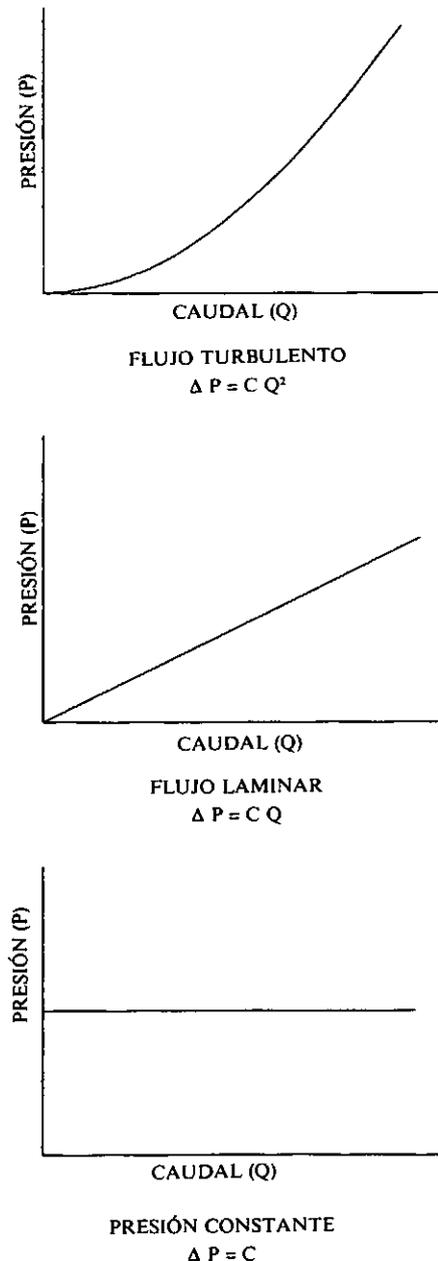


FIGURA 6-8 CURVAS DEL SISTEMA

Algunos tipos de ventiladores se ofrecen en varios tipos de construcción, identificados como clases desde la I hasta la IV por la Air Moving and Conditioning Association (6.1). Un ventilador que se define como perteneciente a una clase debe ser capaz de funcionar en cualquier punto dentro de los límites de operación de su clase. Los límites de operación para cada clase se definen en términos de velocidad de salida y presión estática. Las tablas de múltiple entrada generalmente se somborean para indicar las zonas de cada clase o bien se fija la velocidad de giro máxima admisible. Este dato es útil para seleccionar un equipo, pero la definición de cada clase está basada únicamente en características de funcionamiento y no indica nada respecto a calidad de la construcción.

Las tablas de características que intentan mostrar en una sola hoja un conjunto de ventiladores homólogos no tienen precisión suficiente para permitir la elección de un ventilador, a menos que se dé la casualidad de que el punto de funcionamiento deseado se encuentre listado. La interpolación es prácticamente imposible, ya que en este tipo de tablas generalmente sólo se indica un punto de la curva para cada velocidad de giro.

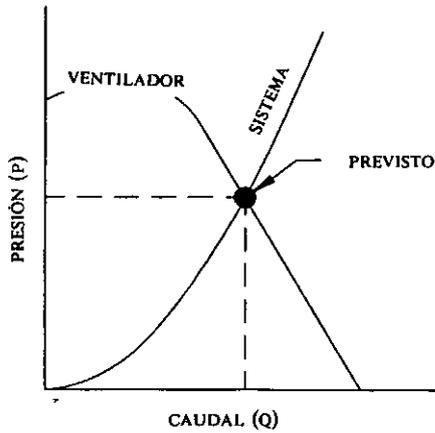
6.3.3 Punto de operación: Generalmente un ventilador se selecciona para trabajar en unas condiciones bien definidas o "Punto de Operación". Tanto el ventilador como el sistema tienen unas características de funcionamiento variables que pueden ser representadas gráficamente por una curva que indica el conjunto de posibles puntos de operación. El "Punto de operación" real será el punto de intersección de la curva del sistema y de la curva del ventilador.

Curvas características del ventilador: Algunas de las variables de operación de un ventilador se pueden representar gráficamente en función del caudal. La Figura 6-7 es una representación típica en la que la presión (P) y el consumo de potencia (W) se han representado frente al caudal (Q). También se pueden representar otras variables y en la Figura 6-4 se muestran curvas más detalladas para varios tipos de ventiladores. La presión puede ser tanto la Presión Total del Ventilador (PTV) como la Presión Estática del Ventilador (PEV). El que sea una u otra depende del fabricante.

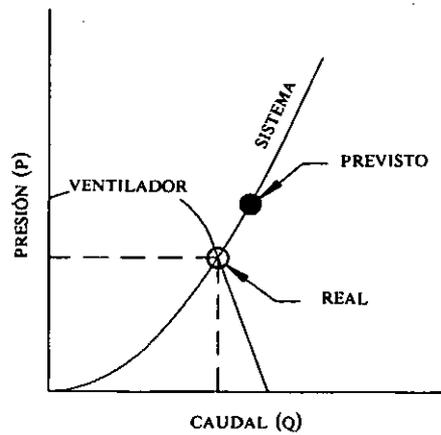
Debe hacerse notar que una curva característica de un ventilador es específica de un ventilador de un tamaño dado a una velocidad de giro dada. Incluso con el tamaño y la velocidad de giro fijadas, es obvio que la presión y la potencia consumida por un ventilador variarán en función del caudal de aire vehiculado.

Curvas del sistema: La presión en un sistema de conductos también varía con el caudal. En la Figura 6-8 se ilustra la variación de la presión (P) con el caudal (Q) en tres situaciones diferentes. La condición de flujo turbulento es típica de las pérdidas de carga en los sistemas de conductos y es la más usual. En este caso la pérdida de presión es proporcional al cuadrado del caudal.

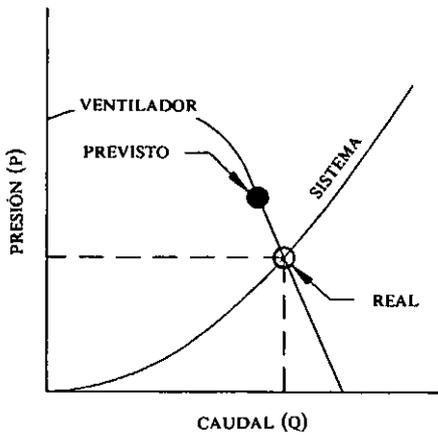
La condición de flujo laminar es típica del flujo a través de medios filtrantes. Algunos depuradores húmedos están diseñados para trabajar con una pérdida de presión casi



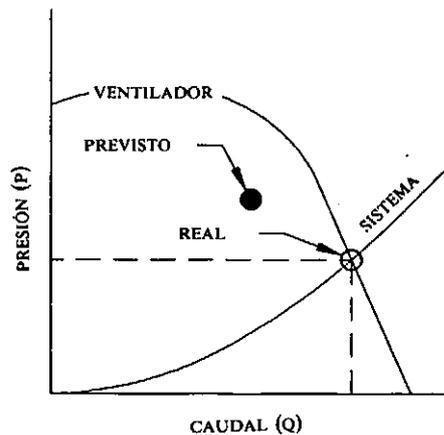
A. AJUSTE ENTRE VENTILADOR Y SISTEMA



B. ERROR EN EL VENTILADOR



C. ERROR EN EL SISTEMA



D. ERROR EN EL VENTILADOR Y EN EL SISTEMA
STEMA

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

PUNTOS DE OPERACIÓN REALES
FRENTE A PREVISTOS

FECHA 1-88

FIGURA 6-9

constante. La curva global del sistema será la resultante de los efectos combinados de cada componente individual.

6.3.4 Ajuste de las prestaciones del ventilador y de las necesidades del sistema: El punto de funcionamiento previsto en el resultado del proceso de diseño de un sistema de conductos y de la elección de un ventilador. Fijemos la atención en las curvas características del sistema y del ventilador por separado, el punto de operación previsto no tiene ninguna particularidad especial que lo distinga del resto de puntos de una curva característica. En la Figura 6-9 se muestran los cuatro resultados que pueden darse después de un proceso de diseño de sistema y elección de ventilador.

Hay un buen número de razones por las cuales el proceso de diseño del sistema, elección del ventilador, fabricación e instalación puede dar como resultado un punto de operación distinto al de diseño. Cuando esto ocurre es preciso modificar el sistema físicamente, lo cual modificará su curva característica, y/o provocar un cambio en la curva característica del ventilador. Ya que la característica del ventilador no es única para un ventilador, sino específica de una velocidad de giro, un cambio en la velocidad de giro puede ser implementado fácilmente si se ha dispuesto una transmisión por correas. Las "Leyes de los ventiladores" son útiles cuando se precisa modificar la característica del ventilador.

6.3.5 Leyes de los ventiladores: Estas reglas se refieren a la variación de las prestaciones de ventiladores pertenecientes a una serie homóloga. Una serie homóloga incluye ventiladores de diferentes tamaños en los que todas las dimensiones son proporcionales. Las variables incluidas son el tamaño del ventilador (D), la velocidad de giro (RPM), la densidad del gas (d), el caudal (Q), la presión (P), la potencia consumida (W) y el rendimiento (η). La presión (P) puede

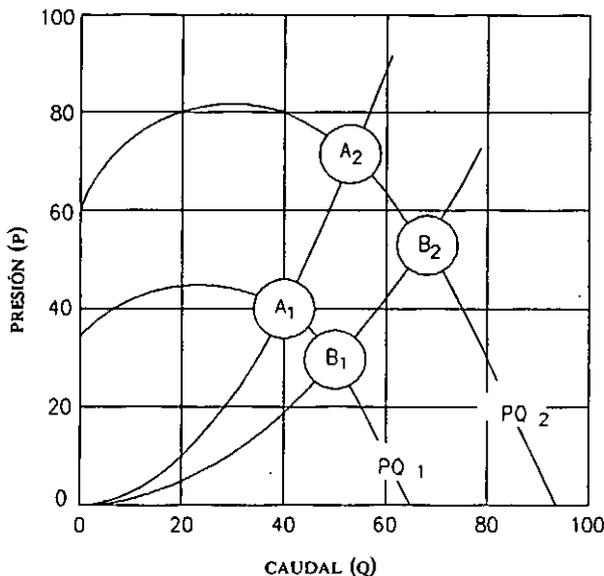


FIGURA 6-10 CURVAS CARACTERÍSTICAS HOMÓLOGAS

ser la Presión Total (PT), la Presión Estática (PE), la Presión Dinámica (PD), la Presión Total del Ventilador (PTV) o la Presión Estática del Ventilador (PEV).

En el mismo punto de operación relativo de dos ventiladores de una misma serie homóloga, el rendimiento será el mismo. Las leyes de los ventiladores son expresiones matemáticas de este hecho y establecen la interdependencia de las demás variables. Con ellas se puede predecir el efecto de un cambio de tamaño, de la velocidad de giro o de la densidad del gas en el caudal, la presión o la potencia necesaria. Son las siguientes:

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 \left(\frac{RPM_2}{RPM_1} \right) \quad [6.5]$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \left(\frac{RPM_2}{RPM_1} \right)^2 \left(\frac{d_2}{d_1} \right) \quad [6.6]$$

$$W_2 = W_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5 \left(\frac{RPM_2}{RPM_1} \right)^3 \left(\frac{d_2}{d_1} \right) \quad [6.7]$$

En todas las ecuaciones se utilizan relaciones entre variables por lo que se puede utilizar cualquier sistema de unidades siempre que sea un sistema coherente. El tamaño puede estar representado por cualquier dimensión lineal, ya que todas ellas son proporcionales a una serie homóloga.

6.3.6 Efecto del cambio de la velocidad de giro o de la densidad del gas: En la práctica, estas leyes se aplican para determinar el efecto de una sola variable. Frecuentemente las leyes de los ventiladores se aplican a un ventilador de un tamaño dado y se pueden expresar con las relaciones simplificadas siguientes:

* Cambio de la velocidad de giro: El caudal es proporcional a la velocidad de rotación; la presión es proporcional al cuadrado de la velocidad de rotación; y la potencia es proporcional al cubo de la velocidad de rotación:

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{RPM_2}{RPM_1} \right) \quad [6.8]$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{RPM_2}{RPM_1} \right)^2 \quad [6.9]$$

$$W_2 = W_1 \left(\frac{RPM_2}{RPM_1} \right)^3 \quad [6.10]$$

* Cambio de la densidad del gas: El caudal no varía al variar la densidad; la presión y la potencia son proporcionales a la densidad:

$$Q_2 = Q_1 \quad [6.11]$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{d_2}{d_1} \right) \quad [6.12]$$

$$W_2 = W_1 \left(\frac{d_2}{d_1} \right) \quad [6.13]$$

6.3.7 Limitaciones en el uso de las leyes de los ventiladores: Estas leyes están basadas en el hecho de que las curvas de rendimiento son homólogas y los cocientes son entre valores de los mismos puntos de funcionamiento relativo de cada curva. Hay que tener cuidado en aplicar las leyes de los ventiladores entre los mismos puntos de funcionamiento relativo.

La Figura 6-10 muestra una representación típica de dos curvas características homólogas, PQ_1 y PQ_2 . Pueden ser las curvas características a dos velocidades diferentes, RPM_1 y RPM_2 . Suponiendo un punto de funcionamiento indicado como A_1 en PQ_1 , sólo existe un punto en PQ_2 que sea el mismo punto relativo de funcionamiento, que es A_2 . Los puntos A_1 y A_2 están relacionados por la expresión:

$$P_{A_2} = P_{A_1} \left(\frac{Q_{A_2}}{Q_{A_1}} \right)^2 \quad [6.14]$$

Esta ecuación se puede utilizar para identificar cualquier otro punto que será el mismo punto de funcionamiento relativo que los puntos A_1 y A_2 . La línea que pasa por A_1 , A_2 y el origen es el lugar geométrico de todos los puntos con el mismo funcionamiento relativo. Estas líneas a menudo se llaman "líneas del sistema" o "curvas del sistema". Como se indicó en la sección 6.3.3, existen excepciones a la regla de que en un sistema de ventilación la presión sea proporcional al cuadrado del caudal. Las líneas que representan los puntos con un mismo funcionamiento relativo, sólo son "líneas del sistema" o "curvas del sistema" si el flujo es turbulento.

Cuando el flujo es turbulento hay que tener presente que la curva del sistema o línea de puntos con un mismo funcionamiento relativo representa un sistema físicamente definido y constante. Por ejemplo, la línea del sistema que pasa por B_1 y B_2 define un sistema que tiene menos resistencia

al flujo de aire que la línea del sistema definida por los puntos A_1 , A_2 .

Hay que tener un cuidado especial al aplicar las leyes de los ventiladores a los casos siguientes:

1. Cuando a cualquier elemento del sistema no le es aplicable la regla "presión proporcional al cuadrado del caudal".
2. Cuando el sistema ha sido alterado físicamente o bien por cualquier otra causa trabaja siguiendo una curva diferente.

6.3.8 Selección del ventilador para densidades diferentes a la standard: Como se ha expuesto en la sección 6.3.6, el rendimiento de un ventilador queda afectado por los cambios en la densidad del aire. Las variaciones de densidad debidas a los cambios normales en la presión atmosférica, temperatura y humedad son pequeñas y no es preciso tenerlas en cuenta. Se deben aplicar correcciones cuando la temperatura, humedad, elevación, presión, composición del gas o cualquier combinación de estas causas provoque un cambio de la densidad en más de un 5% con respecto a la densidad standard de $1,2 \text{ kg/m}^3$.

Las tablas o curvas de características publicadas por los fabricantes están basadas en aire standard. Las magnitudes se refieren siempre a las condiciones existentes en la entrada al ventilador. Las características de los ventiladores son tales que el caudal (Q) no queda afectado por cambios en la densidad, pero la presión (P) y la potencia consumida (W) son proporcionales a la densidad. Por lo tanto, en el proceso de selección es preciso tomar como datos para entrar en las tablas de características el caudal real en las condiciones existentes en la entrada del ventilador pero con la presión corregida o presión equivalente.

La presión equivalente es la presión correspondiente a la densidad standard y se determina con la ecuación 6.12:

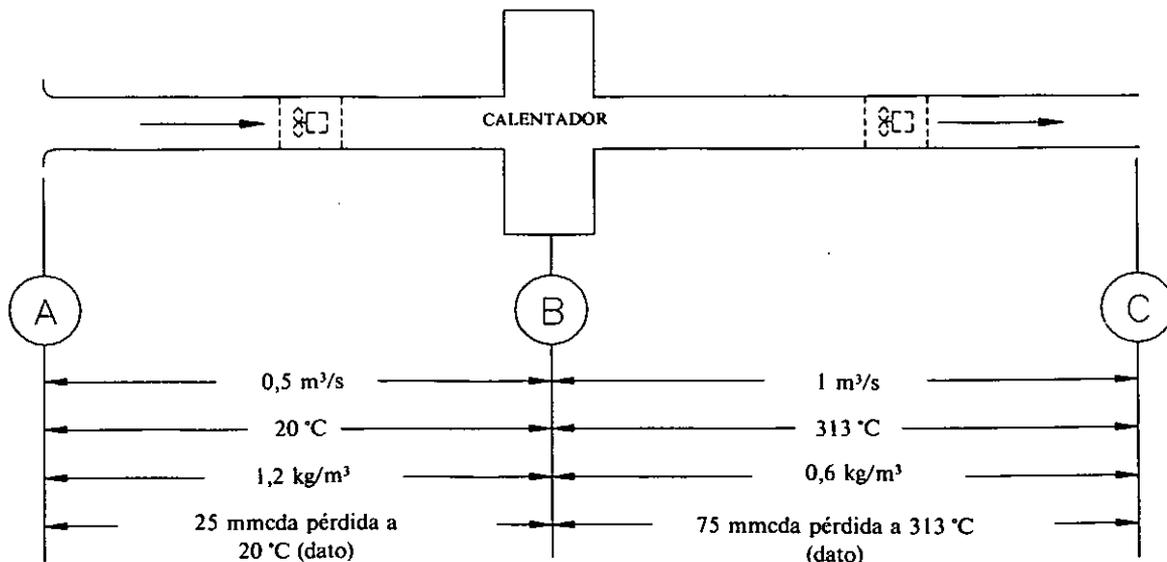
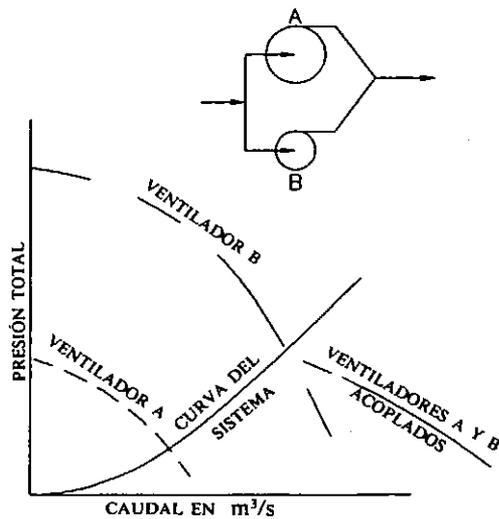
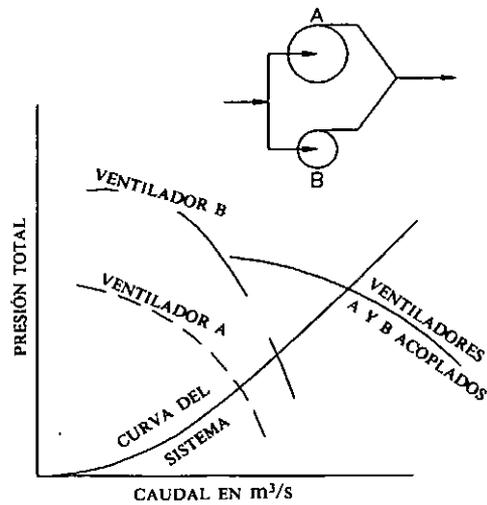
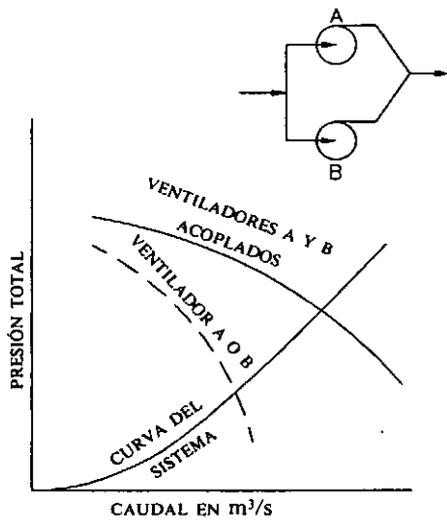


FIGURA 6-11 CALENTADOR EN UN CONDUCTO



NOTAS:

1. CÁLCULO DE LA CURVA PARA LOS VENTILADORES ACOPLADOS. EL CAUDAL DEL CONJUNTO (Q), ES LA SUMA DE LOS CAUDALES INDIVIDUALES DE CADA VENTILADOR EN PUNTOS DE IGUAL PRESIÓN.
2. AL CALCULAR LA CURVA DEL SISTEMA HAY QUE INCLUIR LAS PÉRDIDAS EN LAS CONEXIONES INDIVIDUALES A CADA VENTILADOR.
3. LA CURVA DEL SISTEMA DEBE CORTAR A LA CURVA DEL CONJUNTO EN CASO CONTRARIO EL VENTILADOR DE MAYOR PRESIÓN, TRABAJANDO SÓLO, DARÍA UN CAUDAL MAYOR.

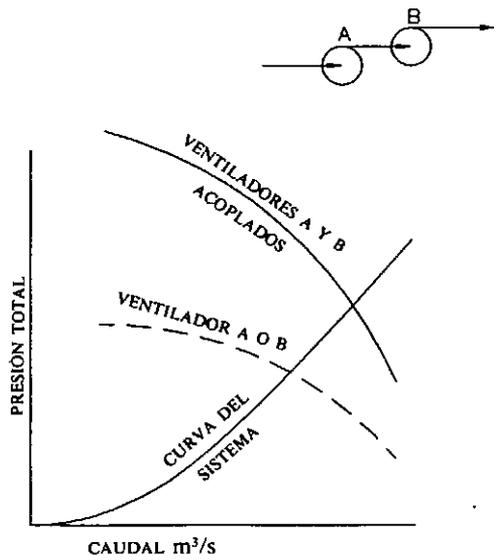
CUANDO LA CURVA DEL SISTEMA NO CORTA A LA CURVA DEL CONJUNTO, O CORTA A LA PROLONGACIÓN DE ESTA CURVA ANTES QUE A LA DEL VENTILADOR B, EL VENTILADOR B DARÁ UN CAUDAL MAYOR QUE EL ACOPLAMIENTO DE A Y B EN PARALELO.

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

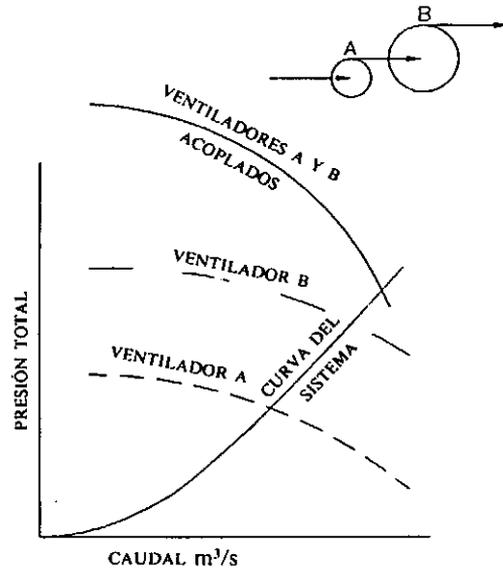
ACOPLAMIENTO DE VENTILADORES
EN PARALELO

FECHA 1-88

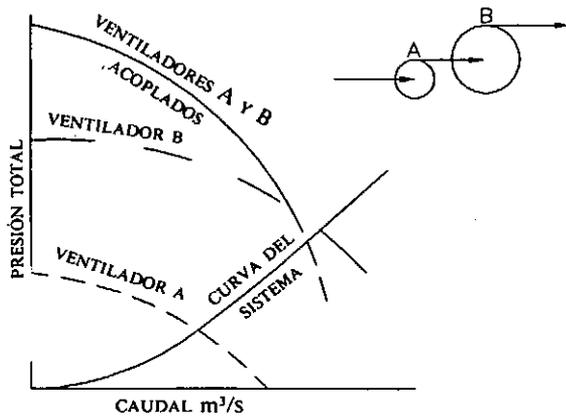
FIGURA 6-12



DOS VENTILADORES IGUALES
RECOMENDADO POR SU MEJOR RENDIMIENTO



DOS VENTILADORES DIFERENTES
ACOPLAMIENTO ADECUADO



DOS VENTILADORES DIFERENTES
ACOPLAMIENTO NO ADECUADO

NOTAS:

1. CÁLCULO DE LA CURVA DEL ACOPLAMIENTO. LA PRESIÓN TOTAL DEL CONJUNTO ES LA SUMA DE LAS PRESIONES INDIVIDUALES A IGUALDAD DE CAUDAL MENOS LA PÉRDIDA DE CARGA EN LA CONEXIÓN ENTRE VENTILADORES.
2. EL CAUDAL EN AMBOS VENTILADORES SERÁ EL MISMO YA QUE SE CONSIDERA AL AIRE COMO INCOMPRESIBLE.
3. LA CURVA DEL SISTEMA DEBE CORTAR A LA CURVA DEL CONJUNTO, EN CASO CONTRARIO EL VENTILADOR DE MAYOR CAUDAL DARÍA, TRABAJANDO SÓLO, UN CAUDAL MAYOR QUE EL CONJUNTO.

CUANDO LA CURVA DEL SISTEMA NO CORTA A LA CURVA DEL CONJUNTO, O CORTA A SU PROLONGACIÓN ANTES DE CORTAR A LA CURVA DEL VENTILADOR B, ESTE VENTILADOR DA UN CAUDAL SUPERIOR QUE EL ACOPLAMIENTO DE A Y B EN SERIE.

$$P_e = P_r \left(\frac{1,2}{d_r} \right)$$

siendo:

- P_e = presión equivalente
- P_r = presión real
- d_r = densidad real, kg/m^3

Las presiones (P_e y P_r) pueden ser tanto la Presión Estática del Ventilador como la Presión Total del Ventilador según sea la variable utilizada por el fabricante del ventilador.

El ventilador seleccionado siguiendo este proceso tiene que operar a la velocidad indicada en la tabla de características y el caudal real será el indicado en la tabla. Sin embargo, la presión desarrollada por el ventilador no será la indicada en la tabla, sino el valor real deseado. De forma similar, la potencia necesaria no será la indicada en la tabla, ya que también varía proporcionalmente a la densidad. El consumo real de potencia se puede determinar a partir de la ecuación 6.13:

$$W_r = W_t \left(\frac{d_r}{1,2} \right)$$

siendo:

- W_r = consumo real de potencia
- W_t = consumo de potencia indicado en la tabla
- d_r = densidad real, kg/m^3

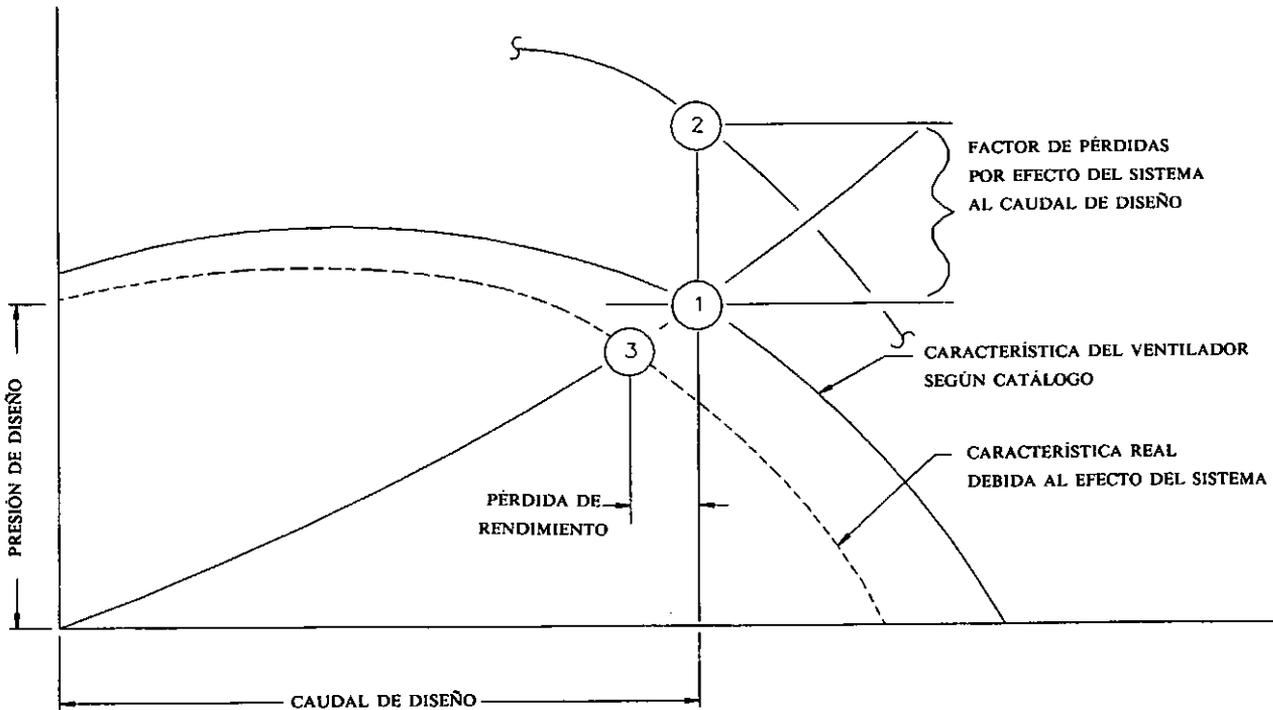


FIGURA 6-14 FACTOR POR EFECTO DEL SISTEMA

Para la selección de un ventilador que trabajará con aire de densidad no standard se precisa conocer el caudal real en la entrada del ventilador, la presión real (PTV o PEV, en función de la tabla de características disponible) y la densidad del gas en la entrada al ventilador. Para la determinación de estas variables es necesario tener en cuenta en el proceso de diseño del sistema el efecto de la densidad del aire como se indicó en el Capítulo 5.

EJEMPLO

Sea el sistema mostrado en la Figura 6-11 en el que un calentador provoca un cambio en el caudal y en la densidad. Para simplificar, supondremos que el calentador no tiene resistencia al paso del aire y que la suma de pérdidas de carga es igual a la PEV. Utilizando la tabla de características mostrada en la Tabla 6-1, seleccionar la velocidad de rotación y determinar el consumo de potencia para dos posiciones del ventilador, antes y después del calentador.

Posición 1: Ventilador situado aguas arriba del calentador (tramo A-B de la Figura 6-11).

Etapa 1. Cálculo de la PEV real

$$PEV_r = 25 \text{ mmcd} + 75 \text{ mmcd} = 100 \text{ mmcd} \text{ a } 1,2 \text{ kg/m}^3$$

Etapa 2a. La densidad en la entrada al ventilador es la standard. Por lo tanto, se entra en la tabla de características con el caudal real en la entrada al ventilador, $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, y una PEV de 100 mmcd.

b. Por interpolación en la Tabla 6-1 se obtiene:

RPM = 1182 rpm
 W = 1,32 CV

Etapa 3. El ventilador debe operar a 1182 rpm y el consumo real de potencia será de 1,32 CV.

Posición 2: Ventilador situado aguas abajo del calentador (tramo B-C de la Figura 6-11).

Etapa 1. Cálculo de la PEV real

$$PEV_r = 25 \text{ mmcda} + 75 \text{ mmcda} = 100 \text{ mmcda a } 0,6 \text{ kg/m}^3$$

Etapa 2a. La densidad en la entrada al ventilador no es la standard y debe hacerse una corrección (se aplica la ecuación 6.12) para calcular la PEV equivalente.

$$PEV_c = PEV_r \left(\frac{1,2}{d_r} \right) = 100 \left(\frac{1,2}{0,6} \right) = 200 \text{ mmcda}$$

En la tabla de características hay que entrar con el caudal real en la entrada al ventilador, 1 m³/s, y la PEV equivalente, 200 mmcda.

b. Interpolando en la tabla 6.1 se obtiene:

RPM = 1692 rpm
 W = 4,39 CV

Etapa 3a. El ventilador debe funcionar a 1692 rpm, pero el consumo de potencia estará afectado por la densidad y debe calcularse con la ecuación 6.13

$$W_r = W_t \left(\frac{d_r}{1,2} \right) = 4,39 \left(\frac{0,6}{1,2} \right) = 2,2 \text{ CV}$$

b. Hay que hacer notar que una medición de la PEV dará el resultado de 100 mmcda (valor real) y no el equivalente de 200 mmcda.

Nótese que independientemente de la posición del ventilador el caudal másico vehiculado es el mismo. Además la resistencia al paso del aire no queda afectada por la posición del ventilador. Puede parecer que existe un error debido a la diferencia en los consumos de potencia, 1,32 y 2,2 CV, según la posición. De hecho el ventilador debe trabajar más cuando la densidad es menor para mover la misma masa de aire. Este trabajo adicional se transforma en un incremento superior de la temperatura del aire a su paso por el ventilador.

6.3.9 Materiales inflamables explosivos: Cuando se vehiculan materiales explosivos o inflamables es importante reconocer los posibles focos de ignición en la corriente gaseosa. Pueden ser el impacto de partículas sobre las palas o el movimiento de la hélice en el interior de la carcasa. AMCA (6.1) y otras asociaciones han editado recomendaciones tanto para fabricantes como para usuarios sobre los procedimientos para minimizar estos riesgos. Éstos incluyen una unión más rígida de la hélice al eje y rodamientos y el uso de construcciones con aleaciones antichispa. Debido a que ningún tipo de construcción cumple los requisitos para todas las aplicaciones, es obligado que el constructor y el usuario estén al corriente de los riesgos existentes y lleguen a un acuerdo sobre el tipo de construcción y el nivel de protección que se desea.

NOTA: Durante muchos años se han especificado hélices construidas con aleaciones de aluminio para minimizar la generación de chispas en el caso de que la hélice impactara contra elementos de acero. Todavía se acepta este principio, pero unos recientes ensayos del U.S. Bureau of Mines (6.2) y otros han demostrado que el impacto de aluminio contra acero oxidado origina una reacción de tipo "Thermite" y en consecuencia un riesgo de ignición. Hay que adoptar precauciones especiales cuando se emplea aluminio en presencia de acero.

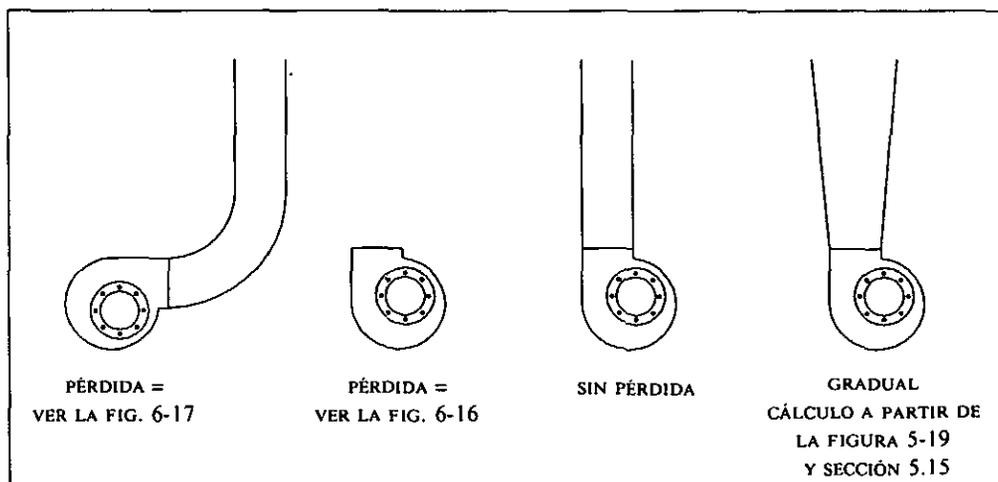


FIGURA 6-15 CONDICIONES EN LA SALIDA DEL VENTILADOR

6.4 INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS VENTILADORES

Los ensayos para determinar el caudal, la presión y el consumo de potencia de un ventilador se realizan en condiciones ideales entre las que se incluyen un flujo uniforme y rectilíneo en la entrada y salida del ventilador. Sin embargo, si en la práctica las conexiones de los conductos al ventilador originan un flujo no uniforme, las características y el rendimiento del ventilador se verán afectadas. La situación y la instalación del ventilador debe hacerse teniendo en cuenta estos elementos del conducto para minimizar las pérdidas. Si se deben utilizar conexiones desfavorables, hay que corregir los cálculos adecuadamente. Una vez que el sistema ha sido construido y se encuentra en operación, es necesario practicar inspecciones y mantenimientos rutinarios para conseguir que funcione permanentemente en las condiciones del diseño original.

6.4.1 Efectos del sistema: Los efectos del sistema se definen como la estimación de las pérdidas de rendimiento del ventilador debidas al flujo no uniforme del aire. En la Figura 6-14 se ilustra la pérdida de rendimiento del ventilador en un sistema. Las pérdidas de carga del sistema se han determinado con precisión y se ha seleccionado un ventilador adecuado para trabajar en el Punto 1. Sin embargo, no se ha previsto el efecto de la conexión del ventilador al sistema. El punto de intersección de la curva efectiva de funcionamiento del ventilador y la curva del sistema es el punto 3. El caudal resultante será por lo tanto deficiente en la diferencia entre los puntos 1 y 3. Para compensar este efecto del sistema, es necesario añadir un "factor de efecto del sistema" a la presión calculada. Éste será igual a la diferencia de presiones entre los puntos 1 y 2 y debe añadirse a las pérdidas de carga calculadas para el sistema. El ventilador se seleccionará para trabajar en este punto de mayor presión (punto 2) pero funcionará en el punto 1 debido a la pérdida de rendimiento que ocasiona la conexión al sistema.

En la Figura 6-15 se ilustran unas condiciones típicas de descarga y las pérdidas que pueden esperarse. La magnitud del cambio en el rendimiento ocasionada por codos u otras obstrucciones situadas muy cerca de la entrada o salida de un ventilador se pueden estimar para los casos indicados en las Figuras 6-16 a 6-21 con la ecuación:

$$\text{Incremento de la presión estática del sistema} = \text{Factor de efecto del sistema} \times \text{PD}$$

Unas condiciones de flujo no uniforme como las indicadas en la Figura 6-20 pueden ocasionar un torbellino en la corriente de aire que entra en un ventilador. Estas situaciones se pueden originar por un mal diseño de la caja de entrada al ventilador, codos o conductos múltiples cerca de la entrada o por muchas causas. Puesto que los orígenes de torbellinos en la entrada son muy variados no existen tablas que indiquen los Factores de efecto del sistema. En los casos en que no se pueda evitar un vórtice o torbellino en la entrada, o se descubra su existencia en una instalación ya construida, el uso de aletas-guía, láminas de división del flujo o enderezadores reducirá el efecto.

6.4.2 Inspección y mantenimiento: El uso habitual y/o la acumulación de materiales sobre las palas de un rodete puede ocasionar el debilitamiento de su estructura y/o vibraciones importantes. Si la vibración es muy intensa, el daño puede alcanzar también a los rodamientos y a la propia estructura del ventilador.

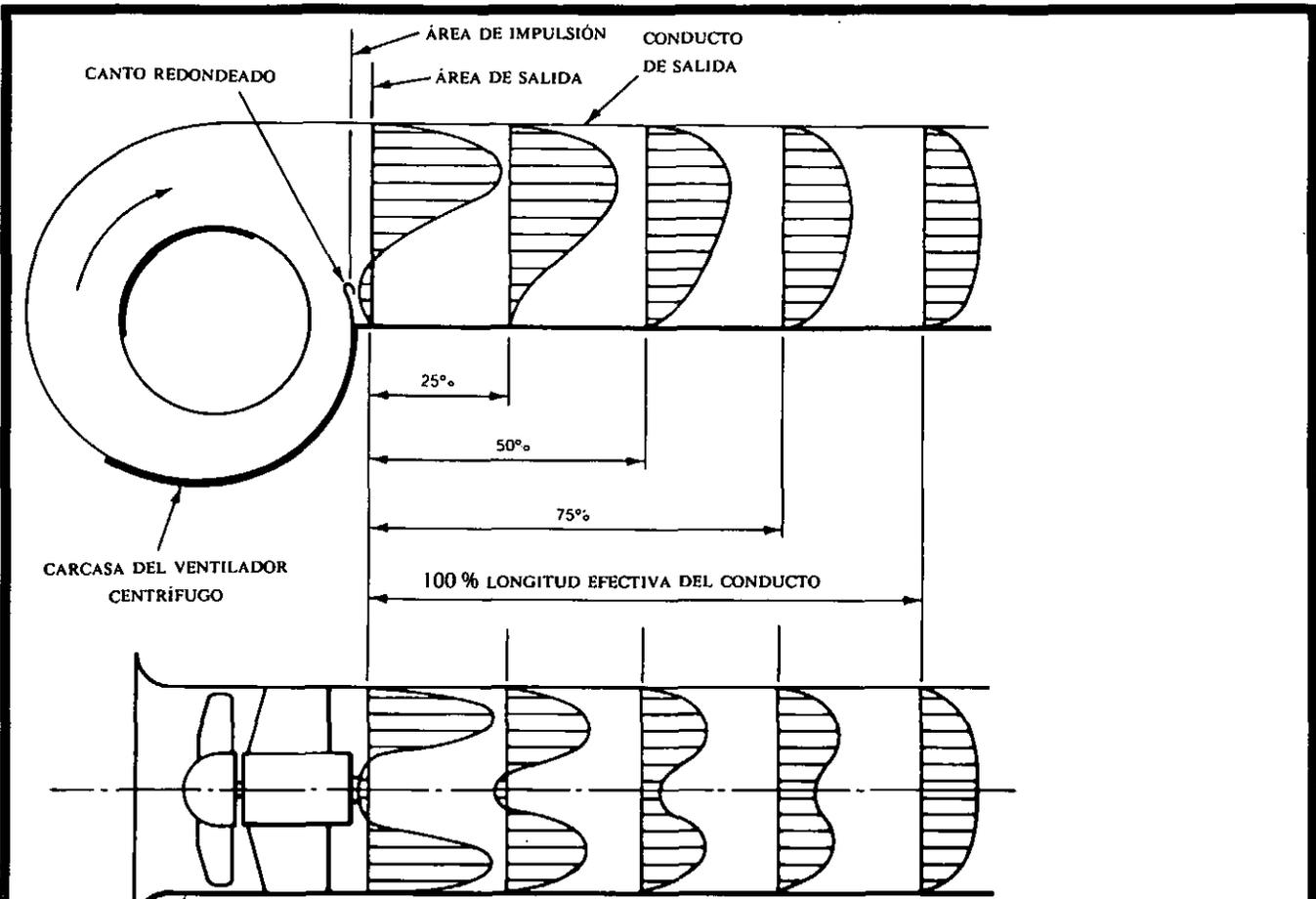
El sentido de giro de un ventilador puede cambiarse de forma inadvertida, al realizar reparaciones, por modificación de los conexiones eléctricos. Un ventilador centrífugo girando en sentido contrario vehicula una fracción de su caudal nominal, y por lo tanto la inversión del sentido de giro sólo se manifiesta en forma de pérdida de caudal en el sistema de extracción localizada.

Se recomienda una inspección rutinaria de los ventiladores. Los aspectos a controlar deben ser, entre otros:

1. Temperatura de los rodamientos (el engrase debe estar programado).
2. Vibración de la carcasa y rodamientos.
3. Tensión y desgaste de las correas.
4. Alineamiento de los acopladores.
5. Alineamiento y sentido de giro del rodete.
6. Desgaste y acumulaciones de material sobre las palas.

REFERENCIAS

- 6.1. Air Movement and Control Association, Inc.: 30 W. University Dr., Arlington Heights, IL 60004.
- 6.2. N. Gibson, F. C. Lloyd y G. R. Perry: *Fire Hazards in Chemical Plants from Friction Sparks Involving the Thermite Reaction*. Symposium Series No. 25. Inst. Chem. Engrs., London (1968).
- 6.3. Air Movement and Control Association, Inc.: *Bulletin 201*. 30 W. University Dr., Arlington Heights, IL 60004.



PARA CALCULAR EL 100 % DE LA LONGITUD EFECTIVA DEL CONDUCTO SUPONER UN MÍNIMO DE 2,5 DIÁMETROS PARA VELOCIDADES INFERIORES A 12,5 m/s Y AÑADIR 1 DIÁMETRO POR CADA 5 m/s ADICIONALES
 EJEMPLO: 25 m/s = 5 DIÁMETROS EQUIVALENTES

SI EL CONDUCTO ES RECTANGULAR CON DIMENSIONES DE LOS LADOS a y b,
 EL DIÁMETRO EQUIVALENTE VIENE DADO POR

$$\sqrt{\frac{4 a b}{\pi}}$$

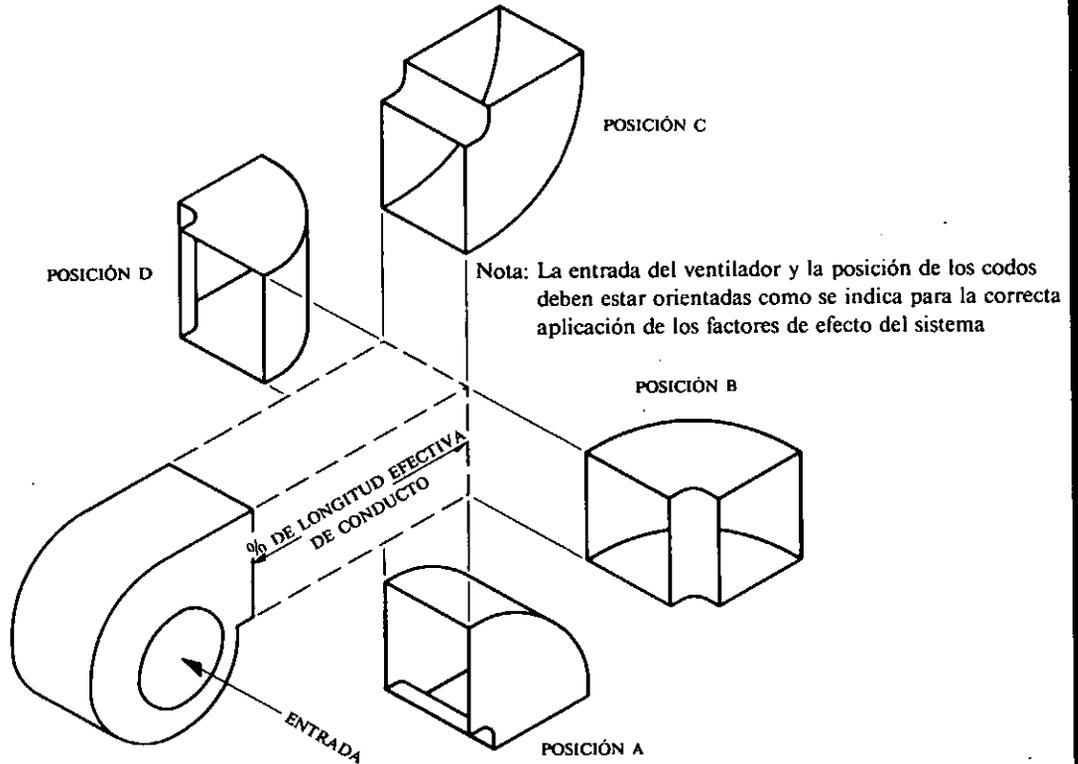
	Sin Conducto	12 % Conducto Efectivo	25 % Conducto Efectivo	50 % Conducto Efectivo	100 % Conducto Efectivo
Recuperación de presión	0%	50%	80%	90%	100%
Área de impulsión / Área de salida	FACTOR DE EFECTO DEL SISTEMA				
0,4	2,0	1,0	0,40	0,18	—
0,5	2,0	1,0	0,40	0,18	—
0,6	1,0	0,66	0,33	0,14	—
0,7	0,8	0,40	0,14	—	—
0,8	0,47	0,22	0,10	—	—
0,9	0,22	0,14	—	—	—
1,0	—	—	—	—	—

AMERICAN CONFERENCE
 OF GOVERNMENTAL
 INDUSTRIAL HYGIENISTS

FACTORES DE EFECTO DEL SISTEMA
 PARA CONDUCTOS DE SALIDA
 (adaptado de AMCA 201)

FECHA 1-88

FIGURA 6-16



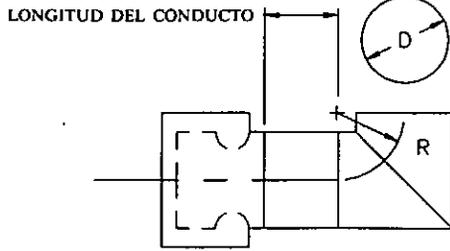
Área de impulsión Área de salida	Posición del codo de salida	Sin conducto de salida	12 % Conducto efectivo	25 % Conducto efectivo	50 % conducto efectivo	100 % conducto efectivo
0,4	A	3,2	2,5	1,8	0,8	SIN FACTOR DE EFECTO DEL SISTEMA
	B	4,6	3,9	2,5	1,2	
	C	5,5	4,6	3,2	1,6	
	D	5,5	4,6	3,2	1,6	
0,5	A	2,0	1,6	1,2	0,53	
	B	2,9	2,3	1,8	0,80	
	C	3,9	2,9	2,3	1,0	
	D	3,9	2,9	2,3	1,0	
0,6	A	1,6	1,4	1,0	0,40	
	B	2,0	1,6	1,2	0,53	
	C	2,9	2,3	1,8	0,80	
	D	2,5	2,0	1,4	0,66	
0,7	A	0,66	0,53	0,40	0,18	
	B	1,0	0,80	0,53	0,26	
	C	1,4	1,2	0,80	0,33	
	D	1,2	1,0	0,66	0,33	
0,8	A	0,8	0,66	0,47	0,22	
	B	1,2	1,0	0,66	0,33	
	C	1,6	1,4	1,0	0,40	
	D	1,4	1,2	0,8	0,33	
0,9	A	0,66	0,53	0,40	0,18	
	B	1,0	0,80	0,53	0,26	
	C	1,2	1,0	0,66	0,33	
	D	1,0	0,80	0,53	0,26	
1,0	A	1,0	0,80	0,53	0,26	
	B	0,66	0,53	0,40	0,18	
	C	1,0	0,80	0,53	0,26	
	D	1,0	0,80	0,53	0,26	

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

FACTORES DE EFECTO DEL SISTEMA
PARA CODOS DE SALIDA
(adaptado de AMCA 201)

FECHA 1-88

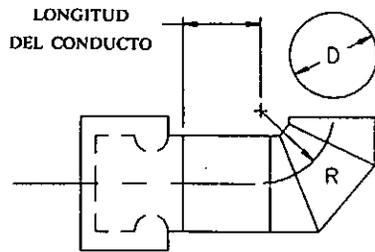
FIGURA 6-17



FACTORES DE EFECTO DEL SISTEMA

R/D	SIN CONDUCTO	CONDUCTO DE 2 D	CONDUCTO DE 5 D
-	3,2	2,0	1,0

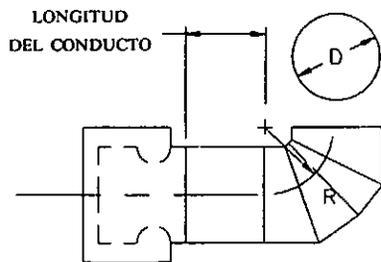
A. CODO DE 90° DE DOS PIEZAS. SECCIÓN CIRCULAR. SIN GUÍAS



FACTORES DE EFECTO DEL SISTEMA

R/D	SIN CONDUCTO	CONDUCTO DE 2 D	CONDUCTO DE 5 D
0,5	2,5	1,6	0,8
0,75	1,6	1,0	0,47
1,0	1,2	0,66	0,33
2,0	1,0	0,53	0,33
3,0	0,8	0,47	0,26

B. CODO DE 90° DE TRES PIEZAS. SECCIÓN CIRCULAR. SIN GUÍAS



FACTORES DE EFECTO DEL SISTEMA

R/D	SIN CONDUCTO	CONDUCTO DE 2 D	CONDUCTO DE 5 D
0,5	1,8	1,0	0,53
0,75	1,4	0,8	0,40
1,0	1,2	0,66	0,33
2,0	1,0	0,53	0,33
3,0	0,66	0,40	0,22

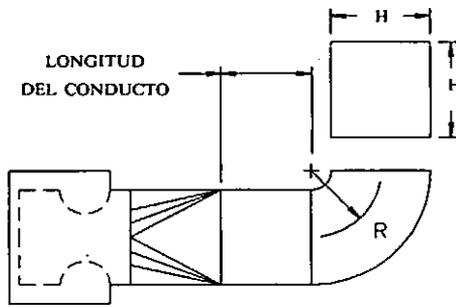
C. CODO DE 90° DE CUATRO O MÁS PIEZAS. SECCIÓN CIRCULAR. SIN GUÍAS

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

FACTORES DE EFECTO DEL SISTEMA
PARA CODOS DE VARIAS SECCIONES
SIN GUÍAS INTERIORES
(adaptado de AMCA 201)

FECHA 1-88

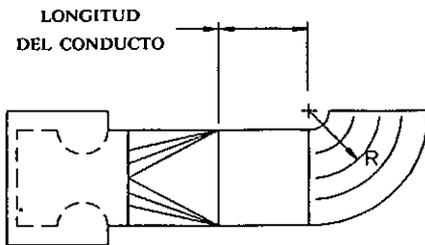
FIGURA 6-18



FACTORES DE EFECTO DEL SISTEMA

R/D	SIN CONDUCTO	CONDUCTO DE 2 D	CONDUCTO DE 5 D
0,5	2,5	1,6	0,8
0,75	2,0	1,2	0,66
1,0	1,2	0,66	0,33
2,0	0,8	0,47	0,26

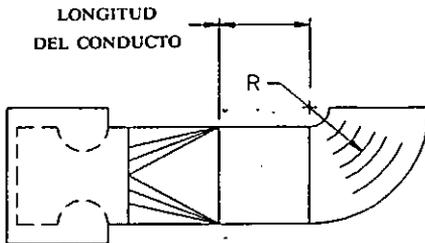
A. CONDUCTO CUADRADO CON PIEZA DE ACOPLAMIENTO – SIN GUÍAS



FACTORES DE EFECTO DEL SISTEMA

R/D	SIN CONDUCTO	CONDUCTO DE 2 D	CONDUCTO DE 5 D
0,5	0,8	0,47	0,26
1,0	0,53	0,33	0,18
2,0	0,26	0,22	0,14

B. CONDUCTO CUADRADO CON PIEZA DE ACOPLAMIENTO – 3 GUÍAS LARGAS



FACTORES DE EFECTO DEL SISTEMA

R/D	SIN CONDUCTO	CONDUCTO DE 2 D	CONDUCTO DE 5 D
0,5	0,8	0,47	0,26
1,0	0,53	0,33	0,18
2,0	0,26	0,22	0,14

C. CONDUCTO CUADRADO CON PIEZA DE ACOPLAMIENTO – GUÍAS CORTAS

$$D = \frac{2H}{\sqrt{\pi}}$$

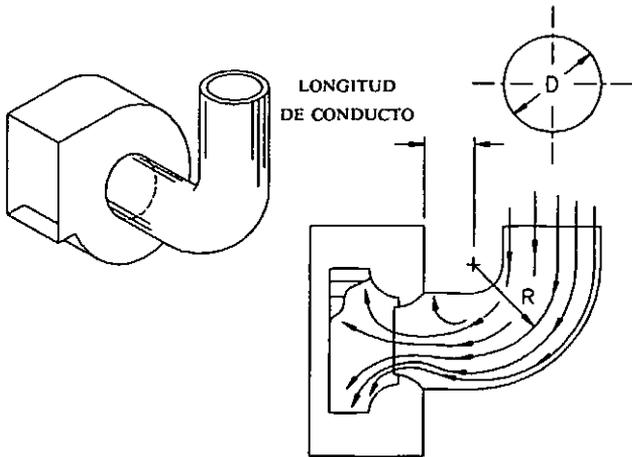
LA SECCIÓN INTERIOR DEL CONDUCTO (H x H) ES IGUAL A LA SECCIÓN INTERIOR DE LA BRIDA DE ENTRADA AL VENTILADOR. EN LA PIEZA DE ACOPLAMIENTO EL ÁNGULO MAYOR PERMISIBLE ES DE 15° PARA LOS ELEMENTOS CONVERGENTES Y DE 7,5° PARA LOS DIVERGENTES

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

**FACTORES DE EFECTO
DEL SISTEMA PARA CODOS**
(adaptado de AMCA 201)

FECHA 1-88

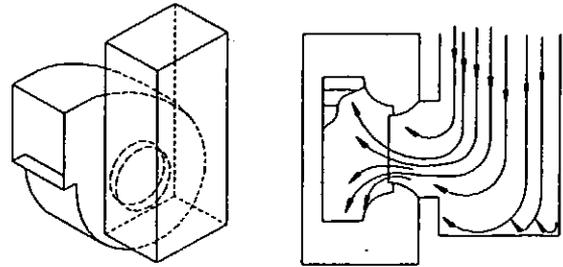
FIGURA 6-19



FACTORES DE EFECTO DEL SISTEMA

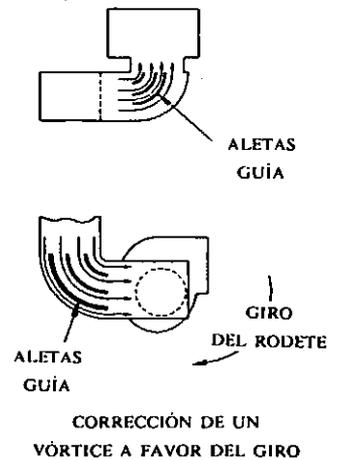
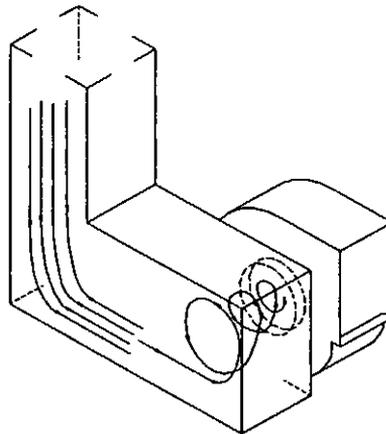
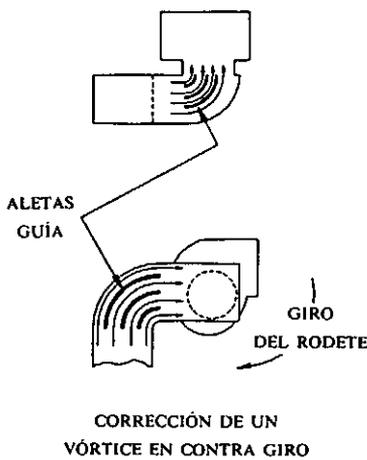
R/D	SIN CONDUCTO	CONDUCTO 2 x D	CONDUCTO 5 x D
0,75	1,4	0,8	0,40
1,0	1,2	0,66	0,33
2,0	1,0	0,53	0,33
3,0	0,66	0,40	0,22

A. FLUJO NO UNIFORME EN LA ENTRADA AL VENTILADOR CON UN CODO DE 90° Y SECCIÓN CIRCULAR - SIN GUÍAS



NO ES POSIBLE TABULAR LA REDUCCIÓN DE CAUDAL Y DE PRESIÓN QUE SE PRODUCE CON ESTAS CONDICIONES EN LA ENTRADA AL VENTILADOR. LAS MÚLTIPLES VARIACIONES QUE SE PUEDEN PRESENTAR EN LA ANCHURA Y PROFUNDIDAD DEL CONDUCTO INFLUYEN EN LA REDUCCIÓN DE PRESTACIONES DE FORMA VARIABLE Y POR TANTO ESTE TIPO DE ENTRADA SE DEBE EVITAR. SE HAN OBSERVADO PÉRDIDAS DE CAUDAL DE HASTA EL 45 %. LAS INSTALACIONES YA CONSTRUIDAS SE PUEDEN MEJORAR COLOCANDO ALETAS DIRECTORAS O MODIFICANDO LA ENTRADA COLOCANDO UN CODO A ESCUADRA CON ALETAS GUÍA.

B. FLUJO NO UNIFORME EN LA ENTRADA AL VENTILADOR INDUCIDO POR UN CONDUCTO RECTANGULAR



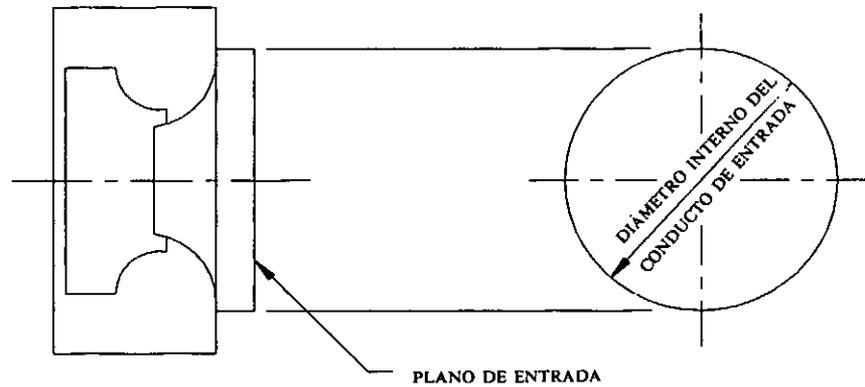
C. FLUJO NO UNIFORME EN LA ENTRADA AL VENTILADOR DEBIDO A UN VÓRTICE O TORBELLINO INDUCIDO

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

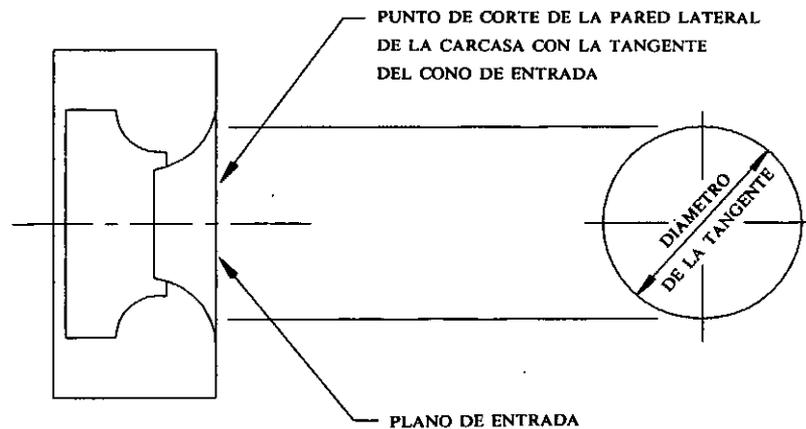
**CORRECCIÓN DE FLUJO
NO UNIFORME EN LA ENTRADA**
(adaptado de AMCA 201)

FECHA 1-88

FIGURA 6-20



A. ÁREA LIBRE DEL PLANO DE ENTRADA – VENTILADOR CON CONDUCTO DE ENTRADA



B. ÁREA LIBRE DEL PLANO DE ENTRADA – VENTILADOR SIN CONDUCTO DE ENTRADA

PORCENTAJE DEL ÁREA DE ENTRADA LIBRE DE OBSTRUCCIONES	FACTOR DE EFECTO DEL SISTEMA
100	SIN PÉRDIDA
95	0,26
90	0,40
85	0,53
75	0,8
50	1,6
25	2,0

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

*FACTOR DE EFECTO DEL SISTEMA
PARA OBSTRUCCIONES EN LA ENTRADA
(adaptado de AMCA 201)*

FECHA 7-89

FIGURA 6-21

Capítulo 7

RENOVACIÓN Y RECIRCULACIÓN DE AIRE

7.1	INTRODUCCIÓN	7-2	7.9	EQUIPOS PARA EL CALENTAMIENTO DEL AIRE DE RENOVACIÓN	7-8
7.2	RENOVACIÓN DE AIRE	7-2	7.10	COSTE DE CALEFACCIÓN DEL AIRE DE RENOVACIÓN	7-16
7.3	CAUDAL DE RENOVACIÓN DE AIRE ..	7-4	7.11	CONSERVACIÓN DEL AIRE	7-16
7.4	CONTROL AMBIENTAL	7-5	7.11.1	Reducción del caudal total	7-18
7.5	CAUDAL DE AIRE PARA CONTROL AMBIENTAL	7-5	7.11.2	Aporte de aire exterior sin calentar ..	7-18
7.6	ÍNDICE DE RENOVACIÓN	7-5	7.11.3	Recuperación de la energía	7-18
7.7	TEMPERATURA DEL AIRE DE RENOVACIÓN	7-6	7.11.4	Selección de medidores	7-20
7.8	RENOVACIÓN DE AIRE Y COSTE DE CALEFACCIÓN	7-8	7.12	EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE EXPOSICIÓN DE LOS TRABAJADORES	7-21
			REFERENCIAS		7-23

7.1 INTRODUCCIÓN

Los Capítulos 1 al 6 describen los objetivos, funcionamiento, y diseño de los sistemas industriales de extracción localizada. Como ya se indicó en el Capítulo 1, sección 1.2, los sistemas de renovación de aire se emplean para dos funciones básicas: crear un ambiente confortable, y reponer el aire extraído del local. Es importante hacer notar que un sistema de extracción localizada bien diseñado sólo puede captar los contaminantes tóxicos si es capaz de lanzar al exterior del edificio una cierta cantidad de aire. Si la cantidad de aire introducida en un recinto es inferior a la cantidad de aire extraída, la presión en el local será inferior a la atmosférica. Esta circunstancia se conoce con el nombre de "presión negativa" y tiene como consecuencia una entrada de aire incontrolada en el local a través de marcos de ventanas, rendijas de las puertas y paredes. Además puede ocasionar efectos indeseables, tales como corrientes de aire, reentrada de aire contaminado, dificultades para abrir puertas, etcétera.

Para minimizar estos efectos se precisan sistemas mecánicos de introducción de aire en cantidad suficiente para evitar la creación de una presión negativa en el local. Un sistema de suministro de aire bien diseñado y construido puede conseguir el aporte necesario y el control eficaz de las condiciones ambientales. Suponiendo que se adopten las medidas necesarias para asegurar la seguridad e higiene, la recirculación del aire captado por los sistemas de extracción localizada puede ser un medio muy eficaz para reducir de forma sustancial los costes de calefacción o refrigeración del local.

7.2 RENOVACIÓN DE AIRE

La cantidad de aire que entra en un recinto es igual a la cantidad de aire extraída tanto si esta circunstancia se ha

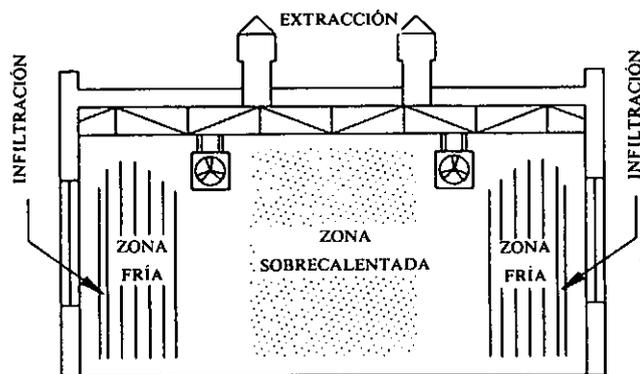


FIGURA 7-1 CUANDO EXISTE PRESIÓN NEGATIVA, LOS TRABAJADORES SITUADOS EN LAS ZONAS FRÍAS SUBEN LOS TERMOSTATOS EN UN INTENTO DE CONSEGUIR MAYOR CALEFACCIÓN. PUESTO QUE ESTA ACCIÓN NO IMPIDE LAS INFILTRACIONES DE AIRE FRÍO NO CONSIGUEN SU OBJETIVO MIENTRAS QUE LA PARTE CENTRAL DE LA NAVE SE SOBREALENTA.

TABLA 7-1 Velocidades en aberturas y rendijas originadas por una presión negativa (calculadas para aire a temperatura del local, presión atmosférica standard y $C_e = 0,6$)

$$V = 4,043 C_e \sqrt{PE}$$

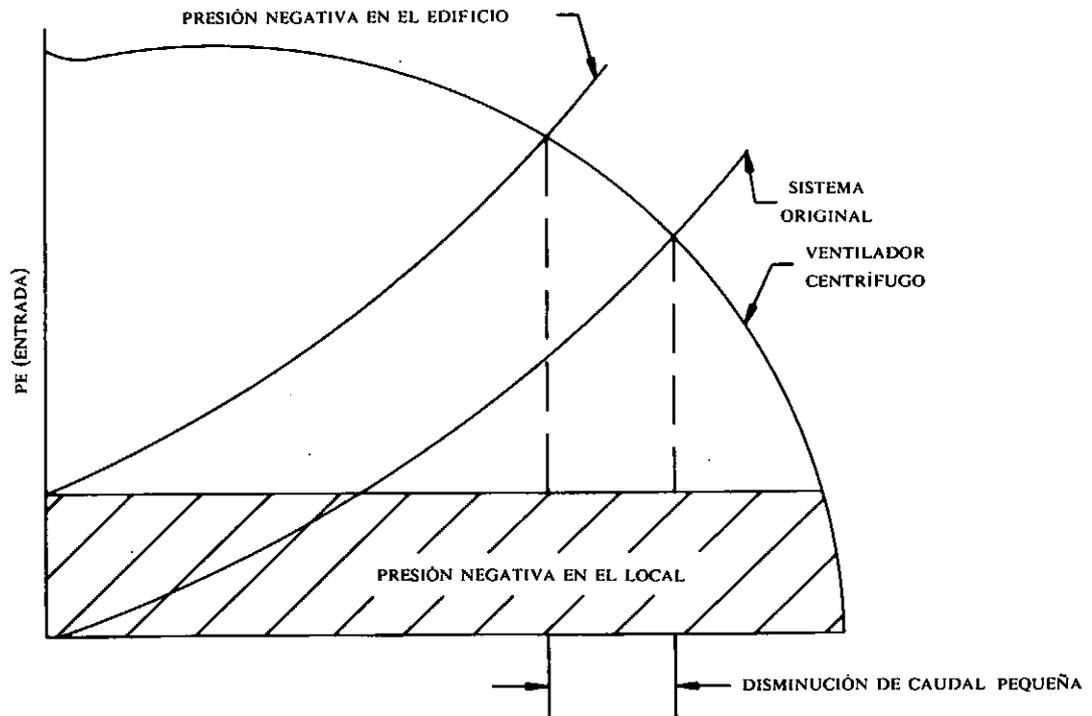
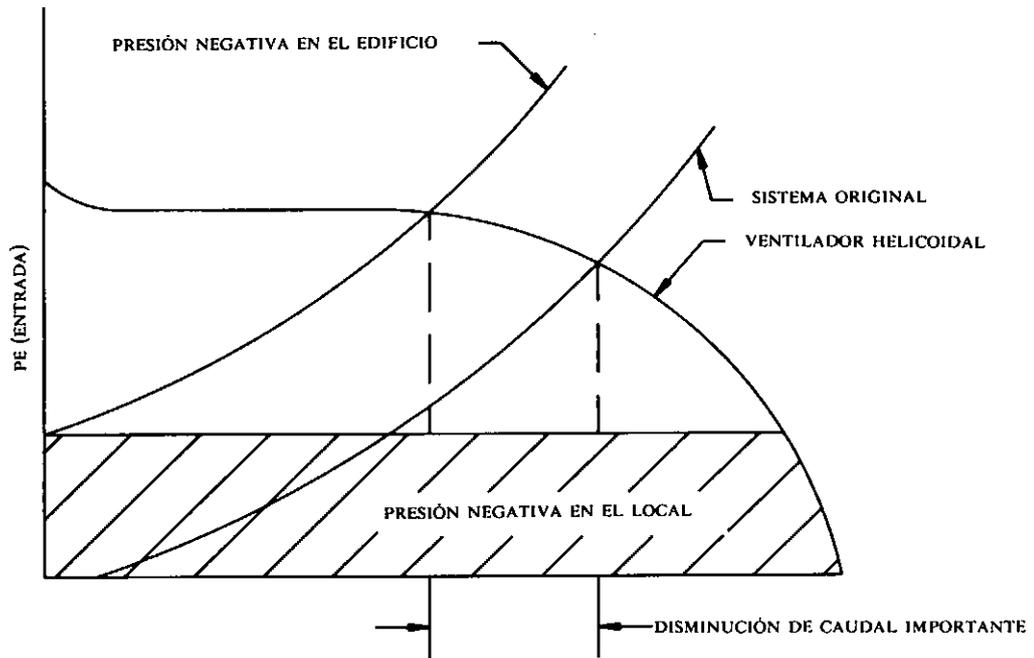
Presión negativa mmda	Velocidad m/s
0,1	0,77
0,2	1,08
0,3	1,33
0,4	1,53
0,5	1,72
0,75	2,10
1,00	2,43
1,25	2,71
1,50	2,97
1,75	3,21
2,0	3,43
3,0	4,20
4,0	4,85
5,0	5,42
6,0	5,94
7,0	6,42
8,0	6,86
9,0	7,28
10	7,67
12	8,40
14	9,08

previsto como si no se ha tenido en cuenta. Sin embargo, el caudal real de aire extraído será inferior al previsto en el diseño si el local se encuentra en presión negativa. Si el cerramiento exterior del edificio es casi hermético, impidiendo la infiltración de aire exterior, el resultado será una disminución drástica del caudal de aire de las extracciones. Si, por el contrario, el edificio es de construcción antigua, con grandes aberturas, la infiltración de aire será importante y el sistema de extracción funcionará con muy poca pérdida de caudal, pero se pueden presentar otros problemas.

Cuando el edificio es relativamente abierto las condiciones ambientales que se originan en el interior son generalmente inadecuadas ya que, en las zonas de clima frío, la importante entrada de aire exterior ocasiona un enfriamiento en los espacios más externos del edificio. Los trabajadores quedan expuestos a corrientes de aire, la distribución espacial de temperatura no es uniforme, y el sistema de calefacción del edificio se sobrecarga (ver la Figura 7-1). A pesar de que gracias a los fenómenos de mezcla se puede calentar el ambiente hasta alcanzar unas condiciones aceptables en el interior del edificio, éste es un procedimiento poco efectivo de transferencia de calor que suele ocasionar un consumo excesivo de combustible.

La experiencia demuestra que el aporte de aire es necesario por las siguientes razones:

1. *Asegurar que las campanas de extracción funcionen correctamente.* La presión negativa que resulta cuando el aporte de aire es insuficiente tiene como consecuencia un incremento de la presión estática que debe



AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

*CÓMO DISMINUYE LA EFICACIA DE
UN VENTILADOR CUANDO EXISTE
PRESIÓN NEGATIVA*

FECHA 1-88

FIGURA 7-2

TABLA 7-2 Presiones negativas que pueden ocasionar situaciones indeseadas en el interior de locales

Presión negativa, mmca	Condiciones indeseadas
0,25 a 0,50	Quejas de los trabajadores a causa de las corrientes de aire—Altas velocidades de aire en puertas y ventanas.
0,25 a 1,25	No funciona el tiro natural—Ventilación mediante extractores de techo, el caudal de las chimeneas de tiro natural se reduce drásticamente.
0,50 a 1,25	Riesgos por Monóxido de Carbono — Pueden existir rebufos en los calentadores de agua, calefactores, hornos u otros equipos de combustión que no dispongan de tiro forzado.
0,75 a 2,5	Fallos en la ventilación general mecánica — Se reduce el caudal de los ventiladores helicoidales de los sistemas de extracción o suministro de aire a baja presión.
1,25 a 2,5	Dificultad para abrir puertas — Se pueden producir accidentes causados por el cierre o apertura brusca de puertas.
2,5 a 6,5	Alteraciones en los sistemas de extracción localizada — Disminuye el caudal de los ventiladores centrífugos de extracción.

vencer el ventilador. Esto puede ocasionar una reducción en el caudal extraído cualquiera que sea el tipo de ventilador y es particularmente importante en los ventiladores de baja presión tales como los extractores helicoidales de pared o de techo (ver la Figura 7-2).

2. *Evitar corrientes de aire en las proximidades de puertas y ventanas.* En función de la presión negativa generada, las corrientes de aire pueden ser importantes (ver la Tabla 7-1). Las corrientes de aire no sólo dificultan el buen funcionamiento de las campanas de extracción, también pueden dispersar los contaminantes desde una sección a otra del edificio y pueden interferir negativamente en el funcionamiento de instalaciones tales como las cubas de desengrase con disolventes. En el caso de operaciones pulvígenas, el material sedimentado puede ser removido ocasionando una contaminación del local de trabajo.
3. *Asegurar el tiro adecuado en las chimeneas de los hogares de combustión.* Las presiones negativas moderadas pueden ser causa de rebufos en las chimeneas lo que origina riesgos para la salud en el interior de los locales debidos a los productos de la combustión, principalmente monóxido de carbono. El rebufo se puede producir en las chimeneas de tiro natural con presiones negativas tan bajas como 0,5 mmca (ver la Tabla 7-2). Otros problemas que pueden presentarse son dificultades para mantener encendidos los pilotos permanentes de los mecheros de combustión, un funcionamiento deficiente de los sistemas de control de temperatura, y corrosiones en las chimeneas e intercambiadores ocasionados por la condensación del agua de los humos.
4. *Evitar corrientes de aire frío sobre los trabajadores.* Las corrientes de aire no sólo ocasionan molestias y disminuyen la eficacia, además suelen ser la causa de temperaturas interiores más bajas.
5. *Evitar presiones diferenciales en las puertas.* Las presiones diferenciales altas en las puertas dificultan la apertura o cierre de las mismas, y en algunos casos, pueden ocasionar riesgos de seguridad para el personal si las puertas se mueven de forma incontrolada (ver la Figura 7-3 y la Tabla 7-2).

6. *Ahorro de combustible.* Sin un adecuado aporte de aire, el ambiente más frío que se origina en las zonas más externas del edificio conduce frecuentemente a la instalación en esas zonas de una mayor potencia de calefacción para intentar corregir el defecto. Estos calefactores tardan mucho tiempo en calentar el ambiente y el aire sobrecalentado se desplaza hacia el interior del edificio ocasionando un ambiente excesivamente caliente en esa zona (ver la Figura 7-1). Este efecto lleva a instalar más extractores para evacuar el exceso de calor, lo cual agrava el problema. El calor se desperdicia sin solucionar el problema. El consumo de combustible con un sistema de aporte de aire con calentador es generalmente inferior al que se precisa cuando se intenta conseguir el acondicionamiento del ambiente sin aportar aire (ver la Sección 7.10).

7.3 CAUDAL DE RENOVACIÓN DE AIRE

En la mayoría de casos el caudal de renovación de aire debe ser aproximadamente igual al caudal de aire extraído por los sistemas de ventilación, y el necesario para los procesos productivos y los sistemas de combustión. La de-

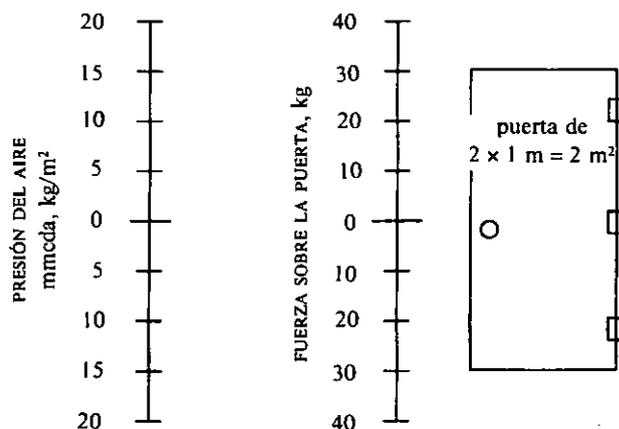


FIGURA 7-3 RELACIÓN ENTRE LA PRESIÓN DEL AIRE Y LA FUERZA NECESARIA PARA ABRIR O CERRAR UNA PUERTA DE TAMAÑO MEDIO. (1 Kg/m² = 1 mmca.)

TABLA 7-3 Índice de renovación y tamaño del local

Dimensiones del local	Volumen, m ³	Índice de renovación/min. /hora	
12 × 12 × 3,5	504	$5 \times 60 / 504 = 0,60$	36
12 × 12 × 6	864	$5 \times 60 / 864 = 0,35$	21

terminación del caudal de aire extraído generalmente requiere la elaboración de un inventario de las extracciones y la ejecución de las mediciones necesarias. Al realizar el inventario de extracciones es necesario no sólo determinar la cantidad de aire extraído, sino también la cantidad de aire necesario para cada equipo. Simultáneamente, se deben incluir estimaciones razonables de las necesidades futuras en un periodo de uno o dos años, en particular si se prevén ampliaciones de la planta o del proceso productivo. En estos casos puede ser recomendable la compra de un equipo para el aporte de aire de capacidad superior a la necesaria de forma inmediata, sabiendo que el exceso será necesario al cabo de un corto período. El coste adicional de una unidad algo mayor es relativamente pequeño y en la mayoría de casos el ventilador puede ser regulado de forma que suministre sólo la cantidad de aire necesaria.

Después de determinar la cantidad mínima de aire que debe ser aportada, en muchos casos es conveniente prever un aporte adicional para compensar las fugas por ventilación natural y minimizar las corrientes en las zonas más externas del edificio.

7.4 CONTROL AMBIENTAL

Además de los contaminantes tóxicos, para los que el mejor método de control es la extracción localizada, los procesos industriales pueden ocasionar una carga térmica excesiva en el lugar de trabajo. Los modernos equipos automáticos de mecanizado, transporte y transferencia necesitan una cantidad considerable de energía. La fabricación y montaje de precisión requieren niveles de iluminación mayor y en consecuencia la cantidad de calor liberado aumenta. Los desprendimientos de calor aumentan la temperatura interior, a menudo por encima de los límites recomendables para un trabajo eficiente y, en ocasiones, de los tolerables por los productos fabricados.

La mayoría de procesos industriales emiten pequeñas cantidades de contaminantes "molestos", para los cuales, a bajas concentraciones, no se conocen efectos adversos para la salud, pero son desagradables o incómodos para los trabajadores o pueden causar daños a los productos. El deseo de lograr un ambiente de trabajo limpio tanto para el trabajador como para el producto a menudo lleva a plantear el control del ambiente en los locales industriales.

El control ambiental de estos factores puede lograrse mediante un sistema de aporte de aire. (Es preciso hacer notar que el calor radiante no puede controlarse con métodos de ventilación y se deben utilizar apantallamientos como los descritos en el Capítulo 2.) El calor sensible y latente generado por el proceso o las personas puede controlarse hasta

alcanzar los límites correctos con un uso adecuado de ventilación.

7.5 CAUDAL PARA CONTROL AMBIENTAL

El caudal de aire necesario dependerá de los factores que se consideren y del grado de confort deseado en un ambiente determinado. El calor sensible puede ser eliminado por simple dilución (ver en el Capítulo 2 el apartado ventilación).

Las concentraciones de contaminantes "molestos" o no deseados también pueden ser reducidas mediante dilución con aire exterior. El control de los olores generados por las personas en condiciones variables de descanso o actividad puede conseguirse con el caudal de aire exterior indicado en el Capítulo 2. Sin embargo, estos datos se refieren principalmente a oficinas, escuelas o ambientes similares y no son muy adecuados para establecimientos industriales o comerciales. La experiencia indica que cuando el aire introducido se distribuye adecuadamente en la zona de trabajo (es decir a una altura inferior de 2,5 a 3 metros), un aporte de aire exterior comprendido entre 20 y 40 m³/h/m² de superficie suele dar buenos resultados.

7.6 ÍNDICE DE RENOVACIÓN

El "número de renovaciones por minuto o por hora" es la relación entre el caudal de ventilación (por minuto o por hora) y el volumen del local. El "número de renovaciones" es un mal criterio para establecer la ventilación necesaria para controlar un riesgo higiénico, un exceso de calor y/o los olores. La ventilación depende del problema a tratar y no del tamaño del local en el que se presenta. Por ejemplo, supongamos una situación en la que para controlar una evaporación de disolvente por dilución con aire sea preciso un caudal de 5 m³/s. La operación puede realizarse en dos locales distintos, pero en cualquier caso el caudal de aire necesario es el indicado. Las "renovaciones por hora" pueden ser muy diferentes en cada local como se muestra en la Tabla 7-3. Es fácil comprobar que, para el mismo índice de renovación, un local con techo alto requerirá una mayor ventilación que un local de la misma superficie pero de techo más bajo. En conclusión, hay muy poca relación entre el índice de renovación y las necesidades de ventilación para el control de contaminantes.

Los criterios de ventilación basados en índices de renovación son aplicables para situaciones relativamente homogéneas, tales como los edificios de oficinas o las escuelas en los que un criterio de ventilación normalizado parece razo-

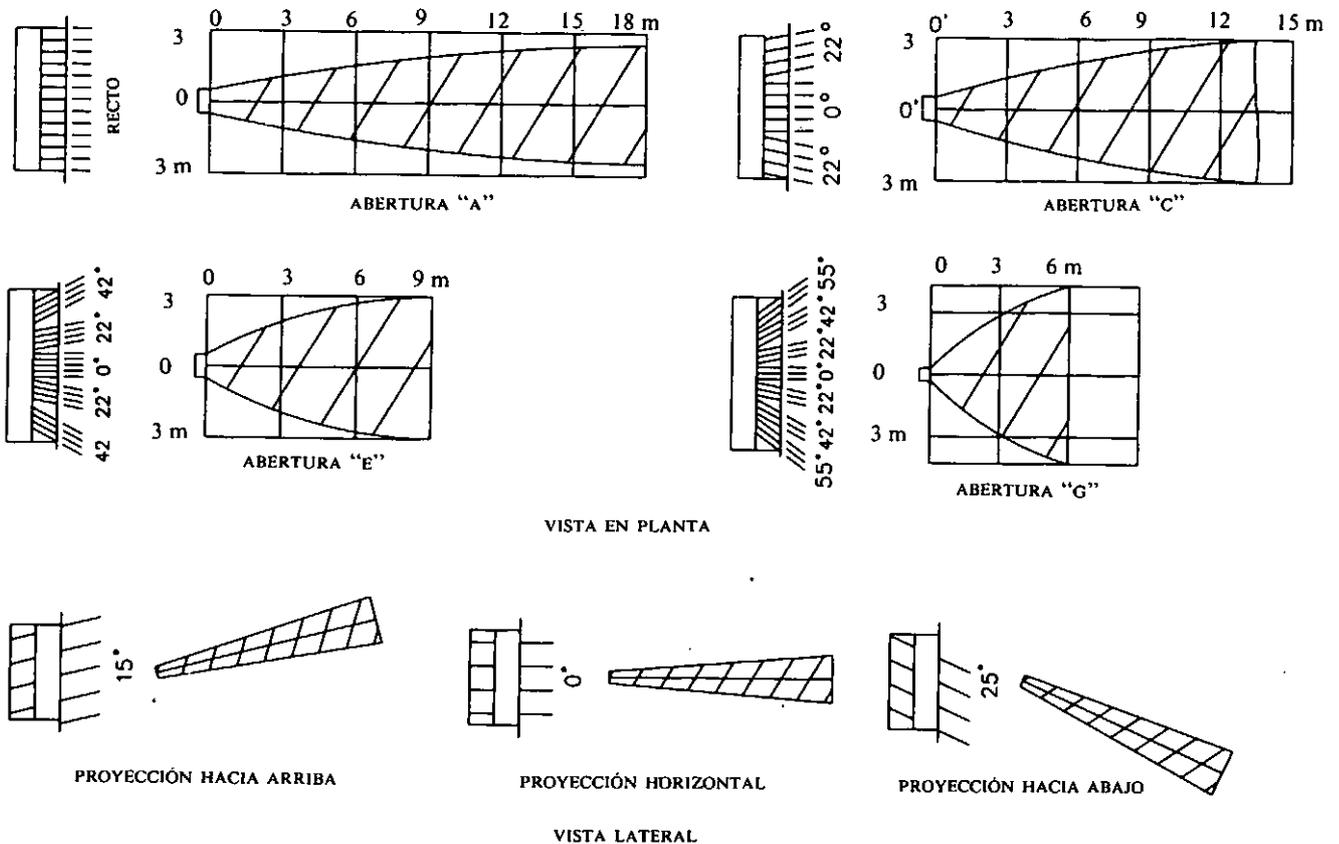


FIGURA 7-4 GEOMETRÍA DE LOS CHORROS DE AIRE Y DISTANCIAS PARA DIFERENTES POSICIONES DE LAS REJILLAS (Ref. 7.2)

nable. Este criterio es fácilmente comprensible y reduce el trabajo necesario para establecer el dimensionamiento de la ventilación. Es de fácil aplicación, lo cual ha conducido, en la práctica, a una falta de investigación sobre los parámetros técnicos involucrados en un problema con los malos resultados correspondientes.

7.7 TEMPERATURA DEL AIRE DE RENOVACIÓN

En la mayoría de casos el aire exterior se introduce en el local, durante los meses de invierno, a una temperatura igual o ligeramente inferior a la deseada en el recinto, y durante los meses de verano a la temperatura a que se encuentre el aire exterior, o si se dispone de refrigeración, a la temperatura deseada en el recinto. Sin embargo, cuando se deben controlar cargas térmicas muy elevadas generadas en el interior del local, la temperatura del aire introducido debe ser notablemente inferior, disminuyendo la cantidad de calor suministrado al aire durante el invierno o refrigerando el aire en verano. Cuando se introduce en un recinto un caudal importante de aire a una temperatura igual o algo inferior a la del recinto, la distribución del aire es de importancia vital para conseguir unas condiciones ambientales satisfactorias para el personal.

La utilización óptima del aire de renovación se consigue cuando se distribuye en la "zona habitada" del recinto, altura inferior de 2,5 a 3 metros sobre el nivel del suelo (ver la Figura 7-4). Cuando se suministra el aire en esta zona —en la que se ubican la mayoría de las personas y de los procesos— se consigue la máxima ventilación con el mínimo caudal. Durante la época cálida del año los trabajadores agradecen el suministro de cantidades importantes de aire a velocidades relativamente altas sobre las zonas de trabajo. Durante los meses fríos, sin embargo, se deben tomar precauciones para conseguir que la velocidad del aire que incide directamente sobre las personas, excepto en los casos en que existan cargas térmicas extremadamente elevadas, se mantenga en valores aceptables (ver el Capítulo 2, Tabla 2-5). Para conseguir este objetivo el aire se debe distribuir de forma uniforme en el recinto o bien donde sea necesario para lograr el confort de los trabajadores. Las rejillas y difusores de diseño robusto, direccionales y ajustables son una buena solución al permitir a los trabajadores dirigir el aire según sus necesidades (7.1). Los difusores de chapa estampada previstos para uso en comercios no son adecuados. Se debe prever una manipulación fácil para permitir los ajustes estacionales o incluso diarios con una intervención mínima de los servicios de mantenimiento.

En el Capítulo 2 se analiza el grado de confort alcanzable

con un adecuado control de los flujos de aire. Los datos publicados por los fabricantes de rejillas y difusores indican las velocidades y alcances de los chorros de aire que se pueden obtener con cada diseño a diferentes caudales de aire (ver la Figura 7-4). También se pueden determinar las velocidades terminales en el extremo del chorro.

Generalmente es preferible una distribución por varios puntos, ya que proporciona mayor uniformidad en el sumi-

nistro de aire y evita el arrastre de aire contaminado que se produce cuando una gran cantidad de aire se lanza a elevada velocidad. En función del tamaño y forma del recinto y de la cantidad de aire a suministrar se utilizan varios esquemas de distribución del aire. Se puede utilizar una distribución basada en un solo punto de suministro, sin embargo, suele ser necesario disponer unas pantallas directoras para dirigir el aire y evitar velocidades elevadas en las proximidades del

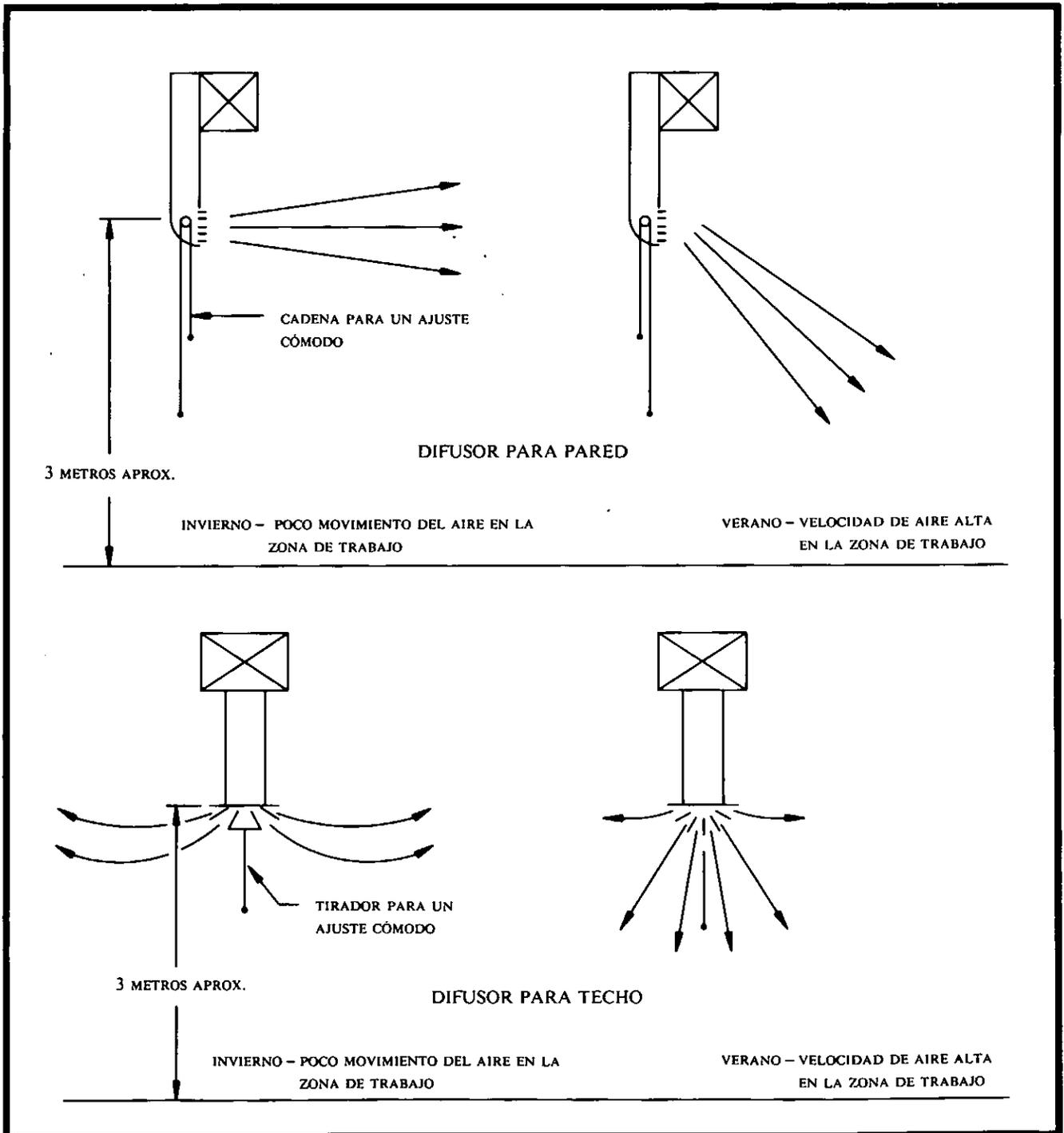


FIGURA 7-5 CAMBIO DE LA VENTILACIÓN SEGÚN LA ESTACIÓN

punto de descarga. Al determinar el número y ubicación de los puntos de suministro de aire es preciso prestar atención a la influencia que un chorro de aire puede tener en el funcionamiento de una campana de extracción localizada.

Cuando se deban evacuar del recinto cantidades importantes de calor sensible durante el invierno, lo más práctico es prever una mezcla rápida del aire frío del exterior con el aire más caliente del interior del recinto. Durante el verano la mejor distribución generalmente implica poca mezcla de forma que el aire fresco llegue al trabajador con una velocidad alta y con un mínimo de sobrecalentamiento. Estos requisitos se pueden conseguir con difusores direccionales que permiten una distribución del aire en sentido horizontal durante el invierno, produciéndose la mezcla antes de llegar a la zona de trabajo, y dirigiendo el aire directamente sobre los trabajadores durante el verano (ver la Figura 7-5).

La temperatura del aire aportado durante el invierno generalmente está comprendida entre 18 y 20 °C en los locales de trabajo con poca carga térmica y si la tarea no requiere realizar esfuerzos físicos importantes, cuando la carga térmica es elevada o el trabajo requiere un esfuerzo físico importante la temperatura del suministro de aire se disminuye hasta 16 o incluso 13 °C. Durante el verano, el aumento de temperatura del aire del local se puede estimar con el procedimiento indicado en el Capítulo 2. Se debe considerar la posibilidad de utilizar durante el verano el enfriamiento evaporativo. Aunque no es tan eficaz ni tan versátil como el enfriamiento mecánico, el enfriamiento evaporativo reduce la temperatura del aire exterior incluso en climas húmedos, mejora la capacidad de la ventilación para reducir el estrés térmico y su coste de instalación y operación es muy inferior.

7.8 RENOVACIÓN DE AIRE Y COSTE DE CALEFACCIÓN

Incluso en el caso de que el aire que entra en el edificio sea debido a la simple acción de extractores, durante los meses de invierno se generará una carga en los sistemas de calefacción, y aumentarán los gastos en combustible. La experiencia ha demostrado que cuando el mismo caudal de aire exterior se introduce a través de aparatos equipados con calentadores, el consumo de combustible no aumenta con respecto al anterior y generalmente disminuye. Una expli-

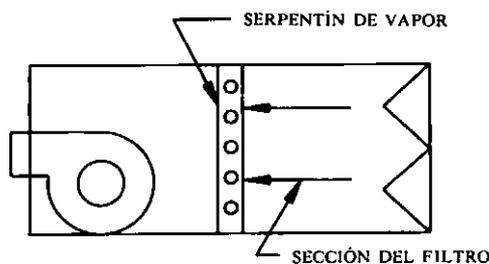


FIGURA 7-6 EQUIPO DE CALEFACCIÓN CON UN SERPENTÍN DE VAPOR

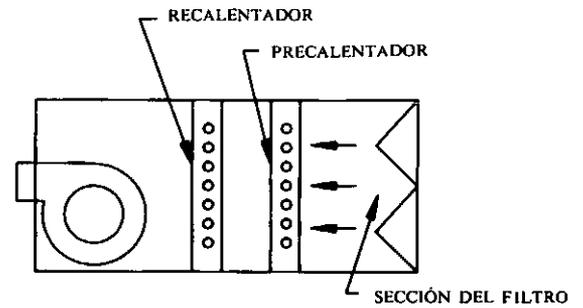


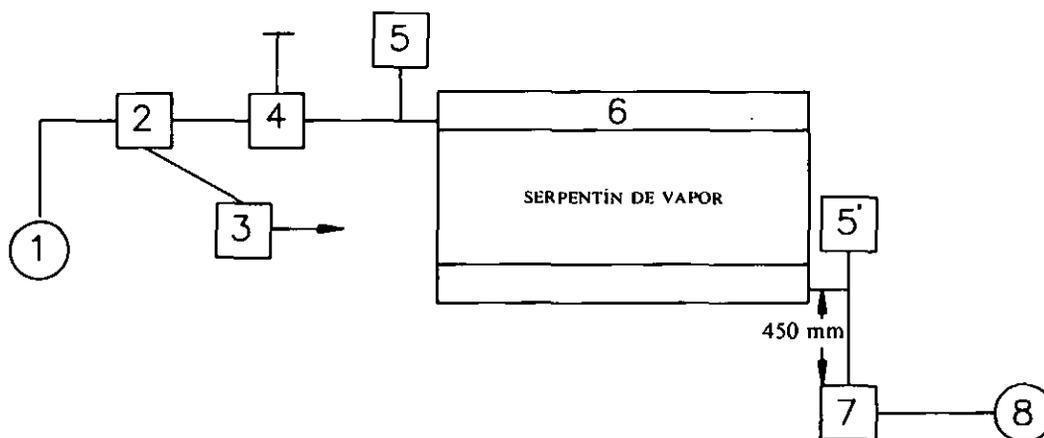
FIGURA 7-8 EQUIPO DE CALEFACCIÓN CON VARIOS SERPENTINES DE VAPOR

cación parcial de este hecho es la mayor eficacia en la transferencia de calor. Sin embargo, el factor más importante es que un sistema de aporte de aire bien diseñado no interfiere con el sistema de calefacción del recinto, los dos sistemas operan de forma independiente. El sistema de suministro de aire y el de calefacción se pueden estudiar mejor considerando el edificio en su conjunto. En el equilibrio la cantidad de calor que sale del edificio debe ser igual a la cantidad de calor que entra en el mismo.

7.9 EQUIPOS PARA EL CALENTAMIENTO DEL AIRE DE RENOVACIÓN

Los calentadores para aire de renovación se diseñan generalmente para trabajar con aire exterior 100 %. Los requisitos básicos de un calentador de aire son que pueda trabajar de forma continua, manteniendo constante el caudal de aire y que la temperatura en la salida de aire se mantenga en el valor preseleccionado. El calentador debe cumplir con estos requisitos para cualquier condición de servicio y ser capaz de admitir variaciones de la temperatura diaria del aire exterior en un margen de 20 °C. Las unidades normales de ventilación y calefacción están diseñadas generalmente para trabajar con aire mezclado, es decir parte del aire tratado proviene del exterior, y el resto es aire recirculado en el local; no es común que su construcción y capacidad sean adecuadas para un uso industrial. Estos equipos son aplicables en comercios o edificios de oficinas en los que los requisitos son menos severos y el uso de aire mezclado es normal.

Los calentadores de aire se clasifican generalmente atendiendo a la fuente de calor: equipos de vapor de agua caliente, equipos de calentamiento indirecto con gas o fuel, y equipos de calentamiento directo con gas natural o GLP. Cada uno de estos tipos básicos es capaz de cumplir con los dos primeros requisitos indicados —operación continua y caudal de aire constante. Dentro de cada tipo hay variaciones en cuanto al tercer requisito, el mantenimiento de la temperatura de salida a un valor prefijado. Una excepción la constituyen los equipos de calentamiento directo en los que por su propio diseño es posible controlar la temperatura en un margen muy amplio. Cada tipo de calentador tiene



1. SUMINISTRO DE VAPOR
 - EL GENERADOR DEBE PROPORCIONAR VAPOR LIMPIO
 - MANTENER LA PRESIÓN CONSTANTE CON VÁLVULAS REDUCTORAS SI ES PRECISO
 - INSTALAR PURGADORES EN LA LÍNEA DE SUMINISTRO
 - DIMENSIONAR EL TUBO DE ALIMENTACIÓN PARA LA CARGA MÁXIMA A LA PRESIÓN ÚTIL
2. FILTRO
 - DIÁMETRO MÍNIMO DE LOS ORIFICIOS 0,75 mm
3. PURGADOR
 - SON PREFERIBLES LOS DE FLOTADOR INVERTIDO
4. VÁLVULA DE CONTROL
 - DIMENSIONAR PARA EL FLUJO MÁXIMO DE VAPOR
 - PÉRDIDA DE CARGA MÁXIMA IGUAL AL 50 % DE LA PRESIÓN DE ENTRADA DEL VAPOR
5. VÁLVULA ANTIVACÍO
 - VÁLVULA DE RETENCIÓN DE 1/2" CONECTADA A LA ATMÓSFERA
- 5'. VENTOSA ALTERNATIVA
 - VÁLVULA ANTIVACÍO
6. SERPENTÍN DE VAPOR
 - A. DIMENSIONADO PARA LA CAPACIDAD DE DISEÑO A LA PRESIÓN DE SUMINISTRO DEL VAPOR (PÉRDIDA EN LA VÁLVULA DE CONTROL)
 - B. SON PREFERIBLES LOS TUBOS VERTICALES
 - C. LOS TUBOS HORIZONTALES DEBEN TENER UNA PENDIENTE DE 1:50 (2 %) HACIA LA PURGA. LA LONGITUD MÁXIMA RECOMENDADA ES 2 m
7. PURGADOR DE VAPOR
 - A. SON PREFERIBLES LOS DE FLOTADOR INVERTIDO
 - B. DIMENSIONADO PARA UNA CARGA DE CONDENSADOS TRES VECES SUPERIOR A LA MÁXIMA CON UNA PÉRDIDA DE CARGA IGUAL AL 50 % DE LA PRESIÓN DE SUMINISTRO
 - C. PURGADOR INDIVIDUAL PARA CADA CIRCUITO
8. RETORNO DE CONDENSADOS
 - SÓLO SE ADMITEN LOS RETORNOS A PRESIÓN ATMOSFÉRICA

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

CIRCUITO DE UN CALENTADOR
CON VAPOR

FECHA 1-74

FIGURA 7-7

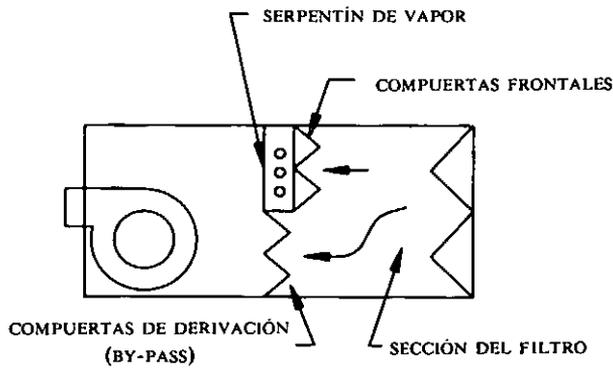


FIGURA 7-9 SISTEMA CON DERIVACIÓN

ventajas e inconvenientes que deben ser conocidos y tenidos en cuenta por el proyectista en el momento de hacer la selección de un equipo determinado.

Los aparatos equipados con un serpentín de vapor fueron posiblemente los primeros calefactores de aire utilizados en la industria y en los edificios comerciales o de oficinas (ver la Figura 7-6). Estos equipos, si están bien diseñados, construidos e instalados son seguros y eficaces. Precisan de un generador de vapor limpio con suministro por presión de demanda. Por este motivo se utilizan generalmente en instalaciones grandes; las pequeñas instalaciones industriales no suelen disponer de un generador adecuado para alimentar estos calefactores. Las desventajas más notables de los calefactores con vapor son los daños que puede sufrir el serpentín en caso de congelación del agua o golpes de ariete, la complejidad de los sistemas de control cuando se debe mantener la temperatura en márgenes muy estrechos, su elevado coste y la cantidad de tuberías que precisa.

La congelación y el golpe de ariete son consecuencia de una mala selección o instalación del equipo y pueden ser evitados. El intercambiador debe dimensionarse en función de la cantidad de calor que debe suministrar en las

condiciones de presión y caudal de vapor disponibles. Preferiblemente debe ser del tipo de vapor distribuido en tubos verticales. Los purgadores y conducciones de retorno de condensados deben dimensionarse para el caudal máximo de condensados a la presión mínima del vapor añadiendo un factor de seguridad. Se deben prever ventosas para minimizar el riesgo de vacío en el intercambiador que pueda provocar la aspiración de condensados. Finalmente, el condensado nunca debe ser aspirado por la presión del vapor. La mayoría de problemas de congelación y golpes de ariete están relacionados con los equipos que operan por modulación del vapor, estrangulando el suministro cuando se alcanza la temperatura deseada. Al producirse el estrangulamiento, se puede crear un vacío en el interior del intercambiador, y a menos que se haya previsto un venteo adecuado, el condensado no fluirá y se congelará rápidamente por la acción del aire frío exterior. La mayoría de congelaciones se producen cuando la temperatura exterior está comprendida entre -7 y -1 °C y la válvula de control del vapor está parcialmente cerrada, y no cuando la temperatura exterior es mínima y la válvula de suministro de vapor está completamente abierta (ver la Figura 7-7).

A menudo se usan controles de "seguridad" que detectan un riesgo inmediato de congelación. Se puede conectar al circuito de control un termostato con el sensor en la línea de condensados o un termostato con bulbo extendido situado en la parte baja del intercambiador que desconecte el equipo cuando la temperatura descienda por debajo de un cierto límite. Alternativamente el termostato puede ordenar un caudal máximo de vapor hacia el intercambiador junto con la desconexión del equipo si no se consigue mantener la temperatura de seguridad. Una desventaja evidente es que el suministro de aire se reduce; si el recinto puede quedar expuesto a una presión negativa apreciable, el riesgo de congelación se mantiene debido a la entrada de aire frío exterior por las rendijas de las compuertas de aire.

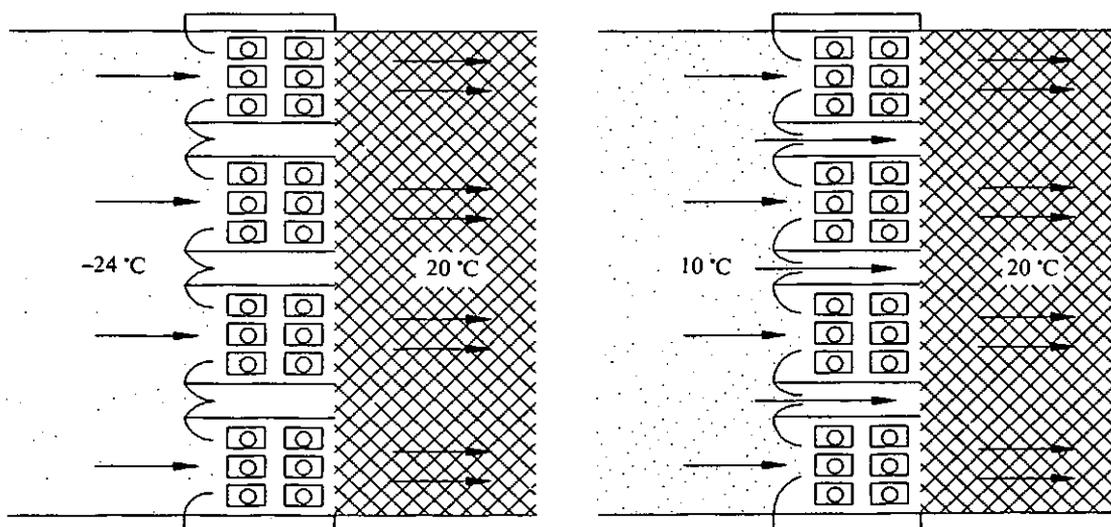


FIGURA 7-10 CALENTADOR DE SUPERFICIE INTEGRAL Y BY-PASS (REF. 7.4)

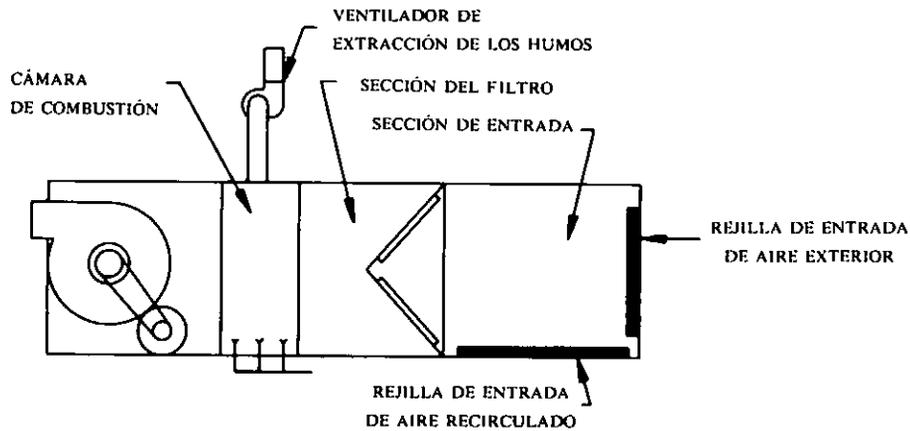


FIGURA 7-11 EQUIPO DE CALENTAMIENTO INDIRECTO

La capacidad de regulación de un intercambiador se puede ampliar utilizando dos válvulas en paralelo: una válvula se dimensiona para 2/3 de la capacidad y la otra para 1/3. Mediante los sistemas de control adecuados ambas válvulas pueden proporcionar el 100 % del caudal de vapor cuando están completamente abiertas y por combinaciones entre ambas se pueden lograr amplios márgenes de regulación de la temperatura. Los controles son complejos en este tipo de unidades y se debe tener cuidado de que las dos válvulas tengan la misma pérdida de carga para que puedan proporcionar el caudal de vapor esperado.

También existen equipos con varios serpentines de vapor (ver la Figura 7-8) o con un by-pass (ver la Figura 7-9) que amplían el margen de control de temperatura y minimizan el riesgo de congelación. En los equipos con varios serpentines, el primero de ellos (precalentador) se dimensiona para elevar la temperatura del aire desde la temperatura de diseño exterior hasta 4 °C por lo menos. Se controla con una válvula del tipo todo-nada, que se mantiene abierta cuando la temperatura exterior es inferior a 4 °C. El segundo serpentín (recalentador) se dimensiona para llevar la temperatura del aire desde 4 °C hasta la temperatura deseada en la salida. El control de temperatura es adecuado para la mayoría de condiciones exteriores, pero se puede producir un sobrecalentamiento cuando la temperatura exterior es próxima a 4 °C (3,5 °C más el aumento de temperatura en el precalentador pueden ocasionar una temperatura de 26 a 31 °C en la entrada al recalentador). Repartiendo la carga de precalentamiento entre dos serpentines se puede conseguir un control de temperatura más afinado.

Los equipos con by-pass disponen de unas compuertas para derivar el flujo de aire. Cuando se precisa el mayor incremento de temperatura la totalidad del flujo se hace pasar a través del serpentín de vapor. A medida que la temperatura exterior aumenta se deriva una fracción mayor del caudal de aire que no pasa por el intercambiador, en el caso extremo la totalidad del caudal puede ser derivada. El mecanismo de control es relativamente simple. El principal inconveniente es que en muchas ocasiones la derivación no está diseñada para admitir la totalidad del caudal de aire con una pérdida de carga igual a la del intercambiador, por ello (según sea la posición de las compuertas) el equipo no suministra un caudal constante. Las características del flujo de aire a través de las compuertas también es un factor a considerar. Otro aspecto a tener en cuenta es que en algunos de estos equipos el aire que circula por la derivación al llegar a la cámara del ventilador no se distribuye de forma uniforme, lo cual puede afectar a la capacidad del ventilador(es) para mover el aire.

Otro tipo de equipos con by-pass, denominados de superficie integral y by-pass (ver la Figura 7-10), disponen de secciones alternadas de intercambiadores y derivaciones. Este diseño posibilita una mejor mezcla de las corrientes de

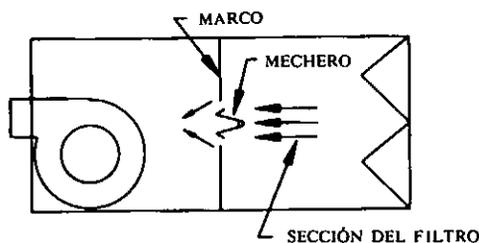


FIGURA 7-12 CALENTADOR DE FUEGO DIRECTO

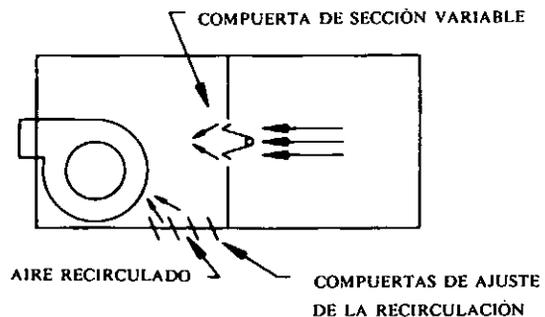


FIGURA 7-13 CALENTADOR DE FUEGO DIRECTO CON BY-PASS (DERIVACIÓN)

TABLA 7-4 Comparación de las ventajas e inconvenientes de los calentadores

Ventajas	Inconvenientes
Fuego directo:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Buena relación de desconexión – 8:1 en los pequeños; 25:1 en los de mayor capacidad. Control más simple; coste de operación inferior. 2. No precisa chimenea ni conducto de descarga de los humos. Puede situarse en la pared lateral del edificio. 3. Eficacia máxima (90 %). Costes de operación mínimos. (Eficacia calculada para el calor sensible útil). 4. Puede calentar aire en un margen muy amplio de temperaturas. 5. Coste de instalación mínimo para los equipos de gran capacidad. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los humos de combustión se mezclan con el aire (existirán pequeñas cantidades de CO₂, CO, óxidos de nitrógeno, y vapor de agua. 2. Coste de instalación mayor en los equipos pequeños. 3. Su uso puede estar limitado por la reglamentación. Consultar los reglamentos aplicables. 4. Hay que tener mucho cuidado en evitar la entrada junto con el aire de hidrocarburos clorados o de otro tipo incluso en cantidades mínimas ya que pueden dar lugar a la formación de productos tóxicos. 5. Sólo se puede utilizar gas natural o GLP como combustible. 6. Se debe revisar frecuentemente para asegurar bajas concentraciones de CO y óxidos de nitrógeno en el aire calentado.
Intercambiadores indirectos:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. No se mezcla el aire con los gases de combustión. El aire introducido al local procede directamente del exterior. 2. Disponible para todo tipo de aplicaciones y edificios si está equipado con los sistemas de control y seguridad adecuados. 3. Normalmente los hidrocarburos clorados en poca cantidad no se descomponen en el intercambiador generando productos tóxicos. 4. Se puede utilizar gas natural, GLP o fuel como combustible. 5. Coste de instalación inferior en los equipos pequeños. 6. Se puede usar en circuitos de recirculación y de renovación de aire. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coste de instalación mayor en las unidades de gran capacidad. 2. Relación de desconexión limitada – normalmente 3:1, máxima 5:1. 3. Precisa chimenea. Se puede situar únicamente en el lugar donde se pueda instalar la chimenea. 4. Eficacia baja (80 %). Coste de operación mayor. 5. Calienta el aire en un margen limitado de temperaturas. 6. El intercambiador está expuesto a corrosiones muy importantes. Necesita revisiones frecuentes para detectar fugas. 7. Conducción difícil del aire exterior hasta el quemador salvo que se instale en el exterior o en el techo.

aire, minimiza los efectos de la falta de uniformidad en el flujo y, si el diseño de las compuertas está bien estudiado, permite que el aumento de temperatura sobre el valor deseado sea mínimo incluso trabajando a caudal máximo con las derivaciones completamente abiertas.

El agua caliente también es un agente adecuado para los calentadores de aire. Como en el caso del vapor precisa de un generador de agua caliente que trabaje a demanda y suministre el agua con una temperatura constante para posibilitar un dimensionamiento correcto de los intercambiadores. Los equipos de agua caliente son menos propensos a la congelación que los de vapor debido a que la circulación forzada obliga de forma positiva a la evacuación del agua fría de los circuitos del intercambiador. Dificultades de orden práctico y la necesidad de instalar estaciones de bombeo han limitado el uso del agua caliente a las instalaciones relativamente pequeñas: para un incremento de la temperatura del aire de 55 °C y una caída de la temperatura del agua también de 55 °C, un caudal de agua de 1 m³/h suministra el calor necesario para calentar únicamente un caudal de 3300 m³/h de aire. Esta relación puede ser más amplia en los sistemas que utilizan agua sobrecalentada.

También se han empleado en algunas industrias, en las que la falta de suministro de aire puede ocasionar problemas graves, sistemas híbridos con fluidos térmicos, tales como el etilenglicol, para evitar los riesgos de congelación.

Un sistema primario de vapor suministra la energía necesaria para calentar un circuito cerrado secundario que opera con el fluido térmico. El coste suplementario de la instalación queda compensado parcialmente por un sistema de control más sencillo.

Los equipos de calentamiento indirecto con gas o fuel (ver la Figura 7-11) se usan mucho en pequeñas industrias y aplicaciones comerciales. Su empleo resulta rentable hasta caudales de 4,5 m³/s aproximadamente; para caudales superiores el valor de la inversión de un calentador por fuego directo es inferior. Los calentadores indirectos están constituidos por un intercambiador de calor, generalmente de acero inoxidable, que mantiene separados los flujos del aire fresco y de los gases de combustión. El flujo de los gases de combustión generalmente se consigue mediante el uso de ventiladores. Esta precaución se adopta para evitar daños por corrosión debido a condensaciones en el intercambiador provocadas por la acción del flujo de aire frío. Los calefactores indirectos permiten el uso de combustibles líquidos y la recirculación del aire en el local es posible, ya que los productos de combustión no se mezclan con la corriente del aire aportado al local. La tercera ventaja importante de este tipo de equipos es el bajo coste de las unidades de menor tamaño y es utilizado ampliamente como una unidad compacta en instalaciones pequeñas tales como cocinas industriales o lavanderías.

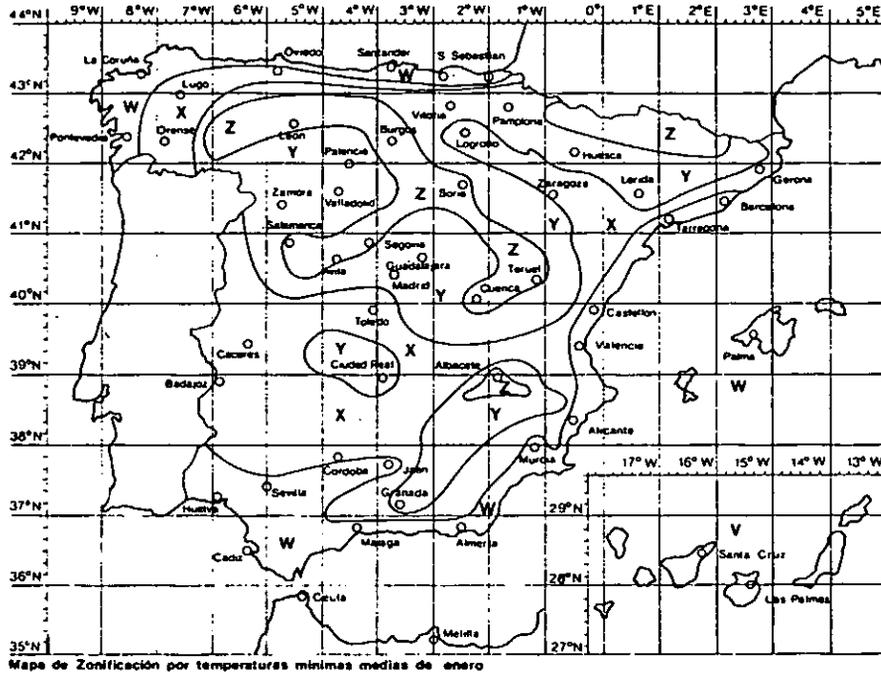


FIGURA 7-14 MAPA DE ZONIFICACIÓN POR TEMPERATURAS MÍNIMAS MEDIAS DE ENERO EN ESPAÑA (Norma básica NBE-CT-79)

La zonificación dada en el Mapa está basada en los valores de las temperaturas mínimas medias del mes de enero y establece cinco zonas que se estimarán las siguientes temperaturas:

ZONA CLIMÁTICA MAPA	V	W	X	Y	Z
Temperatura exterior (Mínimas medias del mes de enero)	10	5	3	0	-2

Para facilitar la localización de una población en el Mapa se da a continuación un listado de los principales municipios de cada provincia, señalando las zonas donde se ubican.

PROVINCIA Población	Mapa	PROVINCIA Población	Mapa	PROVINCIA Población	Mapa
ÁLAVA		ALMERÍA		BARCELONA	
Vitoria	Y	Almería	W	Badalona	W
ALBACETE		Dalias	W	Barcelona	W
Albacete	Z	ÁVILA		Castelldefels	W
Hellín	Y	Ávila	Z	Cornellà	W
Villarrobledo	X	BADAJOS		Esplugas de Llobregat	W
ALICANTE		Almendralejo	X	Gavá	W
Alcoy	W	Badajoz	X	Granollers	X
Alicante	W	Don Benito	X	Hospitalet	W
Benidorm	W	Mérida	X	Igualada	X
Crevillente	X	Villanueva de la Serena	X	Manresa	W
Denia	W	BALEARES		Mataró	W
Elche	W	Ibiza	W	Molins de Rey	W
Elda	X	Mahón	W	Mollet	W
Orihuela	X	Manacor	W	Moncada y Reixach	W
Petrí	X	Palma de Mallorca	W	Prat de Llobregat	W
Villajoyosa	X			Ripollet	W
Villena	Y			Rubí	W
				Sabadell	X
				S. Adrián de Besós	W

PROVINCIA Población	Mapa	PROVINCIA Población	Mapa	PROVINCIA Población	Mapa
S. Baudilio del Llobregat	W	CUENCA		Leganés	Y
S. Cugat del Vallés	W	Cuenca	Z	Madrid	Y
S. Feliu de Llobregat	W			Móstoles	Y
S. Juan Despí	W	GERONA		Parla	Y
Sta. Coloma de Gramanet	W	Figueras	X	Pozuelo	Y
Sardanyola	W	Gerona	X	S. Sebastián de los Reyes	Y
Tarrasa	X	Olot	Y	Torrejón de Ardoz	Y
Vich	Y			MÁLAGA	
Viladecans	W	GRANADA		Antequera	X
Villanueva y Geltrú	W	Baza	X	Coin	W
Villafranca del Penedés	W	Granada	Y	Estepona	W
BURGOS		Loja	X	Fuengirola	W
Aranda de Duero	Y	Motril	W	Málaga	W
Burgos	Z	GUADALAJARA		Marbella	W
Miranda de Ebro	Y	Guadalajara	Y	Ronda	W
CÁCERES				Vélez-Málaga	W
Cáceres	X	GUIPÚZCOA		MURCIA	
Plasencia	X	Éibar	W	Alcantarilla	W
CÁDIZ		Hernani	W	Cartagena	W
Algeciras	W	Irún	W	Cieza	X
Arcos de la Frontera	W	Mondragón	X	Jumilla	Y
Barbate	W	Pasajes	W	Lorca	X
Cádiz	W	Rentería	W	Molina de Segura	W
Chiclana de la Frontera	W	S. Sebastián	W	Murcia	W
Jerez de la Frontera	W	HUELVA		Yecla	Y
Línea de la Concepción	W	Huelva	W	NAVARRA	
Puerto de Sta. María	W	HUESCA		Pamplona	Y
Puerto Real	W	Huesca	Y	Tudela	X
Rota	W	JAÉN		ORENSE	
S. Fernando	W	Alcalá la Real	X	Orense	X
Sanlúcar de Barrameda	W	Andújar	X	OVIEDO	
S. Roque	W	Jaén	W	Aller	X
CASTELLÓN		Linares	X	Avilés	W
Burriana	W	Martos	W	Cangas de Narcea	X
Castellón	W	Úbeda	X	Gijón	W
Vall de Uxó	W	LEÓN		Langreo	X
Villarreal	W	León	Z	Luarca	W
CIUDAD REAL		Ponferrada	Z	Mieres	X
Alcázar de S. Juan	X	LÉRIDA		Oviedo	X
Ciudad Real	Y	Lérida	Y	S. Martín del R.	X
Puertollano	X	LOGROÑO		Siero	X
Tomelloso	X	Logroño	X	Tineo	X
Valdepeñas	X	LUGO		PALENCIA	
CÓRDOBA		Lugo	X	Palencia	Y
Baena	W	Monforte de Lemos	X	LAS PALMAS	
Cabra	W	MADRID		Arrecife	V
Córdoba	X	Alcalá de Henares	Y	Arucas	V
Lucena	W	Alcobendas	Y	Las Palmas	V
Montilla	W	Alcorcón	Y	S. Bartolomé	V
Priego	X	Aranjuez	Y	Sta. Lucía	V
Puente-Genil	W	Coslada	Y	Teide	V
LA CORUÑA		Getafe	Y	PONTEVEDRA	
Carballo	W	Alcalá de Henares	Y	Cangas	W
Coruña (La)	W	Alcobendas	Y	La Estrada	W
Ferrol (El)	W	Alcorcón	Y	Lalín	X
Narón	W	Aranjuez	Y	Marín	W
Ribeira	W	Coslada	Y		
Santiago	W	Getafe	Y		

PROVINCIA Población	Mapa	PROVINCIA Población	Mapa	PROVINCIA Población	Mapa
Pontevedra	W	Morón de la Frontera	W	Manises	W
Redondela	W	Los Palacios y Villaf.	W	Mislata	W
Vigo	W	S. Juan de Aznalfarache	X	Onteniente	X
Villagarcía de Arosa	V	Sevilla	W	Paterna	W
		Utrera	W	Sagunto	W
SALAMANCA				Sueca	W
Salamanca	Z	SORIA		Torrente	W
		Soria	Z	Valencia	W
STA. CRUZ DE TENERIFE				VALLADOLID	
Icod de los Vinos	V	TARRAGONA		Valladolid	Y
La Laguna	V	Reus	W		
La Orotava	V	Tarragona	W	VIZCAYA	
Pto. de la Cruz	V	Tortosa	W	Baracaldo	W
Los Realejos	V	TERUEL		Basauri	W
Sta. Cruz de Tenerife	V	Teruel	Z	Bilbao	W
SANTANDER				Durango	W
Santander	W	TOLEDO		Galdácano	W
Torrelavega	W	Talavera de la Reina	X	Guecho	W
		Toledo	X	Portugalete	W
SEGOVIA				Santurce	W
Segovia	Z	VALENCIA		Sestao	W
		Alacuas	W	ZAMORA	
SEVILLA		Alcira	W	Zamora	Y
Alcalá de Guadaira	W	Algemesí	W	ZARAGOZA	
Camas	W	Burjasot	W	Zaragoza	X
Carmona	W	Carcagente	W		
Coria del Río	W	Cuart de Poblet	W	CEUTA	W
Dos Hermanas	W	Chirivella	W		
Écija	W	Gandía	W	MELILLA	W
Lebrija	W	Játiva	W		

La "relación de desconexión", de la que depende la capacidad de regulación de la temperatura, está limitada a un valor de 3:1 a 5:1 debido a las limitaciones impuestas por el diseño de los quemadores y a la necesidad de mantener unas temperaturas mínimas en el intercambiador y en los gases efluentes. El control se puede mejorar mediante el uso de derivaciones de aire similares a las descritas en los calefactores de vapor. Los equipos de este tipo dotados de derivaciones tienen las mismas ventajas e inconvenientes que los de vapor.

Otros tipos de calentadores de fuego indirecto disponen de un intercambiador de tipo giratorio. El control de temperatura puede ser tan alto como 20:1.

Desde hace algunos años se dispone de calefactores de fuego directo, en los que el combustible, gas natural o GLP, se quema directamente en la corriente de aire y los productos de la combustión son evacuados junto con el aire de suministro hacia el local (ver la Figura 7-12). Estos equipos son de operación muy económica, ya que toda la capacidad térmica del combustible se utiliza en elevar la temperatura del aire, con lo que se obtienen eficacias térmicas próximas al 90 %. Los diseños comerciales de quemadores pueden operar con relaciones de desconexión desde 25:1 hasta 45:1, lo que permite un control de temperatura excelente. En los equipos para caudales superiores a 4,5 m³/s el costo de instalación por unidad de caudal de aire calentado es relati-

vamente muy bajo; por debajo de este tamaño el costo de los sistemas de seguridad y control de la combustión tiene un efecto desfavorable para estos equipos. Un inconveniente es que algunos reglamentos administrativos prohíben la recirculación del aire del local en un mechero de combustión. Los controles de estos equipos están diseñados para garantizar el flujo de aire antes de que se pueda encender el mechero, un tiempo de purga previo al encendido para garantizar la evacuación de gas del recinto de combustión procedente de una hipotética fuga y una vigilancia continua de la operación de la llama que incluye el control de la llama y de los límites superiores de temperatura.

Con frecuencia se plantean dudas respecto a la posibilidad de alcanzar concentraciones tóxicas de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, aldehídos u otros contaminantes formados en el proceso de combustión y que se liberan junto con el aire introducido en el local. Evaluaciones de campo y estudios detallados han demostrado que con un equipo bien diseñado y mantenido, las concentraciones de monóxido de carbono no superan 5 ppm y las concentraciones de óxidos de nitrógeno y aldehídos son muy inferiores a los límites admisibles (7.3).

Una variante de este tipo de equipo, conocida con el nombre de diseño con by-pass, se utiliza cada vez más en grandes instalaciones en las que se desea hacer circular grandes cantidades de aire de forma continua (ver la Figura

7-13). En este diseño, los controles se disponen de forma que la cantidad de aire exterior que llega al quemador sea mínima permitiendo la entrada de aire del local a la cámara del ventilador. De esta forma el caudal de aire movido por el ventilador permanece prácticamente constante y la circulación de aire en el local queda asegurada. Es importante hacer ver que el aire de recirculación no pasa a través del quemador, únicamente pasa a través de la zona de combustión el 100 % del aire exterior. Los sistemas de control regulan la entrada de aire exterior y aseguran que el perfil de velocidades alrededor del quemador se mantiene dentro de las especificaciones del fabricante del mismo, generalmente entre 10 y 15 m/s. Esto se consigue gracias a un marco de sección variable que cambia el área en función de la posición de la compuerta de entrada de aire.

Dado que ambos tipos de calentadores para el aire de renovación, fuego directo o fuego indirecto, tienen ventajas e inconvenientes, es necesario realizar un cuidadoso estudio de las características de cada tipo. En la Tabla 7-4 se presenta una comparación de los diferentes tipos de calentadores.

7.10 COSTE DE CALEFACCIÓN DEL AIRE DE RENOVACIÓN

Como ya se ha indicado, el gasto para calentar el aire de renovación es probablemente el coste anual más importante de un sistema de ventilación. Este coste debe ser estimado en la etapa de diseño del sistema.

Las dos ecuaciones siguientes pueden ser usadas para estimar el coste de la calefacción del aire de renovación en base horaria y anual. Puesto que se ha incluido una tolerancia por la eficacia del equipo de renovación de aire, estas ecuaciones tienen tendencia a dar resultados bajos si el aire entra al recinto únicamente a través de infiltraciones

$$C_1 = \text{Coste horario} = \frac{QN}{q} c \quad [7.1]$$

$$C_2 = \text{Coste anual} = 150 \frac{Q (gd) T c}{q} \quad [7.2]$$

donde:

- Q = caudal de aire, m³/s
- N = calor necesario, kcal/h/(m³/s). (Figura 7-14 y tabla 7-5)
- T = tiempo de operación, horas/semana
- q = calor útil por unidad de combustible (Tabla 7-6)
- gd = grados × día anuales (Tabla 7-7)
- c = precio del combustible, pts/unidad

EJEMPLO 1

Calcular el coste horario y anual de calentar 5 m³/s de aire de renovación hasta 15 °C en Valencia (España), utilizando un gas-oil de 45 pts/l.

Temperatura media en invierno = 5 °C (Figura 7-14)

$$\text{Coste horario} = \frac{QN}{q} c = \frac{5 \times 10440}{7050} 45 = 333 \text{ pts/h}$$

$$\text{Coste anual} = 150 \frac{Q (gd) T c}{q} = 150 \frac{5 \times 515,9 \times 40 \times 45}{7050} = 98789 \text{ pts/año}$$

El coste anual es más representativo ya que se tienen en cuenta tanto la duración como la rigurosidad de la época fría.

7.11 CONSERVACIÓN DEL AIRE

El suministro y extracción de aire implican costes de inversión en los equipos y costes de operación que con frecuencia no son despreciables en las zonas de clima frío. Los proyectistas, atendiendo a las demandas de ahorro energético, son unánimes en su deseo de minimizar las tasas de ventilación.

Existen cuatro métodos para reducir los costos de calefacción o enfriamiento de caudales importantes de aire exterior: 1) Reducción del caudal total de aire, 2) Suministro del aire exterior sin calentar. 3) Recuperación de la energía del aire extraído, y 4) Recuperación de aire caliente y sin contaminar del proceso productivo. Es preciso hacer algunas consideraciones que permitan la aplicación adecuada de estas técnicas de ingeniería sin reducir el grado de control de los riesgos para la salud ni alterar las condiciones ambientales del local de trabajo.

TABLA 7-5 Calor necesario para calentar aire a 15 °C en función de la temperatura del aire exterior

t °C Temperatura media del aire exterior, °C	N, Calor necesario en Kcal/h/(m ³ /s) para llegar a 15 °C
-2	17748
0	15660
3	12528
5	10440
10	5220

Nota: Fórmula general:

$$N = 1 \text{ (m}^3\text{/s)} \times 3600 \text{ (s/h)} \times 0,29 \text{ (Kcal/m}^3\text{/}^\circ\text{C)} \times (15-t)$$

TABLA 7-6 Calor útil por unidad de combustible

Combustible	Kcal/unidad	Eficacia %	Calor útil, q en Kcal/unidad
Carbón	6600 kcal/kg	50	3300
Gasóleo	9400 kcal/l	75	7050
Gas			
Intercambiador de calor	9000 kcal/m ³	80	7200
Fuego directo		90	8100

TABLA 7-7 Grados × día/año normales para cálculos de calefacción (principales ciudades españolas)

Localidad	Temperatura base °C	Grados × día/año								Total anual
		Octub.	Noviem.	Diciem.	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	
Albacete	15	24,08	189	291,4	322,4	246,4	198,4	105	0	1.377,4
Algeciras	15	0	0	52,7	80,6	67,2	37,2	0	0	237,7
Alicante	15	0	0	83,7	117,8	84,0	52,7	0	0	338,2
Almería	15	0	0	55,8	74,4	56,0	21,7	0	0	207,9
Ávila	15	142,6	282	368,9	390,6	330,4	300,7	219	93,0	2.127,2
Badajoz	15	0	96	189,1	213,9	151,2	99,2	18	0	767,4
Barcelona	15	0	54	136,4	204,6	131,6	96,1	33	0	655,7
Bilbao	15	0	93	145,7	198,4	162,4	136,4	84	0	819,9
Burgos	15	133,3	273	356,5	384,4	319,2	282,1	210	89,9	2.048,4
Cáceres	15	0	132	229,4	254,2	184,8	145,7	57	0	1.003,1
Cádiz	15	0	0	65,1	89,9	47,6	24,8	0	0	227,4
Cartagena	15	0	15	111,6	133,3	92,4	58,9	0	0	411,2
Castellón	15	0	27	102,3	139,5	106,4	68,2	9	0	452,4
Ceuta	15	0	21	58,9	136,4	126,0	91,0	48	0	481,3
Ciudad Real	15	12,4	182	282,1	310,0	238,0	189,1	99	0	1.312,6
Córdoba	15	0	72	176,7	198,4	126,0	80,6	9	0	662,7
Cuenca	15	93,0	243	362,7	365,8	298,2	251,1	177	37,2	1.828,0
Gerona	15	0	111	213,9	238,7	176,4	133,3	66	0	939,3
Gijón	15	0	87	151,9	167,4	162,4	145,7	108	46,5	868,9
Granada	15	0	132	232,5	257,3	196,0	155,0	69	0	1.041,8
Guadalajara	15	49,6	207	303,8	319,3	249,2	207,7	132	0	1.488,6
Huelva	15	0	21	111,6	136,4	86,8	46,5	0	0	402,3
Huesca	15	18,6	186	294,5	319,3	243,6	189,1	99	0	1.350,1
Jaén	15	0	93	192,2	217,0	165,2	124,0	39	0	830,4
La Coruña	15	9,3	99	136,4	170,5	142,8	139,5	99	31,0	827,5
La Laguna	15	0	0	52,7	77,5	64,4	46,5	18	0	259,1
Las Palmas	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
León	15	164,3	291	368,9	403,0	333,2	297,6	204	80,6	2.142,6
Lérida	15	0	183	347,2	334,8	210,0	114,7	36	0	1.225,7
Logroño	15	46,5	195	282,1	316,2	240,8	195,3	129	0	1.404,9
Lugo	15	114,7	228	294,5	328,6	263,2	263,5	204	74,4	1.770,9
Madrid	15	43,4	204	300,7	316,2	246,5	192,2	102	0	1.404,9
Málaga	15	0	0	65,1	83,7	61,6	37,2	0	0	247,6
Melilla	15	0	0	49,6	80,6	70,0	24,8	0	0	225,0
Murcia	15	0	27	120,9	148,8	92,4	43,4	0	0	432,5
Orense	15	0	141	220,1	244,9	168,0	136,4	57	0	967,4
Oviedo	15	37,2	153	207,7	244,9	193,2	179,8	138	46,5	1.200,3
Palencia	15	89,9	252	344,1	362,7	282,8	241,8	171	37,2	1.781,5
Palma de Mallorca	15	0	24	111,6	155,0	126,0	88,8	24	0	527,4
Pamplona	15	58,9	204	291,4	325,5	266,0	217,0	147	24,8	1.534,5
Pontevedra	15	15,5	120	176,7	201,5	156,8	136,4	81	3,1	891,0
Salamanca	15	80,6	240	322,4	350,3	280,0	232,5	144	12,4	1.662,2
San Sebastián	15	0	111	167,4	207,4	179,2	142,6	99	6,2	913,1
Santa Cruz de Tenerife	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Santander	15	0	84	136,4	158,1	131,6	124,0	90	0	724,1
Santiago	15	21,7	138	189,1	213,9	176,4	158,1	114	18,6	1.029,8
Segovia	15	102,3	258	347,2	368,9	299,6	280,4	177	52,7	1.866,1
Sevilla	15	0	27	127,1	151,9	95,2	37,2	0	0	438,4
Soria	15	96,1	270	356,5	381,3	319,2	282,1	198	74,4	1.977,7
Tarragona	15	0	60	139,5	170,5	117,6	96,1	42	0	625,7
Teruel	15	86,8	240	341,0	368,9	302,4	257,3	165	40,3	1.801,7
Toledo	15	0	165	263,5	285,2	207,2	168,1	69	0	1.158,0
Valencia	15	0	42	120,9	155,0	117,6	74,4	0	0	515,9
Valladolid	15	93,0	240	334,8	359,6	277,2	232,5	150	21,7	1.708,8
Vigo	15	6,2	99	151,9	182,9	142,8	133,3	87	3,1	806,2
Vitoria	15	62,0	222	297,6	313,1	254,8	226,3	166	55,8	1.599,6
Zamora	15	58,9	222	288,3	334,8	260,4	198,4	132	6,2	1.501,0
Zaragoza	15	6,2	162	254,2	291,4	210,0	151,9	75	0	1.150,7

7.11.1 Reducción del caudal total: Se puede conseguir una reducción del caudal de aire a partir de un inventario de todas las extracciones y suministros de aire al local, determinando las que son necesarias, las que se pueden reemplazar por otros sistemas más eficaces o con nuevos diseños de campanas y las que quedarán obsoletas como consecuencia de los cambios introducidos.

Muchos de los diseños de campanas presentados en el Capítulo 10 están previstos específicamente para lograr una captura adecuada de los contaminantes con un caudal mínimo. Por ejemplo, el uso de puertas correderas horizontales en las campanas de laboratorio puede rendir un ahorro de hasta el 30 % del caudal de extracción sin disminuir la velocidad de captura. El uso de una campana diseñada específicamente, como la presentada en la Figura VS-206 para las mesas de evaporación, permite una buena captación de los contaminantes con un caudal muy inferior al que se precisaría con una campana típica de mesa de laboratorio. Los sistemas de bajo volumen y alta velocidad como los mostrados en las Figuras VS-801 a VS-807 se pueden utilizar en muchas herramientas manuales y operaciones de mecanizado y pueden controlar la emisión de contaminantes con muy poco caudal de aire.

En muchos talleres se observan extractores de pared y de techo instalados para eliminar calor o contaminantes molestos que serían controlados mucho mejor y con menos caudal de aire con extracciones localizadas. Muchos extractores de techo, tal como ya se ha indicado, se instalan para solucionar problemas que en realidad están ocasionados por una falta de suministro de aire. Cuando se consigue un suministro de aire correcto y la ventilación queda equilibrada, estos extractores pueden suprimirse.

Con frecuencia un buen diseño tiene en cuenta los principios de la captación y control local de los contaminantes para mejorar la eficacia del control y minimizar el caudal de aire necesario.

7.11.2 Suministro del aire exterior sin calentar: En muchas industrias que utilizan procesos calientes, el aire frío exterior se introduce sin calentar, o calentado ligeramente, para disipar la carga térmica sensible y proveer de una temperatura adecuada a los trabajadores expuestos a calor radiante. El aire necesario para alimentar compresores de gran tamaño o túneles de enfriamiento en fundiciones, también puede ser tomado directamente desde el exterior eliminando una carga de calefacción que de otra forma debería ser suministrada por el sistema de calentamiento de aire.

7.11.3 Recuperación de energía: La recuperación de la energía del aire extraído se puede lograr de dos formas: 1) Utilizando intercambiadores de calor para recuperar la energía antes de emitir el aire al exterior y 2) El retorno (recirculación) de aire procedente de los sistemas de extracción después de ser depurado. La aplicación de intercambiadores de calor en los sistemas de extracción está limitada principalmente por el tiempo de retorno de la inversión.

Intercambiadores de calor: Los intercambiadores de calor

de tipo aire-aire se han utilizado fundamentalmente para reducir el consumo de energía. Esto se consigue por la transferencia de calor desde la corriente de aire que se evacua a la corriente de aire introducido en el local o proceso. Los métodos y el equipo utilizado dependen de las características de las corrientes de aire. Los tipos principales de intercambiadores son las ruedas térmicas, los intercambiadores de placas fijas, los tubos de calor y los serpentines dobles cerrados.

Una rueda térmica es un cilindro giratorio relleno de un material permeable. Cuando el aire extraído pasa a través del relleno lo calienta. A medida que el relleno gira entra en contacto con la corriente de aire frío calentándolo. Hay que adoptar precauciones adecuadas para evitar que además de calor no se produzcan transferencias de contaminantes.

Un intercambiador de placas fijas consiste en un conjunto de pasos para el aire extraído y el aire de aporte separados por placas (en ocasiones es una combinación de placas y tubos). El aire caliente extraído transfiere calor a la placa, la cual a su vez lo transfiere al aire frío. Estos intercambiadores no utilizan más medio de transferencia que la placa que forma las paredes del equipo.

Un tubo de calor o termosifón está formado por un haz de tubos uno de cuyos extremos está en contacto con la corriente de aire caliente extraído y el otro con la corriente de aire frío introducido. Los tubos están llenos de un fluido que hierve en el extremo caliente extrayendo el calor de la corriente de aire y se condensa en el extremo opuesto liberando el calor hacia la corriente fría de aire exterior. El tubo de calor opera con un ciclo cerrado de evaporación/condensación.

Un intercambiador de serpentín doble utiliza dos serpentines de tubo fino interconectados por los que se hace circular un fluido térmico. El aire de extracción calienta el fluido, el cual a su vez calienta el aire frío en el segundo serpentín. Una ventaja de este equipo es que ambos serpentines pueden estar situados a cierta distancia uno del otro minimizando el riesgo de reentrada del aire al local: generalmente es el sistema que precisa menos conductos de aire y ocupa menos espacio en el techo del local.

Para la selección de un intercambiador hay que considerar algunos factores importantes. A continuación se presenta una lista parcial de los mismos:

1. La naturaleza de la corriente de aire extraído. Si contiene polvo o sustancias corrosivas puede ser necesaria una depuración.
2. Necesidad de aislar la corriente de aire contaminado de la corriente de aire limpio.
3. La temperatura del aire de extracción. Se precisará de una instalación suplementaria de calefacción a menos que la corriente de aire caliente se encuentre a una temperatura muy superior a la requerida para el aire de aporte y el aire de extracción esté a una temperatura superior a pesar de la demanda de calor de la corriente de aire de aporte.
4. Requisitos de espacio. Las necesidades de espacio para algunos tipos de intercambiadores son impor-

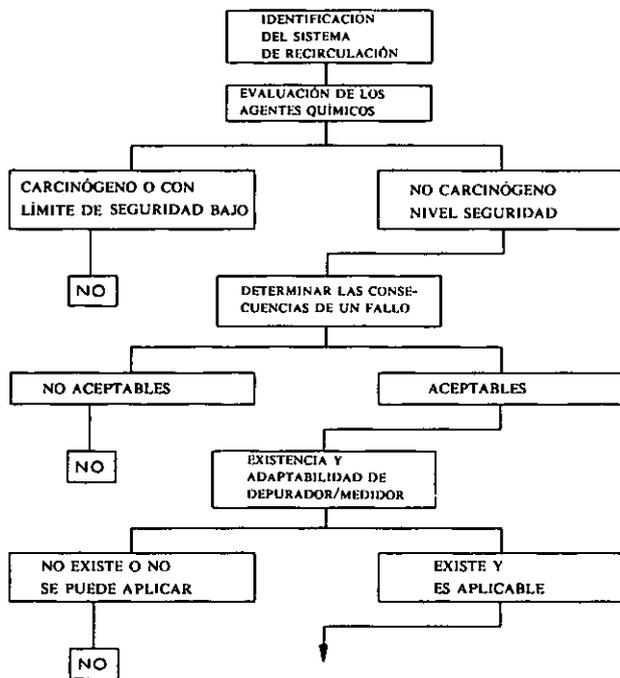
tantes, en especial cuando se deben instalar tramos de conducto adicionales.

5. La naturaleza de la corriente de aire. Muchos sistemas de extracción vehiculan aire sucio o corrosivo y se precisan materiales especiales de construcción.
6. La necesidad de un by-pass. Puede ser necesario un by-pass para la operación durante el verano o en caso de averías.

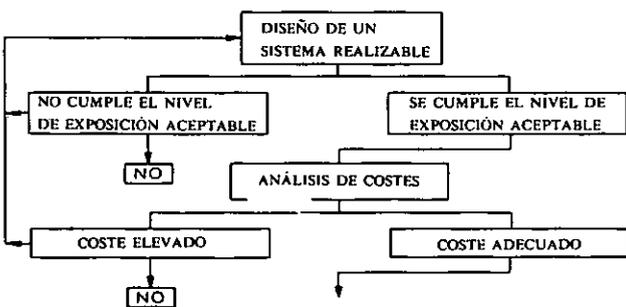
Recirculación del aire de los sistemas de extracción localizada: Cuando de un edificio o local se extraen grandes cantidades de aire utilizado para la captación de polvo, gases, humos o vapores, una cantidad equivalente de aire exterior calentado debe ser introducida en el recinto. Si la cantidad de aire de reposición es importante, el coste de la energía necesaria para acondicionarlo puede ser muy elevado. La recirculación del aire extraído después de hacerlo pasar a través de un depurador es un método que puede reducir el consumo de energía. La posibilidad de implantar un sistema de recirculación dependerá del riesgo higiénico asociado a los contaminantes captados y de una serie de factores técnicos, económicos y de seguridad. En la Figura 7-15 se presenta un diagrama lógico de la lista de factores que deben ser evaluados (7.6).

En esencia este diagrama establece que la recirculación es posible si se cumplen las siguientes condiciones:

I. DECISIÓN INICIAL



II. DISEÑO Y VIABILIDAD



III. EVALUACIÓN DEL SISTEMA



1. Las propiedades físicas, químicas y toxicológicas de los agentes químicos presentes en el aire a recircular deben ser conocidas y evaluadas. El aire conteniendo contaminantes cuya toxicidad es desconocida o para los que no se han establecido límites de exposición seguros no debe ser recirculado.
2. Se deben revisar los reglamentos administrativos relativos a la recirculación de aire a fin de conocer hasta qué punto existen limitaciones o prohibiciones a la recirculación en estudio.
3. Se debe tener previsto el efecto de un fallo en el sistema de recirculación. La recirculación no debe implantarse si un fallo en el sistema puede ocasionar una exposición que afecte a la salud de los trabajadores. Las sustancias que pueden ocasionar daños permanentes o alteraciones fisiológicas significativas como consecuencia de una sobreexposición breve no se deben recircular.
4. Se debe verificar la disponibilidad de un depurador adecuado. Debe instalarse un depurador que sea capaz de disminuir la concentración de contaminantes en el efluente hasta un valor lo suficientemente bajo para conseguir concentraciones aceptables en los puestos de trabajo.
5. Se deben tener en cuenta los efectos de los contaminantes minoritarios. Por ejemplo, los humos de soldadura pueden ser eliminados eficazmente con un filtro; sin embargo, si en el proceso de soldadura se generan óxidos de nitrógeno la recirculación puede ocasionar que la concentración de este contaminante en los puestos de trabajo alcance valores inaceptables.
6. El sistema de recirculación debe incorporar un sistema de medida continuo que genere una señal de alarma con tiempo suficiente para adoptar las acciones de corrección necesarias antes de que la concentración del contaminante recirculado alcance valores peligrosos en la zona de trabajo. La medición puede realizarse por varios métodos y la selección dependerá de las propiedades y riesgos de los contaminantes.

FIGURA 7-15 LÓGICA DE DECISIÓN PARA LA RECIRCULACIÓN

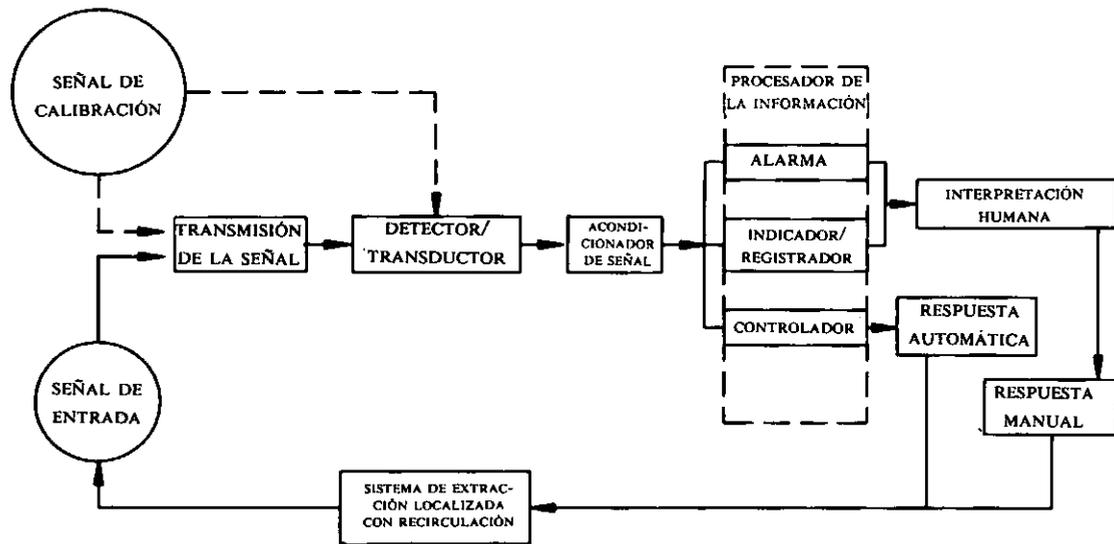


FIGURA 7-16 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA UNA RECIRCULACIÓN

Como ejemplo se pueden citar el control del ambiente general para los contaminantes molestos y la caída de presión en un filtro secundario de alta eficacia y medición de la concentración en continuo para los productos más peligrosos.

A pesar de que todos los componentes del sistema son importantes, hay que prestar una especial atención al sistema de medida. El requisito principal que debe cumplir es que debe detectar cualquier avería o fallo y generar una señal para el inicio de las acciones apropiadas que aseguren la ausencia de sobreexposiciones. La sofisticación del sistema de medida puede variar ampliamente. El tipo de medidor elegido dependerá de varios parámetros (p.ej., situación, naturaleza del contaminante—incluidos forma y tamaño—y grado de automatización).

7.11.4 Selección de medidores: La operación segura de un sistema de recirculación depende de la selección del mejor medidor para el sistema dado. En la referencia 7.7 se describen los cuatro componentes básicos de un sistema de medición completo que incluye transmisión de la señal, detector/transductor, acondicionador de señal y procesador de la información. En la Figura 7-16 se muestra un diagrama esquemático de un sistema que incorpora estos cuatro componentes. Es bastante común que los sistemas disponibles comercialmente no incluyan los cuatro elementos y el usuario debe montarse la instalación según su necesidad.

Por otra parte el contaminante puede ser extraído de la corriente de aire mediante un muestreo o medido en la misma corriente. Si se realiza un muestreo, éste debe ser representativo de las condiciones medias de la corriente. La turbulencia que existe a las velocidades normales en los conductos asegura una mezcla perfecta, de forma que las muestras de gases o vapores serán representativas. Sin embargo, para los aerosoles, la discriminación según el tamaño

de las partículas que realiza la sonda puede falsear los resultados de las mediciones de concentración, a menos que la muestra se obtenga en condiciones isocinéticas.

La selección del método de detección depende de las propiedades físicas y químicas medibles del contaminante. La cuantificación de los contaminantes particulados es generalmente más fácil que la de contaminantes gaseosos o aerosoles líquidos.

Partículas: Cuando el contaminante peligroso constituye la fracción mayoritaria del polvo total, las muestras captadas sobre filtros proporcionan una estimación adecuada de la concentración. Mejor aún, si el depurador primario (p.ej., un filtro de bolsas o de cartucho) tiene una baja penetración, puede resultar económico el uso de un filtro de alta eficacia como filtro secundario. Si el filtro primario falla el secundario impedirá el paso del polvo y además experimentará una rápida subida de la pérdida de carga que es fácilmente medible (ver la Figura 7-17).

Materia no particulada: La detección y cuantificación de forma precisa y exacta de muestras de gases y vapores es una materia compleja que escapa al alcance de este manual.

En la referencia 7.8 (ver los Capítulos U y V) se describen y evalúan diferentes aparatos de medida. El medidor en un sistema de recirculación debe ser capaz de operar de modo continuo durante períodos prolongados de tiempo sin necesidad de atención especial. También debe ser capaz de detectar rápidamente un cambio en el sistema y generar la alarma apropiada si se alcanza un valor predefinido. Para que funcione adecuadamente, los medidores deben ser muy fiables y deben ser mantenidos. Deben estar diseñados de forma que los posibles fallos sean pocos y puedan ser detectados fácilmente si se siguen los procedimientos de control recomendados por el fabricante. Los requisitos de mantenimiento deben ser simples, poco frecuentes y de corta duración.

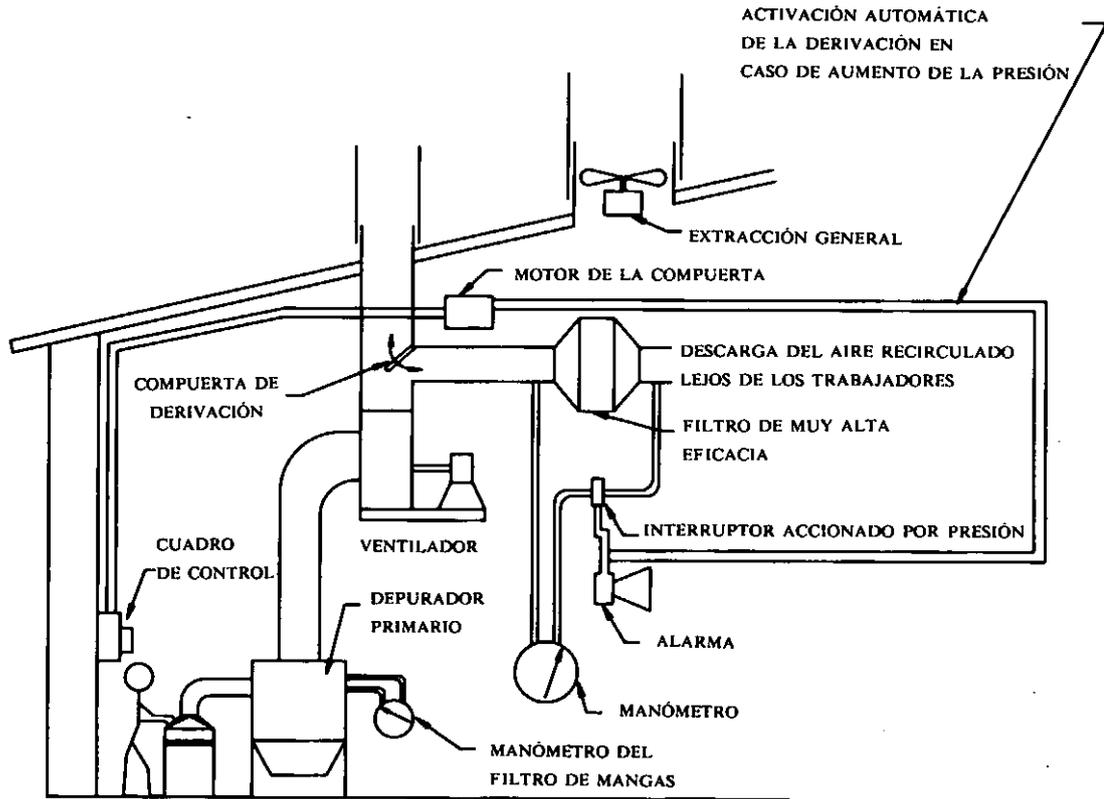


FIGURA 7-17 ESQUEMA DE UNA RECIRCULACIÓN DE AIRE CON DEPURADORES (MATERIA PARTICULADA)

7.12 EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN DE LOS TRABAJADORES

Las ecuaciones siguientes pueden utilizarse para determinar la concentración de un contaminante en el retorno del aire recirculado, cuando se alcancen las condiciones de equilibrio:

$$C_R = \frac{(1 - \eta)(C_E - K_R C_M)}{1 - K_R(1 - \eta)} \quad [7.3]$$

donde:

- C_R = concentración en el retorno de aire limpio después de instalar la recirculación, mg/m^3
- η = eficacia fraccionaria del depurador
- C_E = concentración en el conducto de extracción localizada antes de instalar la recirculación, mg/m^3
- K_R = factor que representa la fracción del caudal extraído que está compuesta por aire recirculado (valor comprendido entre 0 y 1)
- C_M = concentración en el aire de renovación, mg/m^3

$$C_B = \frac{Q_B}{Q_A} (C_G - C_M)(1 - f) + (C_O - C_M) / (f + K_B C_R + (1 - K_B) C_M) \quad [7.4]$$

donde:

- C_B = concentración en la zona respiratoria del operario, promedio ponderado sobre 8 horas después de instalar la recirculación, mg/m^3
- Q_B = caudal total de ventilación antes de instalar la recirculación
- Q_A = caudal total de ventilación después de instalar la recirculación
- C_G = concentración en el ambiente general del local antes de instalar la recirculación, mg/m^3
- f = factor que representa la fracción de tiempo en que el trabajador ocupa el puesto de trabajo
- C_O = concentración en la zona respiratoria del operario, promedio ponderado sobre 8 horas, antes de instalar la recirculación, mg/m^3
- K_B = fracción del aire en la zona de respiración del operario que está compuesta por aire recirculado (valor comprendido entre 0 y 1)

Los valores de los factores K_R , K_B y f dependerán de la posición del puesto de trabajo y del trabajador con respecto a la descarga del aire recirculado y de la posición del trabajador con respecto a la campana de extracción. El valor de K_R puede variar entre 0 y 1, el valor 0 indica que no hay aire recirculado en el caudal aspirado por la campana de extracción, y el valor 1 indica que el 100 % del aire aspirado por la campana es aire recirculado. De forma similar, el valor de K_B puede variar entre 0 y 1, el valor 0 indica que

no hay aire recirculado en la zona respiratoria del trabajador, y el valor 1 indica que el 100 % del aire en la zona respiratoria es aire recirculado. El factor f varía desde 0, que se aplica cuando el trabajador no permanece en el puesto de trabajo cuando el aire es recirculado, hasta 1 que se aplica cuando el trabajador permanece el 100 % del tiempo en el puesto de trabajo.

En muchos casos puede ser difícil la determinación de los datos necesarios para resolver las ecuaciones en una situación todavía no existente. Las estimaciones basadas en datos publicados u obtenibles por otros métodos pueden ser de gran utilidad. Una vez construido el sistema se debe comprobar que cumple con las especificaciones.

A continuación se desarrolla un ejemplo del uso de las ecuaciones (7-3) y (7-4) y el efecto de varios parámetros:

Sea un sistema con un caudal total de ventilación antes de implantar recirculación (Q_B) de 5 m³/s consistente en 2,5 m³/s de ventilación general y 2,5 m³/s de extracción localizada. Se recircula el caudal de la extracción localizada resultando una ventilación de 5 m³/s consistente en 2,5 m³/s de aire recirculado y 2,5 m³/s de aire exterior.

Se supone que la posición de descarga del retorno es poco favorable (K_R y $K_B = 1$) y que el trabajador permanece todo el tiempo en el puesto de trabajo ($f = 1$); la eficacia del depurador es $\eta = 0,95$; la concentración en el conducto de extracción localizada es $C_E = 500$ ppm; la concentración ambiental en el local es $C_G = 20$ ppm; la concentración en el aire de renovación es $C_M = 5$ ppm; la concentración en el puesto de trabajo (zona respiratoria) antes de implantar la recirculación es $C_O = 35$ ppm; y el valor TLV para el contaminante es de 50 ppm.

La ecuación 7-3 da el valor de la concentración en el aire de retorno de la recirculación:

$$C_R = \frac{(1 - \eta)(C_E - K_R C_M)}{1 - K_R(1 - \eta)}$$

$$= \frac{(1 - 0,95)(500 - 1 \times 5)}{1 - [1 \times (1 - 0,95)]} = 26,1 \text{ ppm}$$

La ecuación 7-4 da el valor de la concentración en la zona respiratoria del trabajador:

$$C_B = \frac{Q_B}{Q_A} (C_G - C_M)(1 - f) + (C_O - C_M)f$$

$$+ K_B C_R + (1 - K_B) C_M =$$

$$= \frac{5}{5} (20 - 5)(1 - 1) + (35 - 5)1 + 26,1 + (1 - 1)5 = 56,1 \text{ ppm}$$

Obviamente, 56,1 ppm supera el valor TLV de 50 ppm y por tanto el sistema es inaceptable.

Para lograr que la concentración en la zona respiratoria (C_B) sea inferior, el sistema debe ser rediseñado de forma que al puesto de trabajo únicamente llegue el 50 % de aire recirculado. Con ello los factores K_R y K_B se reducirán a

0,5. Sustituyendo estos nuevos valores en las ecuaciones 7-3 y 7-4, la concentración calculada para la zona respiratoria resulta ser de 45,3 ppm. Este valor es inferior al TLV de 50 ppm y por tanto aceptable.

Es posible el planteamiento de algunos problemas al diseñar un sistema de recirculación. Los factores que se deben considerar son:

1. El sistema de recirculación debe estar diseñado, siempre que sea posible, de forma que el aire pueda ser derivado hacia el exterior en vez de recirculado, cuando las condiciones climáticas lo permitan. Si un sistema está concebido para ahorrar energía durante los meses de invierno y si las ventanas y puertas permiten una entrada adecuada de aire de renovación, el sistema puede descargar el aire al exterior en la época cálida. Si se da la circunstancia de que el recinto dispone de aire acondicionado o si es necesaria la reposición del aire por medios mecánicos de forma continua la derivación del aire recirculado hacia el exterior puede no ser conveniente.
2. Los depuradores húmedos también actúan como humidificadores. La recirculación del aire a través de un equipo de este tipo puede ocasionar un aumento de la humedad del ambiente que resulte inconfortable y es conveniente prever una ventilación auxiliar u otro método adecuado para evitar un exceso de humedad.
3. La concentración en la salida de un depurador puede variar con el tiempo. Los datos utilizados en el diseño y los programas de comprobación del sistema deben tener en cuenta los períodos de operación del depurador.
4. El trazado y diseño de los conductos del circuito de recirculación debe prever la mezcla correcta con otros suministros de aire y evitar los chorros sobre los trabajadores o las corrientes de aire que puedan alterar el funcionamiento de las campanas de extracción.
5. Un depurador de aire secundario, tal como el indicado en el ejemplo de la recirculación de aire con partículas, es preferible a un medidor continuo de la concentración, ya que generalmente es más seguro y requiere menos sofisticación en el mantenimiento.
6. Se deben tener en cuenta los olores o los efectos molestos de los contaminantes además de los valores límites reglamentarios. En algunas zonas, el aire limpio recirculado, suministrado por un sistema equipado con dispositivos de seguridad, puede ser de mejor calidad que el aire del ambiente exterior disponible como aire de renovación.
7. En los sistemas de recirculación se deben implantar procedimientos de mantenimiento, comprobaciones rutinarias y el registro de los resultados.
8. También se debe prever la comprobación periódica del ambiente en el local de trabajo.
9. Se debe instalar un cartel en un lugar visible cuyo texto sea similar a:

PRECAUCIÓN

EN ESTA INSTALACIÓN SE DEPURA AIRE QUE CONTIENE SUSTANCIAS PELIGROSAS HASTA UN NIVEL SEGURO Y LUEGO SE DEVUELVE AL LOCAL. LAS SEÑALES DE ALARMA INDICAN AVERÍAS QUE DEBEN SER ATENDIDAS DE FORMA INMEDIATA: DETENER LA RECIRCULACIÓN, ENVIAR EL AIRE HACIA EL EXTERIOR, O DETENER EL PROCESO INMEDIATAMENTE.

REFERENCIAS

- 7.1. American Industrial Hygiene Association: *Heating and Cooling Man and Industry*. Akron, OH (1969).
- 7.2. Hart and Cooley Manufacturing Co.: *Bulletin E-6*. Holland, MI.
- 7.3. Hama, G.: "How Safe Are Direct-Fired Makeup Units?". *Air Engineering*, p. 22 (Sept. 1962).
- 7.4. National Fire Protection Association, 470 Atlantic Ave., Boston, MA 02210.
- 7.5. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers: *Heating Ventilating and Air Conditioning Guide*. Atlanta, GA (1963).
- 7.6. R. T. Hughes and A. A. Amendola: "Recirculating Exhaust Air: Guides, Design Parameters and Mathematical Modeling". *Plant Engineering* (marzo 18, 1982).
- 7.7. *The Recirculation of Industrial Exhaust Air-Symposium Proceedings*. Department of Health, Education and Welfare (NIOSH) Pub. N.º 78-141 (1978).
- 7.8. American Conference of Governmental Industrial Hygienists: *Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants*, 6.ª ed., Cap. U y V. Cincinnati, OH (1983).

Capítulo 8

**RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
SISTEMAS DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA**

8.1 INTRODUCCIÓN	8-2	8.6 NORMAS	8-5
8.2 GENERALIDADES	8-2	8.7 OTROS TIPOS DE MATERIALES PARA CONDUCTOS	8-5
8.3 MATERIALES.....	8-2	8.8 ENSAYOS	8-5
8.4 CONSTRUCCIÓN	8-2	REFERENCIAS	8-5
8.5 DETALLES CONSTRUCTIVOS	8-5		

8.1 INTRODUCCIÓN

En la industria, los conductos se utilizan para muy diversas aplicaciones. Usualmente se emplean en el campo de las bajas presiones estáticas (-250 a +250 mmca), aunque ocasionalmente pueden utilizarse para valores superiores. El conducto transporta aire o gases que se encuentran, en ocasiones, a temperaturas elevadas y que, frecuentemente, están contaminados por partículas abrasivas o aerosoles corrosivos. Sean las condiciones severas o poco exigentes, un diseño correcto y una instalación apropiada de campanas y conductos son condiciones necesarias para el adecuado funcionamiento de un sistema de ventilación. Se recomienda el cumplimiento de las especificaciones mínimas que se dan a continuación.

8.2 GENERALIDADES

Los sistemas de extracción localizada deben construirse con materiales adecuados a las condiciones de funcionamiento, e instalarse de forma permanente y correcta. A fin de minimizar el rozamiento y las turbulencias, el interior de los conductos debe ser liso y libre de obstrucciones, especialmente en las uniones.

8.3 MATERIALES

Los conductos se construyen usualmente en tubo de acero soldado, unido mediante bridas y juntas, o de chapa de acero galvanizado, a menos que la presencia de gases corrosivos, vapores, nieblas u otras circunstancias hagan poco práctico el empleo de dichos materiales. La soldadura al arco de tubo de acero de espesor inferior a 1,5 mm no es recomendable. La construcción en chapa no es aconsejable para temperaturas superiores a 200 °C. La presencia de gases, nieblas o vapores corrosivos puede requerir el empleo de metales resistentes a la corrosión, plásticos o recubrimientos especiales. Cuando se prevé la presencia de sustancias corrosivas es aconsejable consultar a un especialista para la selección del material más adecuado. La Tabla 8-2 proporciona una guía para la selección de materiales para condiciones corrosivas.

8.4 CONSTRUCCIÓN

1. En aplicaciones no corrosivas los sistemas de extracción localizada se clasifican en cuatro grupos:
 - A. **Clase 1 – Prestaciones bajas:** Incluye aplicaciones no abrasivas, por ejemplo aire de reposición, ventilación general, control de emisiones gaseosas.
 - B. **Clase 2 – Prestaciones medias:** Incluye aplicaciones con partículas moderadamente abrasivas a bajas concentraciones, por ejemplo, pulido y

abrillantado, trabajo de la madera, polvo de cereales.

- C. **Clase 3 – Prestaciones elevadas:** Incluye aplicaciones con partículas altamente abrasivas a bajas concentraciones, por ejemplo, operaciones de limpieza por abrasión, secaderos y hornos, humos de caldera, manipulación de arena.
 - D. **Clase 4 – Prestaciones muy elevadas:** Incluye aplicaciones con partículas altamente abrasivas a concentraciones elevadas, por ejemplo transporte de materiales con alto contenido en partículas en todas las situaciones citadas en la Clase 3 (usualmente utilizadas en la industria pesada, como acerías, fundiciones y minería).
2. En la mayor parte de las aplicaciones en ventilación industrial, control de la contaminación atmosférica y captación de polvo, es recomendable el empleo de conductos de sección circular. En comparación con los conductos no circulares presentan una menor pérdida de carga y una mayor resistencia estructural que permite el empleo de menores espesores de chapa y menos refuerzos. Los conductos circulares deben construirse según lo indicado en la referencia 8.1. El espesor necesario para los conductos circulares depende de la clase del sistema, la presión estática, los refuerzos y la distancia entre soportes. Los espesores requeridos para cada una de las cuatro clases se basan en la experiencia de diseño y utilización (ver Tabla 8-1).

TABLA 8-1 Tabla de valores recomendados para espesores de conductos

Diámetro de los tramos rectos, mm	Espesores recomendados* mm			
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
100 hasta 200	0,8-1	0,8-1,5	1,5	2
más de 200 hasta 450	0,8-3	0,8-3	1,5-3	2-3
más de 450 hasta 750	1-5	1,5-5	1,5-5	2-5
más de 1750	2-7	2-7	3-7	3-7

* Los espesores varían con la clasificación, presión, refuerzos, y distancia entre soportes. NOTA: Los espesores inferiores a 1,5 mm no pueden soldarse.

3. Los conductos rectangulares sólo deben emplearse cuando los requerimientos de espacio no hacen posible el empleo de conducciones circulares. Los conductos rectangulares deben ser tan cuadrados como sea posible a fin de minimizar su pérdida de carga, y construirse según lo indicado en la Referencia 8.2.
4. En muchas aplicaciones el conducto de chapa arrollada en espiral es más económico que el construido ex-profeso. Sin embargo, el conducto en espiral no debe emplearse para las clases 3 y 4 porque no resiste bien la abrasión. Los codos, uniones y otros acopla-

TABLA 8-2 Propiedades físicas y químicas típicas de los principales plásticos

Familia química	Nombres comerciales	Resistencia a									
		Temperat. máx. °C	Inflamabilidad	Gasolina	Aceite mineral	Álcalis fuertes	Álcalis débiles	Ácidos fuertes	Ácidos débiles	Soluc. salinas	Disolv.
Urea formol	Beetle Plaskon Sylplast	77	Autoext.	Buena	Buena	Inacep.	Accept.	Reg.	Reg.	-	Buena
Melamina Formol	Cymel Plaskon Resimene	99-149	Autoext.	Buena	Buena	Reg.	Buena	Reg.	Buena	-	Buena
Fenólica	Baquelita Durite Durez G.E.	121-232	Autoext.	Accept.	-	Reg.	Accept.	Reg.	Accept.	-	Accept.
Alquídica	Plaskon	-	Autoext.	Buena	-	Inacep.	Reg.	-	Buena	-	Accept.
Silicona	Baquelita G.E.	289	-	Buena	Buena	-	-	Buena	Buena	-	Inacep.
Epoxi	Epiphen Araldit Maraset Renite Tool Plastic Epon Resin	10-93	Autoext.	Buena	-	Buena	Buena	Buena	Buena	-	Buena
Cast Phenolic	Marblette	-	Autoext.	-	-	Inacep.	Reg.	Buena	Buena	-	Buena a inacep.
Allyl y Poliéster	Laminac Baquelita Plaskon Glycon Paraplex	149-232	Autoext.	-	-	Mala	Reg.	Mala	Reg.	-	Reg.
Acrílica	Lucite Plexiglas Wascoline	60-93	1,25-5 cm/min	-	-	-	Buena	Inacep.	Buena	-	Buena a inacep.
Poliétileno	Tenite Irrathene	60-93	Quema lentam.	-	-	-	-	-	-	-	Inacep.
Tetrafluoroetileno	Teflon Kel F	260	No inflam.	Buena	-	Buena	Buena	Buena	Buena	-	Buena
Clorotri-fluoroetileno											
Polivinyl Formal y Butyral	Vinylite Butacite Saflex Butvar Formuar	-	Quema lentam.	Buena	Buena	Buena	Buena	Inacep.	Inacep.	-	Inacep.
Cloruro de vinilo, polímeros y copolímeros	Krene Bakelite Vinyl Dow pvc Vygen	54-79	Quema lentam.	-	-	Buena	Buena	Buena	Buena	-	Inacep.
Cloruro de vinilideno	Saran	71-93	Autoext.	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	-	Regular
Estireno	Bakelita Catalin Styron Dylene Luxtrex	66-74	1,2-5 cm/min	Inacep.	Acep.	Buena	Buena	-	-	Buena	Regular
Poliestireno reforzado con fibra de vidrio				Inacep.	Acep.	Buena	Buena	-	-	Buena	Regular
Acetato de celulosa	Celanese Acetate Tenite	Termoplástico	1,2-5 cm/min	Buena	Buena	Inac.	Inac.	Inac.	Buena	-	Regular
Nylon	Plaskon Zytel Tynex	121	Autoex.	Buena	Buena	Buena	Buena	Inac.	Buena	-	Buena
Vidrio	Pyrex	232	No inflam.	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena

NOTA: Cada situación debe ser extensamente verificada a fin de controlar la compatibilidad de los materiales a emplear, tanto durante la fase de diseño como si se efectúa alguna modificación del funcionamiento.

mientos similares deben ser, si ello es necesario para garantizar un buen diseño, construidos ex-profeso. Las recomendaciones especiales para el empleo del conducto en espiral son las siguientes:

- A. A menos que las uniones se efectúen mediante bridas, el conducto requiere un soporte en las inmediaciones de cada unión, normalmente a no más de 5 cm. Puede ser necesario el empleo de soportes adicionales. Véase la Referencia 8.1.
 - B. Las uniones deben sellarse por métodos apropiados según las condiciones de utilización.
 - C. Una vez instalados los sistemas, debe verificarse la posible existencia de fugas a la máxima presión estática prevista. El caudal de fuga no debe superar el 1 % del caudal de diseño.
5. Para el cálculo del espesor de conductos en materiales distintos del acero puede emplearse la siguiente fórmula, tomada de la Referencia 8.1.
Para un conducto de longitud infinita, el espesor necesario puede también calcularse a partir de la siguiente ecuación:^(8.1)

$$\frac{t}{D} = \sqrt[3]{0,001406 p \left(\frac{1 - \sigma^2}{E} \right) (1321 + D)}$$

donde:

- t = espesor de la pared del conducto, mm
 D = diámetro del conducto, mm
 p = magnitud de la presión negativa sobre el conducto, kg/cm²
 E = módulo de elasticidad, kg/cm²
 σ = módulo de Poisson

La ecuación anterior para conductos de Clase 1 incluye un coeficiente de seguridad que varía linealmente con el diámetro (D), empezando en 4 para conductos pequeños y llegando a 8 para conductos de 1500 mm de diámetro. Este coeficiente de seguridad es el habitual en la industria a fin de tener en cuenta factores tales como una sección no perfectamente circular, valores excesivos de presión negativa debidos a la acumulación de partículas en el interior del conducto y otros defectos de fabricación o instalación que escapen al control de calidad, y las tolerancias admitidas por las especificaciones de diseño.

Para las Clases 2, 3 y 4 hay que emplear espesores de chapa superiores. El proyectista debe ineludiblemente consultar en las normas SMACNA los procedimientos de diseño detallados.

6. Las campanas deben ser, como mínimo, entre 0,5 y 1 mm más gruesas que los tramos rectos de los conductos, carecer de bordes afilados y rebabas, y reforzarse a fin de lograr la rigidez adecuada.
7. Las uniones longitudinales deben ser soldadas. Todas las soldaduras deben efectuarse según las normas del código estructural de la American Welding Society

(AWS)^(8.3). Las uniones por plegado deben limitarse a los conductos de Clase 1.

8. Los sistemas de conductos sometidos a fluctuaciones de temperatura importantes deben dotarse de las oportunas juntas de expansión. Los materiales flexibles empleados para tal fin deben elegirse teniendo en cuenta las temperaturas a emplear y las características corrosivas de la aplicación.
9. Los codos deben ser, al menos, entre 0,5 y 1 mm más gruesos que los tramos rectos de igual diámetro y tener un radio de curvatura como mínimo 1,5 veces mayor que el diámetro y, preferiblemente, ser el doble de éste (ver Figura 8-1). Cuando se vehiculan polvos muy abrasivos es recomendable emplear radios de curvatura grandes.
10. Los codos de 90° deben construirse con cinco piezas en el caso de conductos circulares hasta 150 mm de diámetro y con siete piezas para tamaños superiores. Los codos de menos de 90° deben tener un número de piezas proporcional. Deben emplearse codos prefabricados de construcción lisa (ver Figura 8-2 para codos de altas prestaciones).
11. Los cambios de sección en los conductos principales y subprincipales deben ser progresivos. La adaptación debe ser al menos cinco veces más larga que la diferencia de diámetro o tener un ángulo de 30° (ver Figura 8-3).
12. Todas las ramas deben incorporarse al conducto principal en el centro de la zona de transición con un ángulo preferiblemente de 30° y que no debe exceder de 45°. A fin de minimizar las turbulencias y evitar, en su caso, la deposición de partículas, las uniones deben hacerse lateralmente o desde arriba, evitando que dos ramas se unan al conducto principal en el mismo punto (ver Figura 8-3).
13. Cuando el aire contenga partículas susceptibles de depositarse en los conductos deben disponerse compuertas de limpieza en los tramos horizontales y verticales y en las proximidades de codos y uniones. Las compuertas no deben estar a más de 4 metros una de otras en conductos de diámetro inferior a 300 mm, aunque esta separación puede ser mayor para diámetros superiores (ver Figura 8-4). En todos los extremos ciegos de conducto deberán instalarse tapas practicables, con la última conexión no más lejos de 15 cm de la tapa.
14. Cuando puedan producirse condensaciones, el sistema de conductos debe ser estanco a los líquidos, adoptándose las pendientes adecuadas para un correcto drenaje.
15. Antes de la conexión al ventilador deberá disponerse un tramo recto de longitud no inferior a seis diámetros (ver Figura 8-5). Los codos y otros puntos singulares situados en las proximidades de la entrada del ventilador reducen seriamente el caudal (ver Figuras 6-16 a 6-21 y AMCA 201)^(8.3). El diámetro del conducto debe ser aproximadamente igual al de la boca

de entrada del ventilador.

16. Las chimeneas de descarga deben ser verticales y terminar en un punto tal que la altura o la velocidad del aire limiten la posibilidad de que el aire extraído retorne al local a través de los puntos de toma de aire exterior o de otras aberturas (ver Figuras 8-6 y 8-7).

8.5 DETALLES CONSTRUCTIVOS

1. Los soportes de los conductos deben tener una resistencia suficiente para soportar el peso del sistema más el peso del conducto lleno hasta la mitad con el producto que se vehicula, sin generar un esfuerzo en los equipos a los que está conectado el conducto. (Ver las normas SMACNA (8.1.8.2)).
2. Deje espacio suficiente entre los conductos y las paredes, el techo y el pavimento, a fin de permitir una instalación y mantenimiento adecuados.
3. Instale compuertas de cierre automático en caso de incendio, venteos antiexplosiones, etc. de acuerdo con lo prescrito en los Códigos de la National Fire Protection Association y otras normas aplicables.
4. Evite el empleo de válvulas de atajadera o similares. Sin embargo, si deben emplearse compuertas para el equilibrado del sistema, sitúelas en las proximidades de las uniones de las ramas al conducto principal. Para reducir los desajustes instale mecanismos que permitan fijar la posición de las compuertas una vez se hayan efectuado los ajustes necesarios (en la Figura 8-8 pueden verse distintos tipos).
5. Tenga en cuenta las vibraciones y las dilataciones. Instale una conexión flexible entre el conducto y el ventilador a menos que existan razones concretas que lo hagan desaconsejable. El ventilador y su correspondiente motor deben montarse sobre una bancada común de suficiente peso para amortiguar las vibraciones, o sobre amortiguadores adecuadamente diseñados.
6. Los ventiladores que extraen de atmósferas explosivas o inflamables requieren una construcción especial (ver Sección 6.3.9).
7. No permita que se añadan campanas o conductos a un sistema existente a menos que ello hubiera sido tenido específicamente en cuenta al diseñarlo o que se modifique adecuadamente el sistema.

8.6 NORMAS

Cuando las normativas locales no se ajusten a lo dicho hasta aquí, deberán aplicarse los criterios más exigentes.

Puede ser necesario solicitar las autorizaciones oportunas para incumplir la normativa.

8.7 OTROS TIPOS DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CONDUCTOS

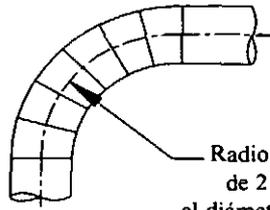
1. Evite el empleo de conductos flexibles. Cuando sea imprescindible utilice un tipo que no sea colapsable y no emplee una longitud mayor que la estrictamente necesaria. Consulte los datos del fabricante para el cálculo de la pérdida de carga.
2. Para conductos de pequeño diámetro (hasta 150 mm) el tubo sin soldadura disponible en el comercio puede resultar la opción más económica, incluido el coste de instalación.
3. Para ciertas aplicaciones (por ejemplo, sustancias corrosivas a baja temperatura) el tubo de plástico puede resultar la mejor opción. Para temperaturas superiores considere la fibra de vidrio o los conductos con recubrimiento.
4. La pérdida de carga de los conductos especiales será probablemente diferente de la obtenida de las Figuras 5-18A y 5-18B. Para información específica deben consultarse los datos del fabricante o la Figura 5-22.

8.8 ENSAYOS

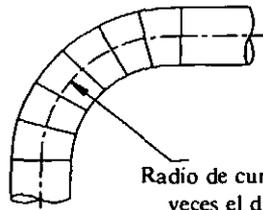
El sistema de extracción debe probarse y evaluarse (ver el Capítulo 9). En la chimenea de descarga deberán preverse los oportunos orificios, a fin de poder comprobar que se respeta la normativa sobre contaminación ambiental.

REFERENCIAS

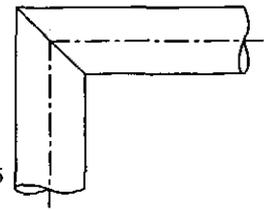
- 8.1. Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Assoc., Inc.: *Round Industrial Duct Construction Standards*. 8224 Old Courthouse Rd., Tysons Corner, Vienna, VA 22180 (1982).
- 8.2. Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Assoc., Inc.: *Rectangular Industrial Duct Construction Standards*. 8224 Old Courthouse Rd., Tysons Corner, Vienna, VA 22180 (1982).
- 8.3. American Welding Society: (AWS D1.1-72). P.O. Box 351040, Miami, FL 33135.
- 8.4. Air Movement & Control Associations, Inc.: *AMCA Publication 201*. 30 West University Drive, Arlington Heights, IL 60004.



PREFERIBLE



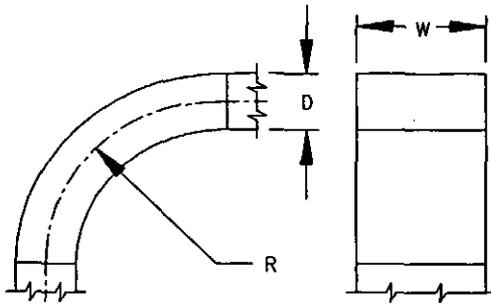
ACEPTABLE



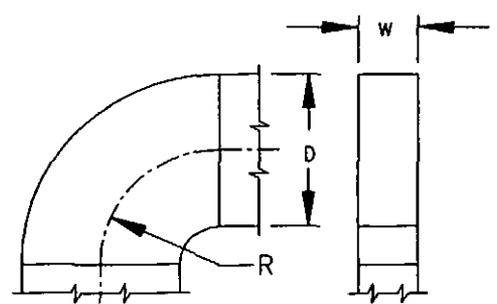
NO RECOMENDABLE

RADIO DE LOS CODOS

Los codos deben tener un diámetro entre 2 y 2,5 veces el diámetro del conducto, salvo cuando no haya espacio suficiente



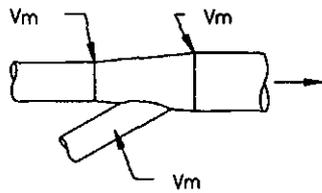
PREFERIBLE



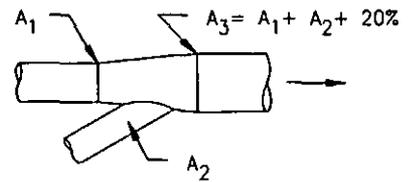
NO RECOMENDABLE

FACTOR DE FORMA (W/D)

Los codos deben tener (W/D) y (R/D) iguales o superiores a la unidad



PREFERIBLE

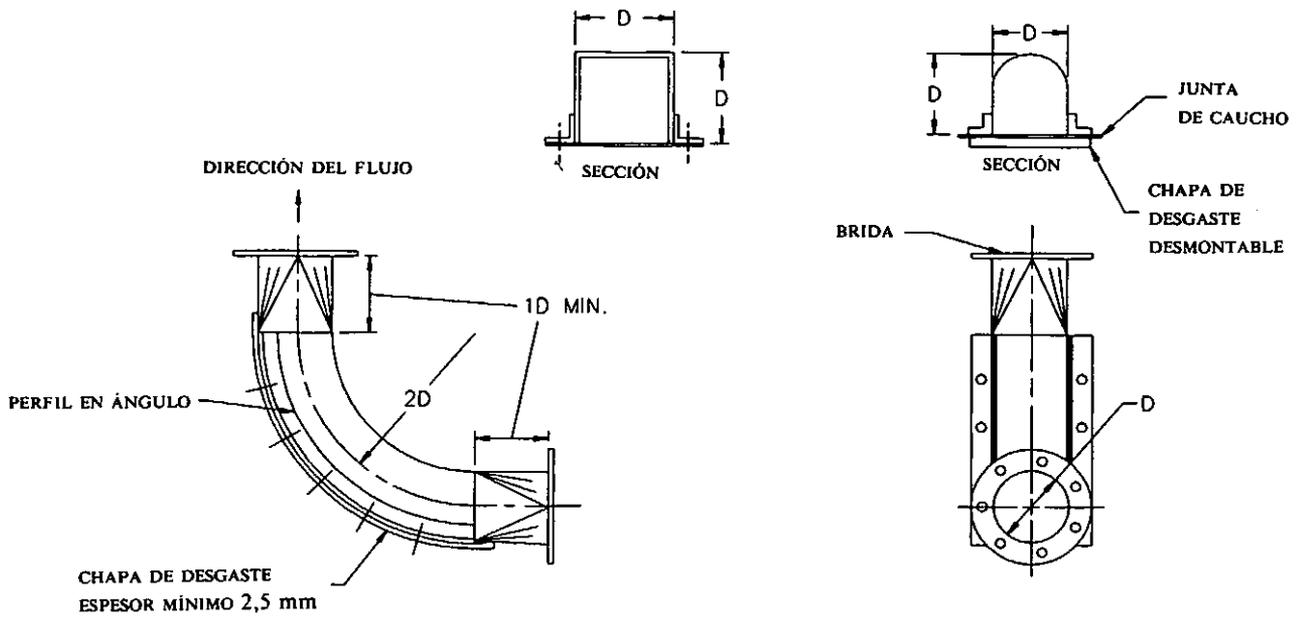


NO RECOMENDABLE

V_m = Velocidad mínima de transporte
 A = Sección del conducto

DIMENSIONAMIENTO ADECUADO DEL CONDUCTO

Dimensione el conducto para que se mantenga una velocidad igual o superior a la velocidad mínima de transporte



CODO REFORZADO CON UNA CHAPA



CODO REFORZADO CON HORMIGÓN

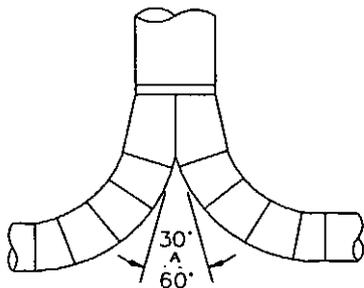
NOTA: DISPONGA SOPORTES RESISTENTES PARA LOS CODOS REFORZADOS CON HORMIGÓN

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

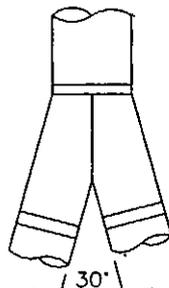
CODOS DE ALTAS PRESTACIONES

FECHA 1-88

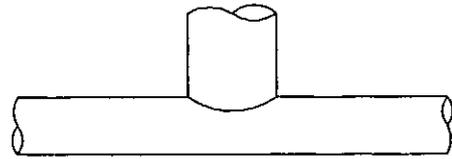
FIGURA 8-2



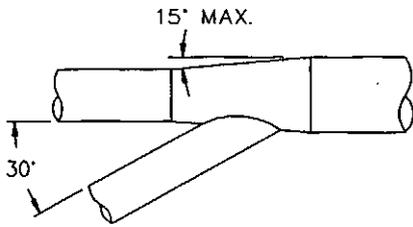
PREFERIBLE



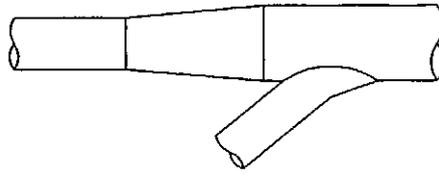
PREFERIBLE



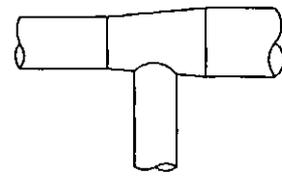
NO RECOMENDABLE



PREFERIBLE



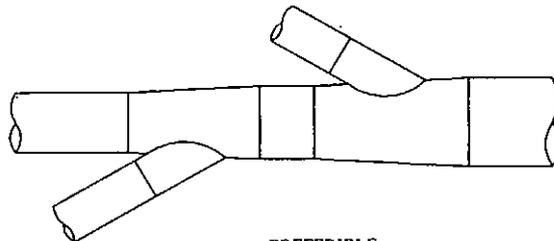
ACEPTABLE



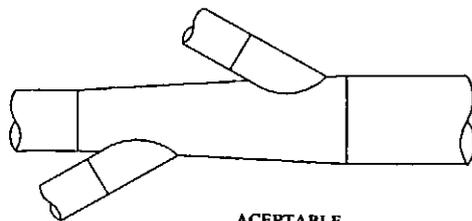
NO RECOMENDABLE

UNIONES

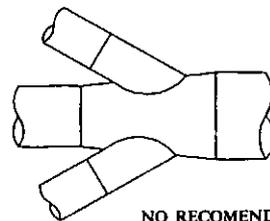
LAS UNIONES DEBEN PRODUCIRSE EN TRAMOS DE EXPANSIÓN GRADUAL Y A UN ÁNGULO DE 30° O MENOS (PREFERIBLE) HASTA 45° SI ES NECESARIO



PREFERIBLE



ACEPTABLE



NO RECOMENDABLE

UNIONES

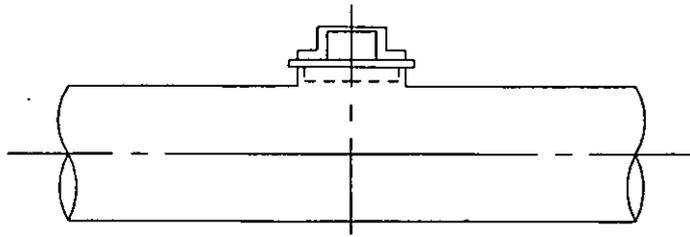
LAS RAMAS LATERALES NO DEBEN CONECTARSE EN EL MISMO PUNTO

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

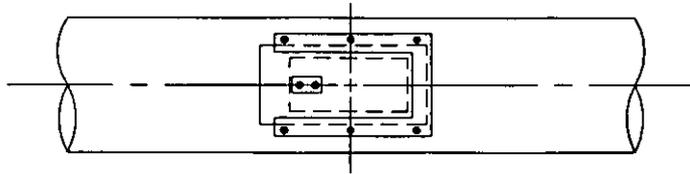
PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN
DE CONDUCTOS

FECHA 1-88

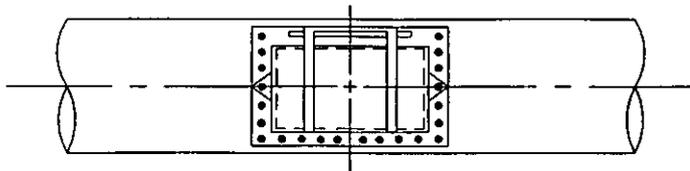
FIGURA 8-3



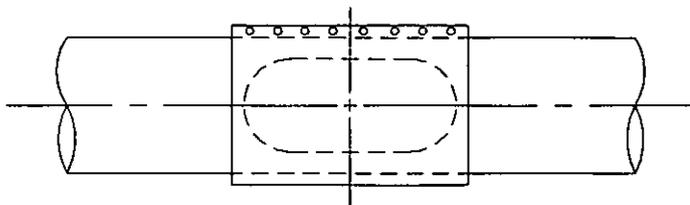
TAPA EXTRAÍBLE



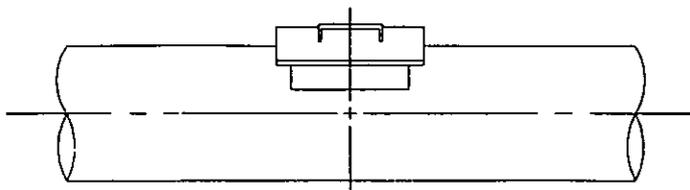
TAPA DESLIZANTE



TAPA CON BISAGRAS



TAPA ABRAZADERA
(TAMBIÉN PUEDE EMPLEARSE EN LA UNIÓN CON EL VENTILADOR)



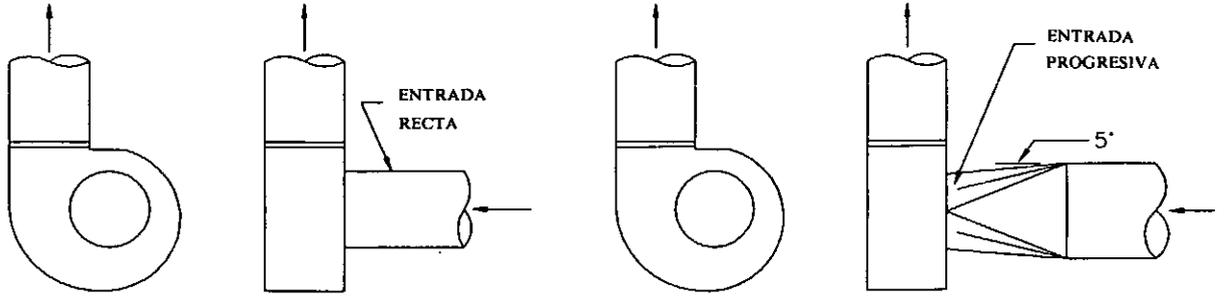
TAPA EXTRAÍBLE

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

ABERTURAS PARA LIMPIEZA

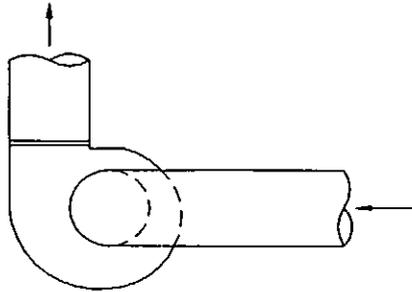
FECHA 1-88

FIGURA 8-4

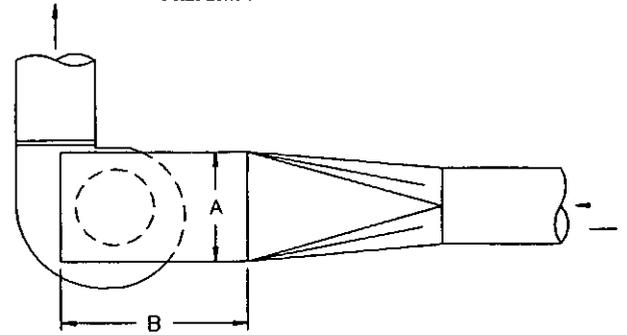


PREFERIBLE

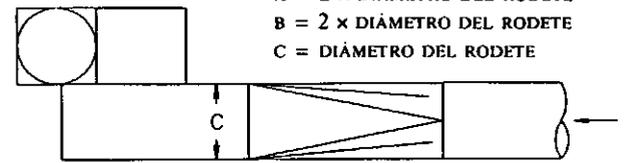
PREFERIBLE



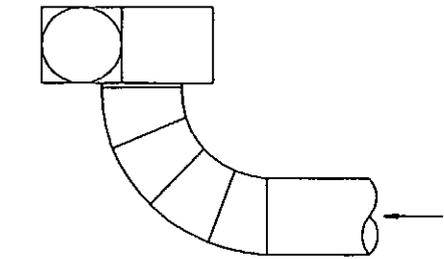
ACEPTABLE



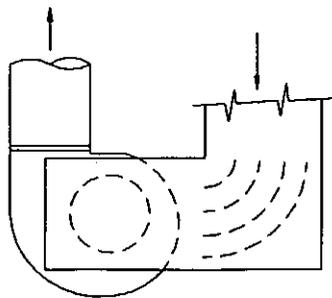
A = 2 x DIÁMETRO DEL RODETE
 B = 2 x DIÁMETRO DEL RODETE
 C = DIÁMETRO DEL RODETE



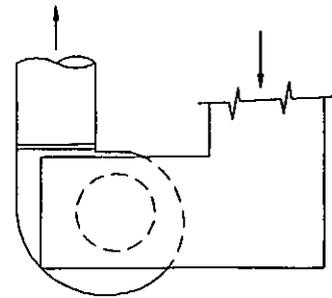
ACEPTABLE



ALETAS DIRECTRICES



ACEPTABLE



NO RECOMENDABLE

ENTRADA AL VENTILADOR

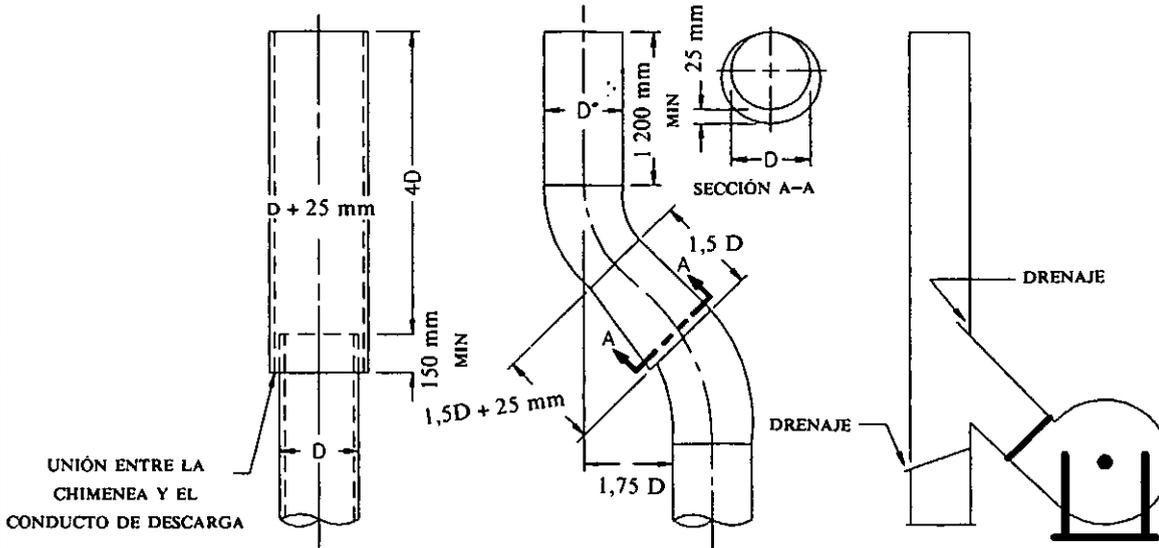
ES PREFERIBLE UNA ENTRADA RECTA: SI ES NECESARIO QUE HAYA UN CODO A LA ENTRADA, DISPONGA EN ELLA UNA CAJA CON DEFLECTORES A FIN DE ELIMINAR LAS TURBULENCIAS DEL AIRE O EL DESEQUILIBRIO DEL RODETE DEL VENTILADOR. LAS CAJAS DE ENTRADA NO DEBEN EMPLEARSE CUANDO EL AIRE VA CARGADO DE POLVO

AMERICAN CONFERENCE
 OF GOVERNMENTAL
 INDUSTRIAL HYGIENISTS

PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN
 DE CONDUCTOS

FECHA 1-88

FIGURA 8-5

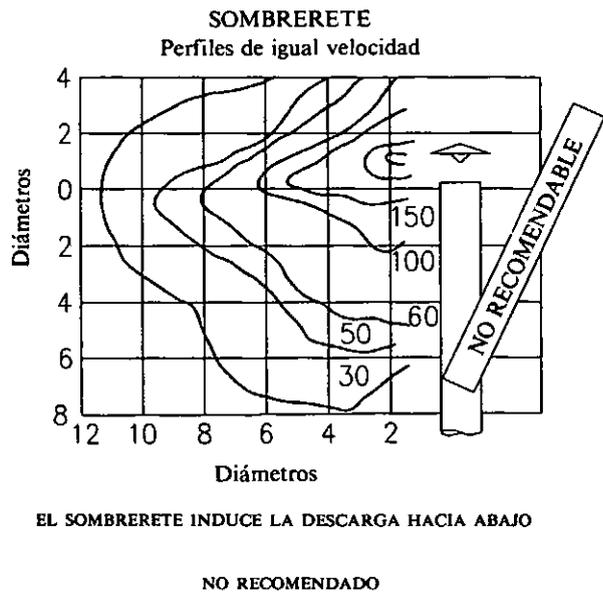
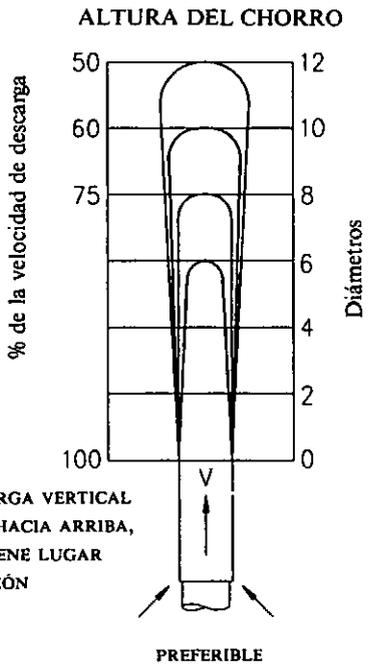


DESCARGA VERTICAL (87/116)
SIN PÉRDIDAS

DOBLE CODO (106)
CALCULAR LAS PÉRDIDAS DEBIDAS A LOS CODOS

SALIDA DESPLAZADA (106)
CALCULAR LAS PÉRDIDAS DEBIDAS A LOS CODOS

1. ESTOS DISEÑOS PROPORCIONAN UNA PROTECCIÓN FRENTE A LA LLUVIA MEJOR QUE LA DE UN SOMBRERETE SITUADO 0,75 DIÁMETROS POR ENCIMA DE LA BOCA DE LA CHIMENEA.
2. LA LONGITUD DE LA CHIMENEA DEPENDE DE LA PROTECCIÓN FRENTE A LA LLUVIA. UNA LONGITUD EXCESIVA PUEDE CAUSAR FUGAS EN LA UNIÓN ENTRE LA CHIMENEA Y EL CONDUCTO DE DESCARGA (86).

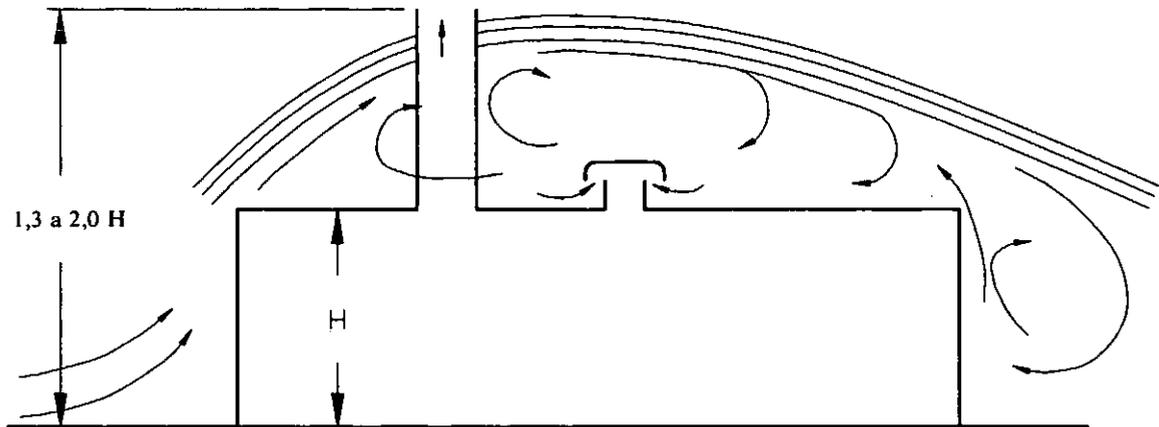


AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

CONSTRUCCIÓN DE LA CHIMENEA
DE SALIDA

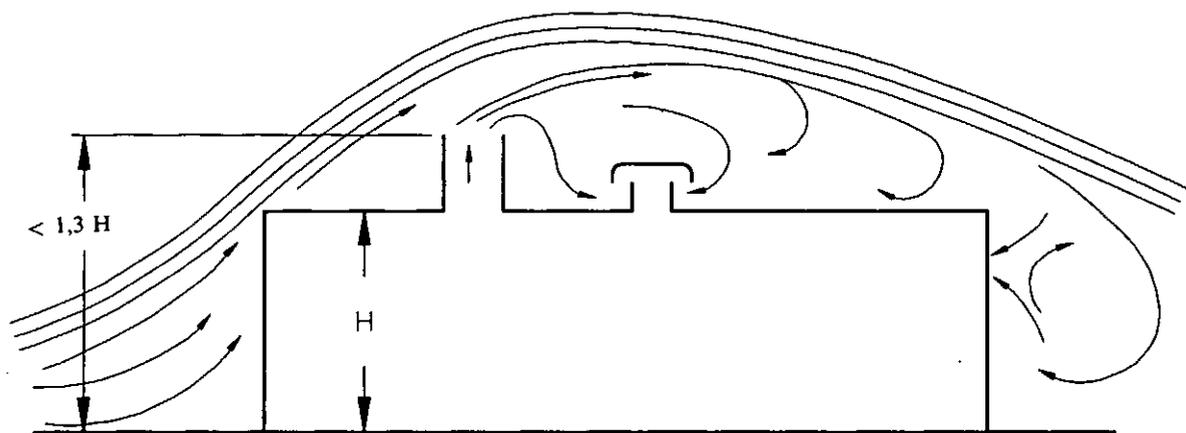
FECHA 1-88

FIGURA 8-6



PREFERIBLE

Chimenea elevada en relación a la altura del edificio y toma de aire en la cubierta.



NO RECOMENDABLE

Chimenea baja en relación a la altura del edificio y a la ubicación de las tomas de aire. (87)

Estas recomendaciones son únicamente aplicables al caso de edificios de baja altura, aislados y en terreno razonablemente llano.

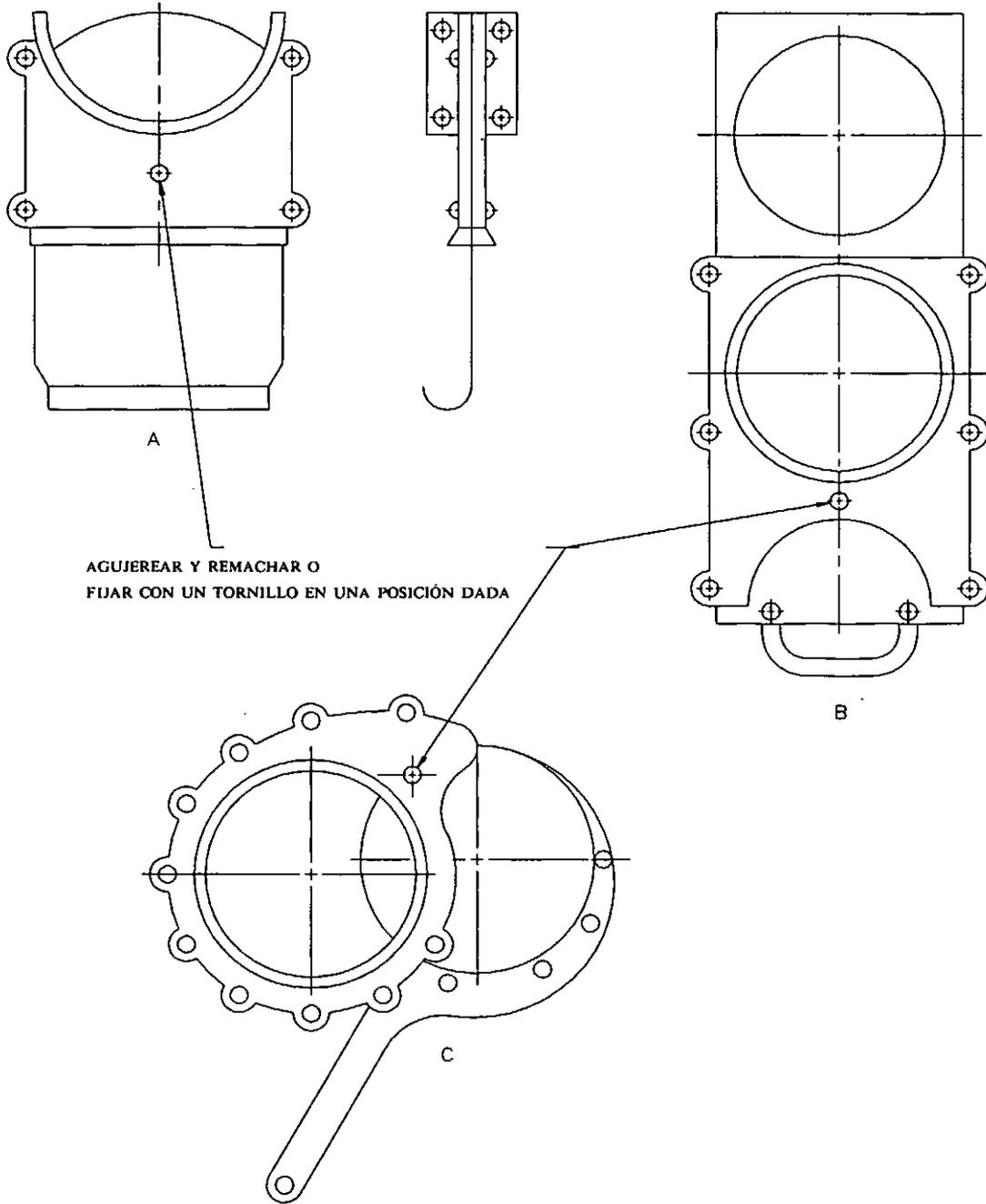
NOTA: La baja presión en el lado de sotavento de un edificio puede provocar la reentrada de los contaminantes a través de las aberturas.

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

ENTRADA Y SALIDAS DE
LOS EDIFICIOS

FECHA 1-88

FIGURA 8-7



AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

*FIJACIÓN DE LAS VÁLVULAS
DE ATAJADERA*

FECHA 1-88

FIGURA 8-8

Capítulo 9

COMPROBACIÓN DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN

9.1	INTRODUCCIÓN	9-2	9.4.9	Gas trazador	9-18
9.2	MEDIDA DE LA PRESIÓN	9-2	9.5	CALIBRACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA	9-19
9.2.1	Presión estática	9-3	9.5.1	Diseño y calibración de un túnel de vien- to	9-19
9.2.2	Presión dinámica	9-3	9.5.2	Empleo del túnel de viento	9-23
9.3	MEDIDA DEL CAUDAL	9-5	9.6	EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE EX- TRACCIÓN	9-23
9.3.1	Empleo del tubo de Pitot	9-9	9.6.1	Nuevas instalaciones	9-23
9.3.2	Presión estática en la campana	9-10	9.6.2	Ensayos periódicos	9-26
9.3.3	Interpretación de la presión estática de la campana	9-12	9.6.3	Procedimiento de verificación	9-26
9.4	INSTRUMENTOS PARA LA MEDIDA DE LA VELOCIDAD DEL AIRE	9-13	9.7	DIFICULTADES ENCONTRADAS EN LAS MEDICIONES DE CAMPO	9-27
9.4.1	Anemómetros de álabes rotativos	9-13	9.7.1	Selección de los instrumentos	9-27
9.4.2	Velómetros	9-13	9.7.2	Correcciones para condiciones distintas de las standard	9-27
9.4.3	Termoanemómetros	9-17	9.7.3	Cálculos en el empleo del tubo de Pitot .	9-28
9.4.4	Manómetro de tubo en U	9-17	REFERENCIAS		9-30
9.4.5	Manómetro inclinado	9-17			
9.4.6	Manómetros aneroides	9-18			
9.4.7	Manómetros aneroides electrónicos	9-18			
9.4.8	Tubos de humo	9-18			

9.1 INTRODUCCIÓN

Todos los sistemas de ventilación deben comprobarse en el momento de su instalación, a fin de verificar el caudal o caudales, para obtener información que pueda compararse con los datos de diseño. La comprobación es asimismo necesaria para verificar la posición de las compuertas de regulación, compuertas cortafuegos, y otros elementos de control del caudal que pueden formar parte del sistema. La comprobación inicial proporcionará una referencia para el mantenimiento periódico y la detección de los fallos del sistema en el supuesto de que se produjera una avería. Muchos reglamentos oficiales exigen una comprobación inicial y verificaciones periódicas para ciertos tipos de procesos. Los datos obtenidos en la comprobación de sistemas de extracción son también, en aquellos casos en los que se consigue un adecuado control de los contaminantes, útiles para el diseño de nuevos sistemas.

En general la medición más importante de las obtenidas en la comprobación de un sistema de ventilación es el valor del caudal. Tal como se indicó en el Capítulo 1, este caudal, en cualquier punto de un sistema de ventilación, puede determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$Q = A V \tag{9.1}$$

donde:

- Q = caudal, m³/s
- V = velocidad media, m/s
- A = área de la sección del conducto o campana en el punto de medida, m²

Puesto que la mayor parte de los instrumentos de medida miden la velocidad del aire, para calcular el caudal es necesario determinar no sólo la velocidad media del aire, sino

también el área de la sección del conducto o abertura en el punto de medida. Más adelante en este mismo capítulo se describen diversos instrumentos para la lectura directa de la velocidad del aire que son adecuados para su uso en campo. El método más usual para determinar la velocidad del aire consiste en medir las presiones de aire existentes en una sección recta y utilizar dichos valores, junto a la densidad del aire, para calcular la velocidad. Las mediciones de la presión del aire se emplean también para determinar la presión estática del ventilador, así como la pérdida de carga en campanas, equipos depuradores y otros elementos de un sistema de extracción. Las medidas de presión pueden ser útiles para localizar obstrucciones en el conducto y detectar puntos en los que se producen fugas de aire importantes.

9.2 MEDIDA DE LA PRESIÓN

En cualquier punto de un sistema de extracción existen tres presiones de aire que pueden compararse con la presión atmosférica existente en la vecindad inmediata del mismo. Usualmente estas presiones se miden en milímetros de columna de agua (mmcda) y están relacionadas entre sí por la expresión:

$$PT = PE + PD \tag{9.2}$$

donde:

- PT = presión total, mmcda
- PE = presión estática, mmcda
- PD = presión dinámica, mmcda

La presión estática es la que tiende a hinchar o colapsar

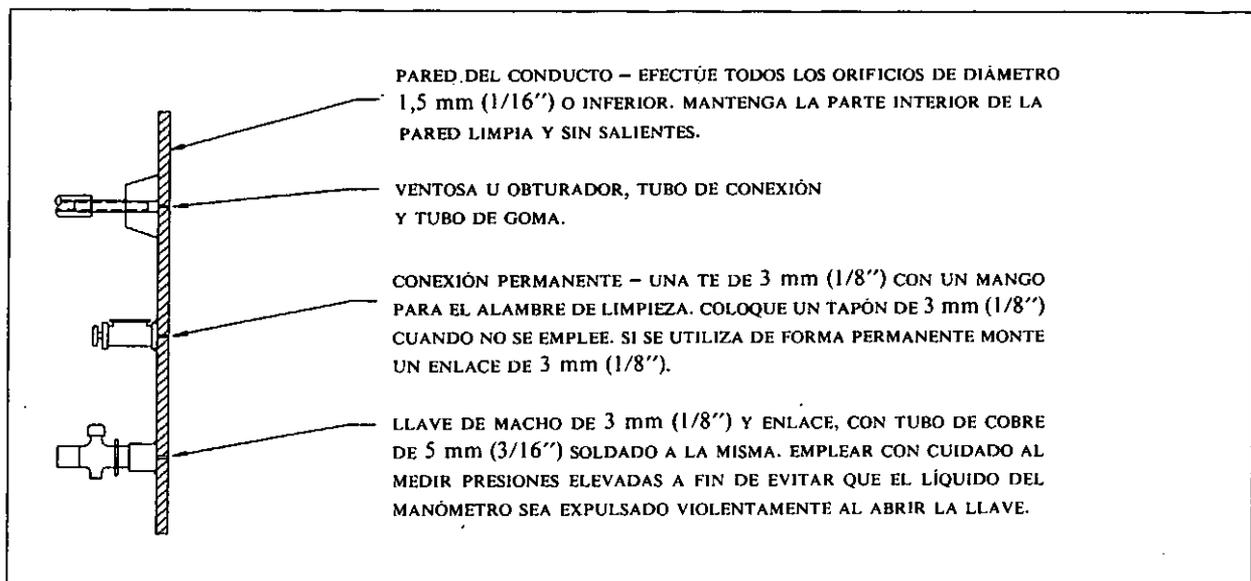


FIGURA 9-1 CONEXIONES PARA LA MEDICIÓN DE LA PRESIÓN ESTÁTICA

el conducto, y es positiva cuando la presión es superior a la atmosférica y negativa en caso contrario. La presión dinámica es la resultante del movimiento del aire, y es siempre positiva. La presión total es la suma algebraica de la presión estática y la dinámica, y puede ser positiva o negativa.

9.2.1 La presión estática se mide con un instrumento para la medida de la presión, usualmente un sencillo manómetro de tubo en U graduado, lleno de agua, aceite u otro líquido apropiado u otro equipo similar. Los manómetros verticales son adecuados para la medida de la presión estática en la mayor parte de los casos. El empleo de un manómetro inclinado proporciona mayor exactitud y permite por tanto la lectura de valores más bajos. Para su empleo en campo uno de los lados del tubo se deja abierto a la atmósfera mientras que al otro se conecta un tubo cuyo otro extremo debe ajustar perfectamente en un pequeño orificio practicado en la pared del conducto. En las referencias 9.1 y 9.2 se encontrarán datos adicionales acerca de los manómetros y su construcción.

La localización del orificio para la medida de la presión estática no tiene usualmente excesiva importancia en la exactitud del resultado obtenido, aunque debe evitarse situarlo en los codos u otros puntos en los que la lectura obtenida sería incorrecta debido a que la dirección de la velocidad no es paralela a la pared del conducto. Es aconsejable efectuar de dos a cuatro orificios distribuidos uniformemente alrededor del conducto, a fin de obtener una media y poder detectar cualquier valor discrepante.

El orificio para la medida de la presión estática debe practicarse sin modificar la superficie interior del conducto, que no debe abombarse; tampoco deben quedar rebabas, por lo que el orificio debe perforarse con una broca y no con un punzón. Normalmente un diámetro de 1,5 a 3 mm es suficiente, excepto para ciertos tipos de instrumentos en los que se produce un verdadero flujo del aire por el interior de los mismos (ver Figura 9-1). En esos casos deben seguirse las recomendaciones del fabricante del aparato en relación al tamaño necesario para el orificio. Un segundo método, que es menos probable que dé lugar a errores, consiste en utilizar el elemento de presión estática de un tubo de Pitot, tal como se indica en la Figura 9-2. También puede emplearse una sonda de presión estática, con el mismo diseño general que un tubo de Pitot, pero sin incluir el conducto central. Durante su empleo el instrumento debe "apuntar" aguas arriba, a fin de evitar impactos o remolinos.

9.2.2 Presión dinámica: Para medir la presión dinámica con el fin de determinar la velocidad del aire, debe emplearse un tubo de Pitot. Al tema de las mediciones del flujo de aire con este instrumento, que fue desarrollado por Henri Pitot en 1734 mientras era estudiante en París, se han dedicado numerosas investigaciones y aplicaciones. Un tubo de Pitot standard (ver Figura 9-3) no requiere calibración si se ha fabricado cuidadosamente, y se considera que los valo-

res de la presión dinámica obtenidos tienen una exactitud de 1% a velocidades superiores a 10 m/s. Para obtener información más detallada sobre las especificaciones y el empleo del tubo de Pitot, puede consultarse el Standard Test Code publicado por la ASHRAE y la Air Moving and Conditioning Association (9.1, 9.2).

El instrumento consiste en dos tubos concéntricos, uno de los cuales mide la presión total de la corriente de aire, mientras el otro mide solamente la presión estática. Cuando el espacio anular existente entre ambos tubos y el tubo central se conectan a un manómetro, éste indica la diferencia entre la presión total y la estática. Esta diferencia es la presión dinámica.

La presión dinámica puede emplearse para calcular la velocidad del aire, si se conoce la densidad del mismo. Puede emplearse la siguiente ecuación, desarrollada en el Capítulo 1:

$$V = 4,43 \sqrt{\frac{PD}{d}} \quad [9.3]$$

donde:

V = velocidad, m/s

PD = presión dinámica, mmca

d = densidad, kg/m³

Cuando el aire se encuentra en condiciones standard (d = 1,2 kg/m³) la ecuación anterior se reduce a:

$$V = 4,043 \sqrt{PD} \quad [9.4]$$

Si la temperatura del aire se desvía más de 15 °C de las condiciones standard (20 °C y 1 atm) o la altitud del lugar es superior a 300 m por encima o por debajo del nivel del mar, y/o la humedad absoluta del aire es igual o superior a 0,02 kg de vapor por kg de aire seco, el valor de la densidad del aire debe corregirse en la forma descrita en el Capítulo 5.

Las Tablas 9-1A y 9-1B relacionan la velocidad del aire y la presión dinámica, en condiciones standard. Estas tablas pueden emplearse para aire en condiciones distintas de las standard corrigiendo los valores de la presión dinámica mediante la expresión siguiente:

$$PD_c = PD_m \times \frac{1,2}{d} \quad [9.5]$$

donde:

PD_c = presión dinámica corregida, mmca.

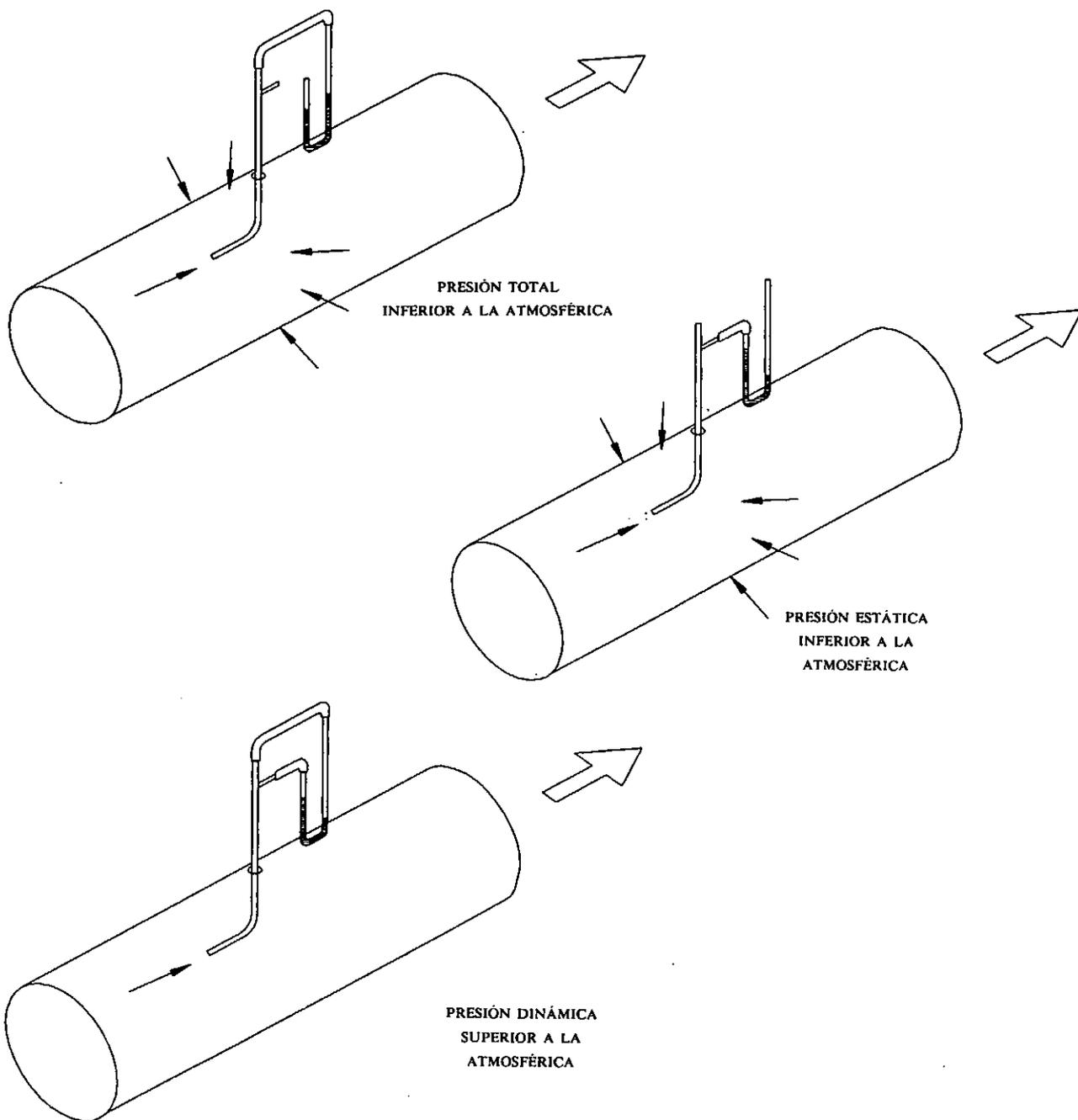
PD_m = presión dinámica medida, mmca.

d = densidad, kg/m³.

El valor de la presión dinámica así corregido puede introducirse en las tablas (Tablas 9-1A y B) para obtener el valor real de la velocidad del aire en el conducto.

En las Tablas 9-1A y B puede verse que a velocidades

$$\text{PRESIÓN TOTAL} = \text{PRESIÓN ESTÁTICA} + \text{PRESIÓN DINÁMICA}$$



AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

ASPIRACIÓN

FECHA 1-88

FIGURA 9-2

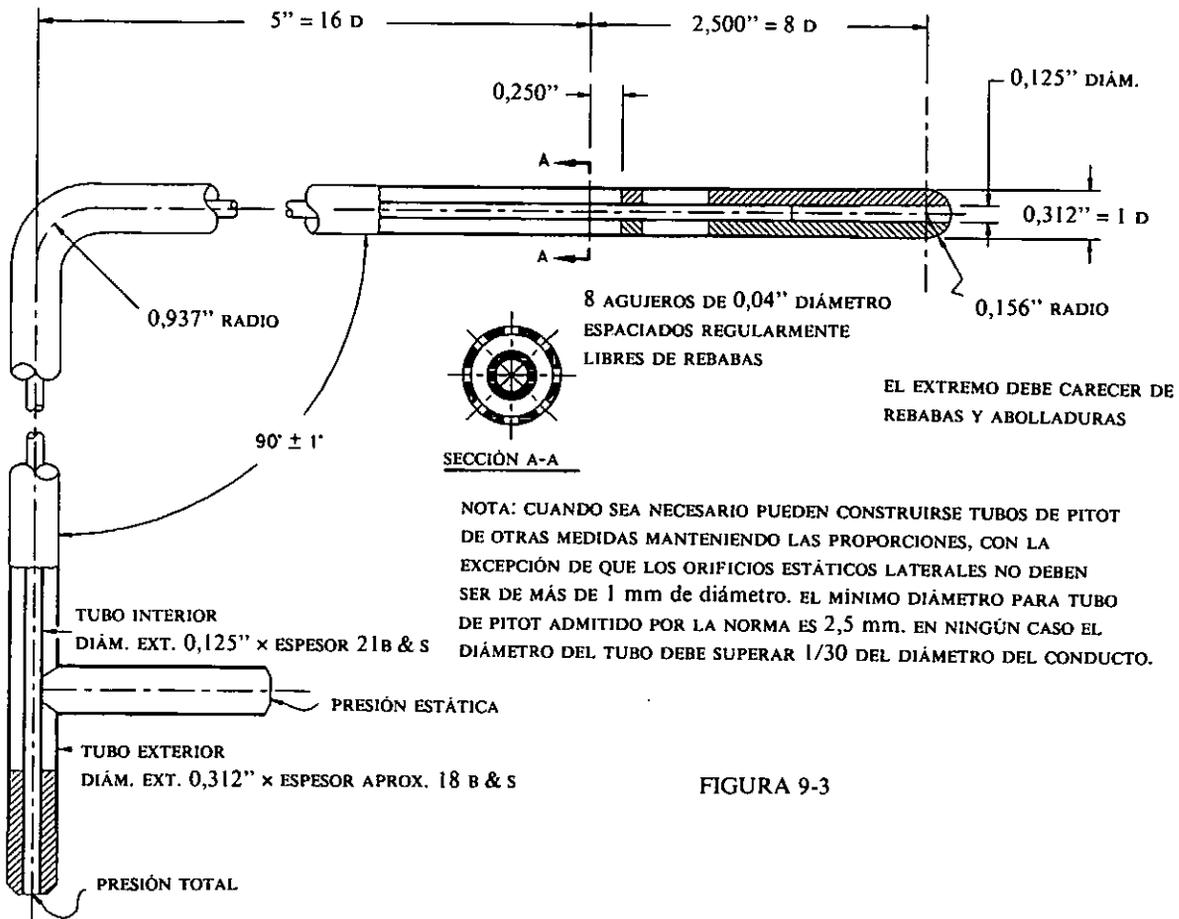


FIGURA 9-3

bajas (por debajo de 5 m/s) los valores de PD son pequeños (inferiores a 1,5 mmcd). A esas velocidades la exactitud del tubo de Pitot es limitada, puesto que el manómetro no es lo suficientemente preciso para medir adecuadamente las bajas presiones. Un manómetro inclinado puede leer aproximadamente hasta ± 0,15 mmcd. Con un tubo de Pitot standard y un manómetro inclinado pueden lograrse los siguientes niveles de exactitud:

Velocidad, m/s	% Error (±)
20	0,2
15	0,3
10	1,0
5	4,0
4	6,0
3	15,0

Obsérvese que la utilidad de un tubo de Pitot en campo es limitada a velocidades inferiores a 3-4 m/s.

9.3 MEDIDA DEL CAUDAL

Para la determinación del caudal en las bocas de las campanas y en otros puntos de un sistema de extracción existen una serie de técnicas basadas en los principios del flujo de aire previamente descritos. El método elegido de-

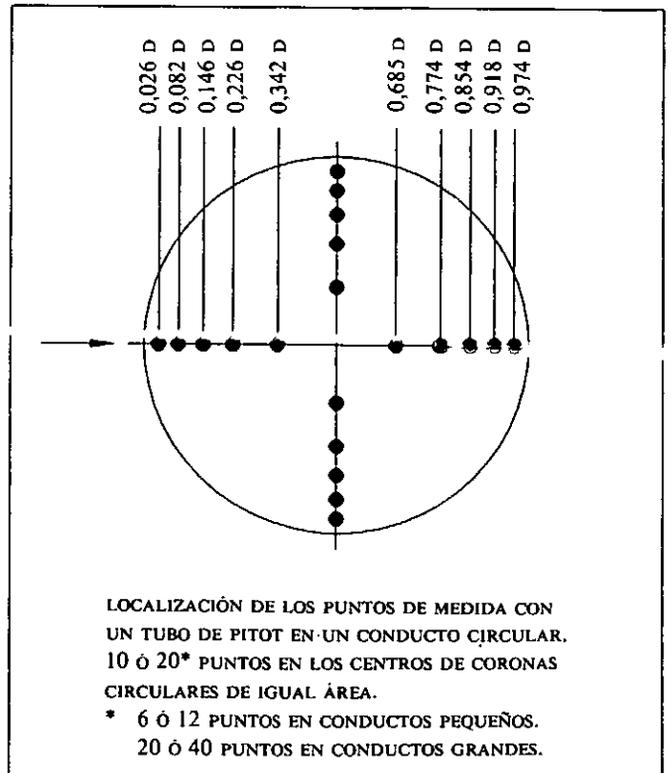


FIGURA 9-4

TABLA 9.1A Conversión de la presión dinámica a velocidad – Aire standard

$V = 4,043 \sqrt{PD}$ DENSIDAD DEL AIRE = 1,2 Kg/m³
 PD = PRESIÓN DINÁMICA EN mmca V = VELOCIDAD EN m/s

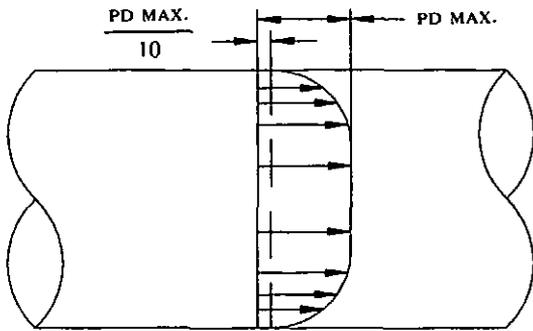
PD	V	PD	V	PD	V	PD	V	PD	V	PD	V
0,1	1,28	5,1	9,13	11,0	13,41	61,0	31,58	111,0	42,59	161,0	51,30
0,2	1,81	5,2	9,22	12,0	14,00	62,0	31,83	112,0	42,79	162,0	51,46
0,3	2,21	5,3	9,31	13,0	14,58	63,0	32,09	113,0	42,98	163,0	51,62
0,4	2,56	5,4	9,39	14,0	15,13	64,0	32,34	114,0	43,17	164,0	51,77
0,5	2,86	5,5	9,48	15,0	15,66	65,0	32,59	115,0	43,35	165,0	51,93
0,6	3,13	5,6	9,57	16,0	16,17	66,0	32,84	116,0	43,54	166,0	52,09
0,7	3,38	5,7	9,65	17,0	16,67	67,0	33,09	117,0	43,73	167,0	52,24
0,8	3,62	5,8	9,74	18,0	17,15	68,0	33,34	118,0	43,92	168,0	52,40
0,9	3,84	5,9	9,82	19,0	17,62	69,0	33,58	119,0	44,10	169,0	52,56
1,0	4,04	6,0	9,90	20,0	18,08	70,0	33,82	120,0	44,29	170,0	52,71
1,1	4,24	6,1	9,99	21,0	18,53	71,0	34,07	121,0	44,47	171,0	52,87
1,2	4,43	6,2	10,07	22,0	18,96	72,0	34,30	122,0	44,65	172,0	53,02
1,3	4,61	6,3	10,15	23,0	19,39	73,0	34,54	123,0	44,84	173,0	53,18
1,4	4,78	6,4	10,23	24,0	19,81	74,0	34,78	124,0	45,02	174,0	53,33
1,5	4,95	6,5	10,31	25,0	20,21	75,0	35,01	125,0	45,20	175,0	53,48
1,6	5,11	6,6	10,39	26,0	20,61	76,0	35,24	126,0	45,38	176,0	53,63
1,7	5,27	6,7	10,46	27,0	21,01	77,0	35,48	127,0	45,56	177,0	53,79
1,8	5,42	6,8	10,54	28,0	21,39	78,0	35,71	128,0	45,74	178,0	53,94
1,9	5,57	6,9	10,62	29,0	21,77	79,0	35,93	129,0	45,92	179,0	54,09
2,0	5,72	7,0	10,70	30,0	22,14	80,0	36,16	130,0	46,10	180,0	54,24
2,1	5,86	7,1	10,77	31,0	22,51	81,0	36,39	131,0	46,27	181,0	54,39
2,2	6,00	7,2	10,85	32,0	22,87	82,0	36,61	132,0	46,45	182,0	54,54
2,3	6,13	7,3	10,92	33,0	23,22	83,0	36,83	133,0	46,62	183,0	54,69
2,4	6,26	7,4	11,00	34,0	23,57	84,0	37,05	134,0	46,80	184,0	54,84
2,5	6,39	7,5	11,07	35,0	23,92	85,0	37,27	135,0	46,97	185,0	54,99
2,6	6,52	7,6	11,15	36,0	24,26	86,0	37,49	136,0	47,15	186,0	55,14
2,7	6,64	7,7	11,22	37,0	24,59	87,0	37,71	137,0	47,32	187,0	55,28
2,8	6,76	7,8	11,29	38,0	24,92	88,0	37,93	138,0	47,49	188,0	55,43
2,9	6,88	7,9	11,36	39,0	25,25	89,0	38,14	139,0	47,66	189,0	55,58
3,0	7,00	8,0	11,43	40,0	25,57	90,0	38,35	140,0	47,84	190,0	55,73
3,1	7,12	8,1	11,51	41,0	25,89	91,0	38,57	141,0	48,01	200,0	57,17
3,2	7,23	8,2	11,58	42,0	26,20	92,0	38,78	142,0	48,18	210,0	58,59
3,3	7,34	8,3	11,65	43,0	26,51	93,0	38,99	143,0	48,35	220,0	59,96
3,4	7,45	8,4	11,72	44,0	26,82	94,0	39,20	144,0	48,51	230,0	61,31
3,5	7,56	8,5	11,79	45,0	27,12	95,0	39,40	145,0	48,68	240,0	62,63
3,6	7,67	8,6	11,86	46,0	27,42	96,0	39,61	146,0	48,85	250,0	63,92
3,7	7,78	8,7	11,92	47,0	27,72	97,0	39,82	147,0	49,02	260,0	65,19
3,8	7,88	8,8	11,99	48,0	28,01	98,0	40,02	148,0	49,18	270,0	66,43
3,9	7,98	8,9	12,06	49,0	28,30	99,0	40,23	149,0	49,35	280,0	67,65
4,0	8,09	9,0	12,13	50,0	28,59	100,0	40,43	150,0	49,51	290,0	68,85
4,1	8,19	9,1	12,20	51,0	28,87	101,0	40,63	151,0	49,68	300,0	70,02
4,2	8,29	9,2	12,26	52,0	29,15	102,0	40,83	152,0	49,84	310,0	71,18
4,3	8,38	9,3	12,33	53,0	29,43	103,0	41,03	153,0	50,01	320,0	72,32
4,4	8,48	9,4	12,40	54,0	29,71	104,0	41,23	154,0	50,17	330,0	73,44
4,5	8,58	9,5	12,46	55,0	29,98	105,0	41,43	155,0	50,33	340,0	74,55
4,6	8,67	9,6	12,53	56,0	30,25	106,0	41,62	156,0	50,49	350,0	75,63
4,7	8,76	9,7	12,59	57,0	30,52	107,0	41,82	157,0	50,66	360,0	76,71
4,8	8,86	9,8	12,66	58,0	30,79	108,0	42,01	158,0	50,82	370,0	77,77
4,9	8,95	9,9	12,72	59,0	31,05	109,0	42,21	159,0	50,98	380,0	78,81
5,0	9,04	10,0	12,78	60,0	31,32	110,0	42,40	160,0	51,14	390,0	79,84

TABLA 9.1B Conversión de la velocidad a presión dinámica – Aire standard

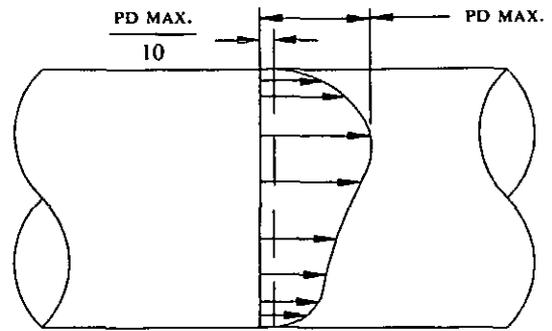
$$PD = (V/4,043)^2 \quad \text{DENSIDAD DEL AIRE} = 1,2 \text{ Kg/m}^3$$

PD = PRESIÓN DINÁMICA EN mmcdca V = VELOCIDAD EN m/s

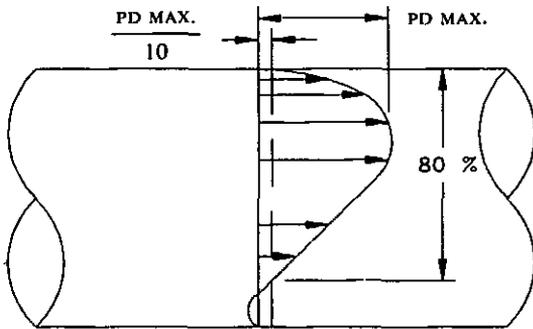
V	PD	V	PD	V	PD	V	PD	V	PD	V	PD
1,00	0,06	13,50	11,15	26,00	41,36	38,50	90,68	51,00	159,12	63,50	246,68
1,25	0,10	13,75	11,57	26,25	42,16	38,75	91,86	51,25	160,69	63,75	248,63
1,50	0,14	14,00	11,99	26,50	42,96	39,00	93,05	51,50	162,26	64,00	250,58
1,75	0,19	14,25	12,42	26,75	43,78	39,25	94,25	51,75	163,84	64,25	252,55
2,00	0,24	14,50	12,86	27,00	44,60	39,50	95,45	52,00	165,42	64,50	254,51
2,25	0,31	14,75	13,31	27,25	45,43	39,75	96,66	52,25	167,02	64,75	256,49
2,50	0,38	15,00	13,76	27,50	46,27	40,00	97,88	52,50	168,62	65,00	258,48
2,75	0,46	15,25	14,23	27,75	47,11	40,25	99,11	52,75	170,23	65,25	260,47
3,00	0,55	15,50	14,70	28,00	47,96	40,50	100,35	53,00	171,85	65,50	262,47
3,25	0,65	15,75	15,18	28,25	48,82	40,75	101,59	53,25	173,47	65,75	264,47
3,50	0,75	16,00	15,66	28,50	49,69	41,00	102,84	53,50	175,11	66,00	266,49
3,75	0,86	16,25	16,15	28,75	50,57	41,25	104,10	53,75	176,75	66,25	268,51
4,00	0,98	16,50	16,66	29,00	51,45	41,50	105,36	54,00	178,39	66,50	270,54
4,25	1,11	16,75	17,16	29,25	52,34	41,75	106,64	54,25	180,05	66,75	272,58
4,50	1,24	17,00	17,68	29,50	53,24	42,00	107,92	54,50	181,71	67,00	274,63
4,75	1,38	17,25	18,20	29,75	54,15	42,25	109,21	54,75	183,38	67,25	276,68
5,00	1,53	17,50	18,74	30,00	55,06	42,50	110,50	55,00	185,06	67,50	278,74
5,25	1,69	17,75	19,27	30,25	55,98	42,75	111,81	55,25	186,75	67,75	280,81
5,50	1,85	18,00	19,82	30,50	56,91	43,00	113,12	55,50	188,44	68,00	282,89
5,75	2,02	18,25	20,38	30,75	57,85	43,25	114,44	55,75	190,14	68,25	284,97
6,00	2,20	18,50	20,94	31,00	58,79	43,50	115,76	56,00	191,85	68,50	287,06
6,25	2,39	18,75	21,51	31,25	59,74	43,75	117,10	56,25	193,57	68,75	289,16
6,50	2,58	19,00	22,09	31,50	60,70	44,00	118,44	56,50	195,29	69,00	291,27
6,75	2,79	19,25	22,67	31,75	61,67	44,25	119,79	56,75	197,03	69,25	293,38
7,00	3,00	19,50	23,26	32,00	62,65	44,50	121,15	57,00	198,77	69,50	295,50
7,25	3,22	19,75	23,86	32,25	63,63	44,75	122,51	57,25	200,51	69,75	297,63
7,50	3,44	20,00	24,47	32,50	64,62	45,00	123,88	57,50	202,27	70,00	299,77
7,75	3,67	20,25	25,09	32,75	65,62	45,25	125,26	57,75	204,03	70,25	301,92
8,00	3,92	20,50	25,71	33,00	66,62	45,50	126,65	58,00	205,80	70,50	304,07
8,25	4,16	20,75	26,34	33,25	67,64	45,75	128,05	58,25	207,58	70,75	306,23
8,50	4,42	21,00	26,98	33,50	68,66	46,00	129,45	58,50	209,37	71,00	308,40
8,75	4,68	21,25	27,63	33,75	69,69	46,25	130,86	58,75	211,16	71,25	310,57
9,00	4,96	21,50	28,28	34,00	70,72	46,50	132,28	59,00	212,96	71,50	312,76
9,25	5,23	21,75	28,94	34,25	71,77	46,75	133,71	59,25	214,77	71,75	314,95
9,50	5,52	22,00	29,61	34,50	72,82	47,00	135,14	59,50	216,58	72,00	317,14
9,75	5,82	22,25	30,29	34,75	73,88	47,25	136,58	59,75	218,41	72,25	319,35
10,00	6,12	22,50	30,97	35,00	74,94	47,50	138,03	60,00	220,24	72,50	321,56
10,25	6,43	22,75	31,66	35,25	76,02	47,75	139,49	60,25	222,08	72,75	323,79
10,50	6,74	23,00	32,36	35,50	77,10	48,00	140,95	60,50	223,93	73,00	326,02
10,75	7,07	23,25	33,07	35,75	78,19	48,25	142,43	60,75	225,78	73,25	328,25
11,00	7,40	23,50	33,79	36,00	79,29	48,50	143,91	61,00	227,64	73,50	330,50
11,25	7,74	23,75	34,51	36,25	80,39	48,75	145,39	61,25	229,51	73,75	332,75
11,50	8,09	24,00	35,24	36,50	81,50	49,00	146,89	61,50	231,39	74,00	335,01
11,75	8,45	24,25	35,98	36,75	82,62	49,25	148,39	61,75	233,27	74,25	337,28
12,00	8,81	24,50	36,72	37,00	83,75	49,50	149,90	62,00	235,17	74,50	339,55
12,25	9,18	24,75	37,48	37,25	84,89	49,75	151,42	62,25	237,07	74,75	341,83
12,50	9,56	25,00	38,24	37,50	86,03	50,00	152,94	62,50	238,98	75,00	344,12
12,75	9,95	25,25	39,00	37,75	87,18	50,25	154,48	62,75	240,89		
13,00	10,34	25,50	39,78	38,00	88,34	50,50	156,02	63,00	242,81		
13,25	10,74	25,75	40,56	38,25	89,51	50,75	157,57	63,25	244,74		



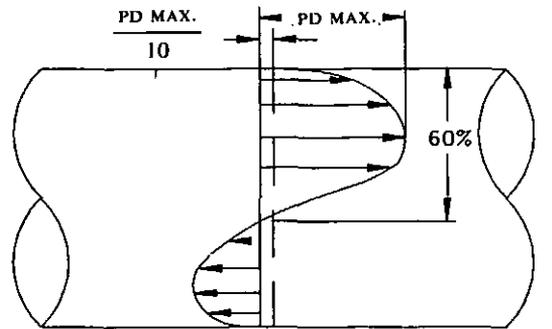
A: DISTRIBUCIÓN IDEAL DE PD



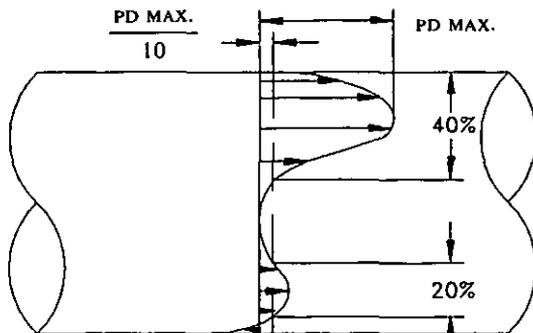
B: BUENA DISTRIBUCIÓN DE PD. (TAMBIÉN SATISFATORIA PARA ENTRADAS A VENTILADORES, PERO PUEDE SER INADECUADA PARA CAJAS DE ENTRADA AL DAR LUGAR A TURBULENCIAS)



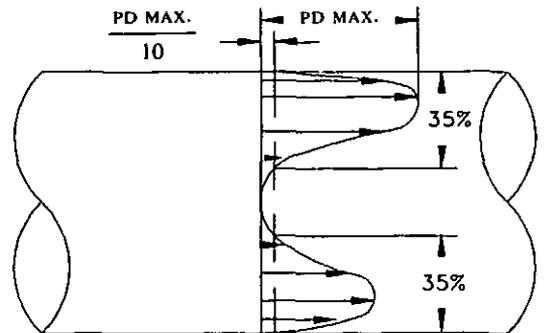
C: DISTRIBUCIÓN DE PD SATISFATORIA - MÁS DEL 75 % DE LAS LECTURAS SUPERAN PD MAX./10. (ES TAMBIÉN INADECUADA PARA ENTRADAS A VENTILADORES Y CAJAS DE ENTRADA)



D: NO EMPLEAR! DISTRIBUCIÓN DE PD INSATISFATORIA - MENOS DEL 75 % DE LAS LECTURAS DE PD SUPERAN PD MAX./10 (ES TAMBIÉN INADECUADA PARA ENTRADAS A VENTILADORES Y CAJAS DE ENTRADA)



E: NO EMPLEAR! DISTRIBUCIÓN DE PD INSATISFATORIA - MENOS DEL 75 % DE LAS LECTURAS DE PD SUPERAN PD MAX./10 (ES TAMBIÉN INADECUADA PARA ENTRADAS A VENTILADORES Y CAJAS DE ENTRADA)



F: NO EMPLEAR! DISTRIBUCIÓN DE PD INSATISFATORIA - MENOS DEL 75 % DE LAS LECTURAS DE PD SUPERAN PD MAX./10 (ES TAMBIÉN INADECUADA PARA ENTRADAS A VENTILADORES Y CAJAS DE ENTRADA)

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

DISTRIBUCIONES DE VELOCIDAD TÍPICAS

FECHA 7-89

FIGURA 9-5

TABLA 9.2 Distancia desde la pared de un conducto circular hasta los puntos de medida empleando seis puntos de lectura (redondeada a mm)

Diám. del conducto mm	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆
	0,043D	0,146D	0,296D	0,704D	0,854D	0,957D
75	3	11	22	53	64	72
100	4	15	30	70	85	96
125	5	18	37	88	107	120
150	6	22	44	105	128	144

pende- rá del grado de exactitud requerido, del tiempo disponible para la realización de las medidas y del tipo de datos que se precisen. Es especialmente importante que las mediciones efectuadas durante el ensayo incluyan toda la información necesaria para la determinación de la densidad del gas, a fin de permitir el cálculo de la velocidad real y del caudal.

9.3.1 Empleo del tubo de Pitot: Puesto que el flujo de aire dentro de la sección recta de un conducto no es uniforme, es necesario obtener un valor medio midiendo la presión dinámica en un número de superficies de igual área

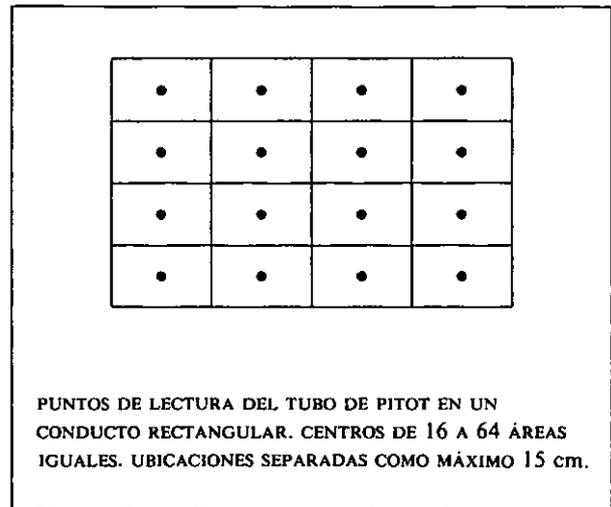


FIGURA 9-6

dentro de la sección recta. El método habitual consiste en efectuar una pasada a lo largo de cada uno de dos diámetros perpendiculares. Las lecturas se toman en el centro de ani-

TABLA 9.3 Distancia desde la pared de un conducto circular hasta los puntos de medida empleando 10 puntos de lectura (redondeada a mm)

Diám. del conducto mm	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉	R ₁₀
	0,026D	0,082D	0,146D	0,226D	0,342D	0,658D	0,774D	0,854D	0,918D	0,974D
50	1	4	7	11	17	33	39	43	46	49
60	2	5	9	14	21	39	46	51	55	58
70	2	6	10	16	24	46	54	60	64	68
80	2	7	12	18	27	53	62	68	73	76
90	2	7	13	20	31	59	70	77	83	88
100	3	8	15	23	34	66	77	85	92	97
110	3	9	16	25	38	72	85	94	101	107
120	3	10	18	27	41	79	93	102	110	117
130	3	11	19	29	44	86	101	111	119	127
140	4	11	21	32	48	92	108	119	129	136
150	4	12	22	34	51	99	116	128	138	146
160	4	13	23	36	55	105	124	137	147	156
170	4	14	25	38	58	112	132	145	156	166
180	5	15	26	41	62	118	139	154	165	175
190	5	16	28	43	65	125	147	162	174	185
200	5	16	29	45	68	132	155	171	184	195
225	6	18	33	51	77	148	174	192	207	219
250	6	20	37	57	85	165	193	213	230	244
275	7	22	40	62	94	181	213	235	253	268
300	8	25	44	68	103	197	232	256	275	292
325	8	27	48	73	111	214	252	277	298	317
350	9	29	51	79	120	230	271	299	321	341
375	10	31	55	85	128	247	290	320	344	365
400	10	33	59	90	137	263	310	341	367	390
425	11	35	62	96	145	280	329	363	390	414
450	12	37	66	102	154	296	348	384	413	438
475	12	39	70	107	162	313	368	405	436	463
500	13	41	73	113	171	329	387	427	459	487
550	14	45	81	124	188	362	426	469	505	536
600	15	49	88	136	205	395	464	512	551	585
650	17	53	95	147	222	428	503	555	597	633
700	18	57	103	158	239	461	542	597	643	682
750	19	61	110	170	256	494	580	640	689	731
800	21	65	117	181	274	526	619	683	735	779
850	22	69	124	192	291	559	658	726	781	828
900	23	74	132	204	308	592	696	768	826	877
950	24	78	139	215	325	625	735	811	872	926
1000	26	82	146	226	342	658	774	854	918	974
1050	27	86	154	237	359	691	813	896	964	1023

Diám. del conducto mm	R ₁ 0,026D	R ₂ 0,082D	R ₃ 0,146D	R ₄ 0,226D	R ₅ 0,342D	R ₆ 0,658D	R ₇ 0,774D	R ₈ 0,854D	R ₉ 0,918D	R ₁₀ 0,974D
1100	28	90	161	249	376	724	851	939	1010	1072
1150	30	94	168	260	393	757	890	982	1056	1120
1200	31	98	176	271	410	790	929	1024	1102	1169
1250	32	102	183	283	427	823	967	1067	1148	1218
1300	33	106	190	294	444	856	1006	1110	1194	1267
1350	35	110	198	305	462	888	1045	1152	1240	1315
1400	36	114	205	317	479	921	1083	1195	1280	1364
1450	37	118	212	328	496	954	1122	1238	1332	1413
1500	38	123	220	339	513	987	1161	1280	1377	1462

llos concéntricos de igual área (ver Figura 9-4). Siempre que sea posible la medición debe realizarse al menos 7,5 diámetros aguas abajo de cualquier punto singular, tal como codos, campanas, uniones de conductos, etc. Cuando las mediciones se realizan en las proximidades de puntos singulares los resultados deben considerarse dudosos y verificarse mediante una segunda medición efectuada en otro punto. Si ambos resultados no difieren en más de un 10 % puede aceptarse que la exactitud es buena, adoptándose como valor definitivo el promedio de ambas mediciones. Cuando la discrepancia supera el 10 % debe elegirse un tercer punto y tomar el promedio de los dos resultados que mejor concuerden (ver Figura 9-5). El empleo de una única lectura en el centro del conducto es una aproximación muy grosera, que NO se recomienda.

Para conductos circulares de diámetro inferior o igual a 15 cm deben efectuarse en cada diámetro al menos 6 lecturas. Para conductos circulares de diámetro superior a 15 cm deben emplearse al menos 10 puntos de lectura en cada diámetro. En conductos y chimeneas muy grandes con amplias variaciones en la velocidad, el empleo de 20 puntos de lectura mejorará la exactitud de los resultados. La ubicación de los puntos de lectura para mediciones con seis, diez y veinte puntos en conductos de distintos diámetros, se dan en las Tablas 9-2, 9-3 y 9-4. Para minimizar errores, en conductos de diámetro inferior a 300 mm debería utilizarse un tubo de Pitot más pequeño que el standard cuyo diámetro exterior es de 8 mm.

En conductos cuadrados o rectangulares el procedimiento consiste en dividir la sección recta en un cierto número de rectángulos de la misma área y medir la presión dinámica en el centro de cada una de ellas. El número de lecturas no debería ser inferior a 16. Sin embargo, debe efectuarse el suficiente número de lecturas de manera que la distancia entre puntos de lectura sea aproximadamente de 15 cm (ver Figura 9-6).

Es esencial obtener los siguientes datos, aunque pueden recogerse otros con mayor detalle si se desea:

- El área de la sección recta del conducto en el punto donde se efectúa la medida.
- La presión dinámica en cada uno de los puntos de lectura a lo largo de cada diámetro.
- La temperatura del aire en el momento y lugar de la medida.

Las lecturas de presión dinámica obtenidas se convierten en velocidades y éstas, no las presiones dinámicas, se promedian. Cuando sea más conveniente, *pueden promediarse las raíces cuadradas de las presiones dinámicas* y el valor así obtenido convertirse entonces en velocidad (media). El caudal medido a la temperatura del conducto se obtiene multiplicando la velocidad media por la sección del conducto ($Q = A V$). Cuando las condiciones no son las standard véase la Sección 9.7.2.

El tubo de Pitot no puede emplearse para medir bajas velocidades en campo. No es un equipo de medida directa de la velocidad. Si se utiliza un manómetro de líquido es necesario un soporte exento de vibraciones. Puede obstruirse cuando se emplea con aire muy cargado de polvo o humedad.

Tubos de Pitot modificados: Se han efectuado diversas modificaciones de los tubos de Pitot a fin de reducir las dificultades encontradas con corrientes de aire cargadas de polvo o para aumentar la capacidad de los manómetros diferenciales para medir, en campo, bajas velocidades de aire. Suelen denominarse tubos de tipo S (Staubscheid) porque usualmente adoptan la forma de dos tubos de impacto relativamente grandes, con una abertura dirigida aguas arriba y la otra aguas abajo. Dichos tubos son también útiles cuando se pretende medir en conductos de pared gruesa, como en las chimeneas de caldera, en las que es difícil o imposible insertar un tubo de Pitot convencional a través de un orificio de tamaño razonable.

En el mercado existen otras modificaciones del tubo de Pitot, algunas de las cuales son de un tamaño considerable. Una limitación para su uso en el campo es que los tubos de Pitot tipo S y otras modificaciones requieren ser calibrados en condiciones similares a aquellas en las que van a ser utilizados.

9.3.2 Presión estática en la campana: El método de la presión estática en la campana para medir el caudal de una campana o conducto se basa en el principio del orificio; es decir, se considera la boca de entrada como un orificio; este método es rápido, simple y práctico. Proporciona una estimación razonablemente exacta del caudal de aire en la rama a condición de que pueda efectuarse una medida de la presión estática en un punto situado entre uno y tres diámetros de conducto recto aguas abajo de la garganta de la

TABLA 9.4 Distancia desde la pared de un conducto circular hasta los puntos de medida empleando 20 puntos de lectura (redondeada a mm)

Diámetro del conducto mm	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉	R ₁₀
	0,013 D	0,039 D	0,067 D	0,097 D	0,129 D	0,165 D	0,204 D	0,250 D	0,306 D	0,388 D
	R ₁₁	R ₁₂	R ₁₃	R ₁₄	R ₁₅	R ₁₆	R ₁₇	R ₁₈	R ₁₉	R ₂₀
	0,612 D	0,694 D	0,750 D	0,796 D	0,835 D	0,871 D	0,903 D	0,933 D	0,961 D	0,987 D
1000	13	39	67	97	129	165	204	250	306	388
	612	694	750	796	835	871	903	933	961	987
1050	14	41	70	102	135	173	214	263	321	407
	643	729	788	836	877	915	948	980	1009	1036
1100	14	43	74	107	142	181	224	275	337	427
	673	763	825	876	919	958	993	1026	1057	1086
1150	15	45	77	112	148	190	235	288	352	446
	704	798	863	915	960	1002	1038	1075	1105	1135
1200	16	47	80	116	155	198	245	300	367	466
	734	833	900	955	1002	1045	1084	1120	1153	1184
1250	16	49	84	121	161	206	255	313	383	485
	765	868	938	995	1044	1089	1129	1166	1201	1234
1300	17	51	87	126	168	214	265	325	398	504
	796	902	975	1035	1086	1132	1174	1213	1249	1238
1350	18	53	90	131	174	223	275	338	413	524
	826	937	1013	1075	1127	1176	1219	1260	1297	1332
1400	18	55	94	136	181	236	290	353	428	543
	857	972	1050	1114	1169	1219	1264	1306	1345	1382
1450	19	57	97	141	187	239	296	363	444	563
	887	1006	1088	1154	1211	1263	1309	1353	1393	1431
1500	20	59	101	146	194	247	306	375	459	582
	918	1041	1125	1194	1253	1306	1354	1400	1442	1481
1550	20	60	104	150	200	256	316	388	474	601
	949	1076	1163	1234	1294	1350	1400	1446	1490	1530
1600	21	62	107	155	206	264	326	400	490	621
	979	1110	1200	1274	1336	1394	1445	1493	1538	1579
1650	21	64	111	160	213	272	337	413	505	640
	1010	1145	1238	1313	1378	1437	1490	1539	1586	1629
1700	22	66	114	165	219	280	347	425	520	660
	1040	1180	1275	1353	1420	1481	1535	1586	1634	1678
1750	23	68	117	170	226	289	357	438	536	679
	1071	1215	1313	1393	1461	1524	1580	1633	1682	1727
1800	23	70	121	175	232	297	367	450	551	698
	1102	1249	1350	1433	1503	1568	1625	1679	1730	1777
1850	24	72	124	179	239	305	377	463	566	718
	1132	1284	1388	1473	1545	1611	1671	1726	1778	1826
1900	25	74	127	184	245	313	388	475	581	737
	1163	1319	1425	1512	1587	1655	1716	1773	1826	1875
1950	25	76	131	189	252	322	398	488	597	757
	1193	1353	1463	1552	1628	1698	1761	1819	1874	1925
2000	26	78	134	194	258	330	408	500	612	776
	1224	1388	1500	1592	1670	1742	1806	1866	1922	1974

campana, y un análisis ajustado de la pérdida de carga de la campana.

Esta técnica exige medir la presión estática de la campana mediante un manómetro en U en uno o más puntos (preferiblemente cuatro, situados a 90°), un diámetro aguas abajo para todas las campanas con adaptación gradual y tres diámetros para campanas simples. Los orificios deben efectuarse con diámetros comprendidos entre 1,5 y 3 mm o, si es posible, incluso menores; los orificios no deben efectuarse por punzonamiento, ya que las rebabas que ello produci-

ría en la cara interna de la pared del conducto distorsionaría la corriente de aire. El manómetro en U se conecta sucesivamente a cada uno de los puntos de medida mediante un tubo de goma de pared gruesa, leyéndose la diferencia de altura de las columnas de agua en mm.

Si existe un codo entre la campana y el punto de medida, su pérdida de carga ha de ser calculada en la forma descrita en el Capítulo 5, y su valor restado de la presión estática medida, para tener sólo en cuenta la succión producida por la campana y su unión al conducto.

TABLA 9.5 Características de los instrumentos de medida

Instrumento	Margen (m/s)	Tamaño del orificio	Margen de temper.	Problemas con polvo, humo	Requerim. calibrac.	Robustez	Utilidad general y comentarios
Tubos de Pitot con manómetro inclin.							
Standard	> 3	10 mm	Amplio	Algunos	Ninguno	Buena	Bueno salvo a bajas velocidades
Pequeño	> 3	5 mm	Amplio	Sí	Una vez	Buena	Ídem
Doble	> 2,5	20 mm	Amplio	Pocos	Una vez	Buena	Especial
Velómetros	0,12-50	12-25 mm	Medio	Algunos	Frecuente	Acept.	Buenos
Anemómetros de Álabes rotativos							
Mecánicos	0,15-50	No utilizables en conduct.	Estrecho	Sí	Frecuente	Poca	Especiales; uso limitado
Electrónicos	0,12-1 0,12-2,5 0,12-10 0,12-25	idem	Estrecho	Sí	Frecuente	Poca	Especiales; posibilidad de lectura directa y incorp. registro

Margen de temperatura: Estrecho, -5 a 65; Medio, -5 a 150; Amplio, -20 a 400.

Los valores del factor de pérdidas en la campana (F_c) para varios diseños de la misma se indican en el Capítulo 5, Figura 5-15. Cuando se conoce la presión estática en la campana (PE_c) es posible determinar el caudal mediante la siguiente ecuación:

$$Q = 4,43 A \sqrt{\frac{PE_c}{(1 + F_c) d}} \quad [9.6]$$

donde:

Q = caudal, m^3/s

A = sección del conducto unido a la campana, m^2

PE_c = promedio de las lecturas del manómetro en U, mmca

F_c = factor de pérdidas de la campana

Para aire en condiciones standard la ecuación 9.6 se convierte en:

$$Q = 4,043 A \sqrt{\frac{PE_c}{1 + F_c}} \quad [9.7]$$

9.3.3 Interpretación de la presión estática de la campana: Si se conoce el valor de la presión estática de la campana cuando un sistema está funcionando correctamente, puede asegurarse que su funcionamiento es adecuado mientras no se reduzca dicho valor. Cualquier modificación de la medida original indica un cambio en la velocidad en la rama, y por tanto, un cambio en el caudal aspirado por la campana. Esta relación será cierta a menos que: 1) una modificación en el diseño de la campana haya modificado las pérdidas en la entrada; 2) existan obstrucciones o acumulación de materiales en la campana o el conducto, aguas arriba del punto en el que se realiza la medición; o 3) el sistema haya sido modificado o se hayan efectuado adiciones. Según cuál sea el punto en el que se haya producido la obstrucción, la

reducción del área de paso del aire podrá producir un incremento o disminución de la succión del la campana, aunque en todo caso tendrá lugar una reducción del caudal.

Los valores de la presión varían según el cuadrado de la velocidad o del caudal. Así, una disminución del 30 % en las lecturas de presión estática indican que el caudal (y la velocidad) se han reducido el 14 %.

Una reducción significativa en la presión estática de la campana puede a menudo ser debida a una o más de las siguientes causas:

1. Reducción de la eficacia del ventilador debida a una reducción en la velocidad del eje a causa de que la correa patine, se haya desgastado o exista acumulación de suciedad en el rotor o la voluta, dificultando la circulación del aire.
2. Reducción de la eficacia del ventilador producida por deterioro de las conducciones, tal como acumulaciones en las ramas o el conducto principal a causa de una insuficiente velocidad del aire, condensación de vapor de agua o aceite en la pared del conducto, propiedades adhesivas del material extraído, o fugas causadas por compuertas de limpieza desajustadas, uniones rotas, perforaciones por abrasión en el conducto (principalmente en los codos), mala conexión a la entrada del ventilador o acumulaciones en los conductos o las palas del ventilador.
3. Las pérdidas en la presión estática de la campana pueden también ser debidas a la instalación de aberturas adicionales al sistema (en ocasiones los sistemas se diseñan teniendo en cuenta futuras ampliaciones y, hasta que se realizan, las conducciones vehiculan mayor cantidad de aire de la necesaria) o a modificaciones en los ajustes de las compuertas de regulación que reparten el caudal entre las distintas ramas. La mani-

pulación inadecuada de dichas compuertas puede afectar seriamente a la distribución del aire, por lo que es aconsejable proceder a su fijación una vez el sistema ha sido puesto en marcha y se ha verificado su buen funcionamiento. Los registros para el control del caudal del ventilador también deben ser verificados.

4. La reducción del caudal puede también ser debida a un aumento de la pérdida de carga en el colector de polvo, a causa de un mantenimiento insuficiente, un funcionamiento inadecuado, desgaste, etc. El efecto variará según cuál sea el diseño del colector. Recurra a las instrucciones de funcionamiento y mantenimiento suministradas con el colector o consulte al fabricante del equipo. Véase también el Capítulo 4.

9.4 INSTRUMENTOS PARA LA MEDIDA DE LA VELOCIDAD DEL AIRE

El caudal de un sistema de extracción puede determinarse empleando diversos tipos de instrumentos de campo que miden la velocidad directamente. Típicamente dichos instrumentos se utilizan en las aberturas de aspiración o impulsión o, según el tamaño y accesibilidad, en el interior de conductos. La técnica de campo se basa en la medida de la velocidad del aire en una serie de puntos en un plano y en promediar los resultados. La velocidad media se emplea en la ecuación 9.1 para determinar el caudal. A causa de la dificultad en medir el área de una sección recta de forma irregular y la rápida variación de la velocidad a medida que el aire se acerca a una boca de aspiración, los resultados obtenidos deben considerarse sólo como una aproximación al valor real del caudal. Todos los instrumentos deben emplearse siguiendo estrictamente las instrucciones y reco-

mendaciones de los fabricantes. En la Tabla 9-5 se dan algunas características típicas de los instrumentos diseñados para la medida de la velocidad de aire en el campo.

9.4.1 Anemómetros de álabes rotativos: Este instrumento (Figura 9-7) es exacto y puede ser utilizado para determinar el caudal en bocas de aspiración o de impulsión de tamaño grande. Siempre que sea posible, la sección del aparato no debe exceder del 5 % de la sección de la boca del conducto o campana. El instrumento standard consiste en una rueda con paletas, conectada a través de un tren de engranajes, a un conjunto de indicadores que dan el recorrido lineal del aire que ha pasado a través del instrumento en un período de tiempo dado. Se construye en varios diámetros, siendo los más corrientes 15, 10 y 7,5 cm. Proporciona el caudal medio durante el período de medida, usualmente un minuto. El instrumento requiere una calibración frecuente y el empleo de una tarjeta o curva de calibración para determinar la velocidad real. Puede usarse para mediciones de succión o de presión, empleando los factores de corrección proporcionados por el fabricante. El instrumento standard tiene un margen de medida útil entre 1 y 15 m/s; ciertos modelos permiten medir velocidades inferiores.

Existen anemómetros de álabes rotativos, de lectura directa. Estos instrumentos registran y miden los impulsos eléctricos generados por un transductor inductivo o capacitivo. Los impulsos son conducidos a una unidad indicadora donde son integrados, mostrándose el resultado en una esfera convencional. Pueden medirse y registrarse valores tan bajos como 0,125 m/s.

El anemómetro de álabes rotativos no es adecuado para efectuar mediciones en conductos cuyo diámetro sea inferior a 500 mm, pues su área es demasiado grande y su sección recta equivalente es difícil de calcular. El modelo convencional no es de medida directa y la medición requiere tiempo. Es frágil y en atmósferas polvorientas o corrosivas exige adoptar precauciones.

9.4.2 Velómetros: Este instrumento (Figura 9-8) es ampliamente utilizado en mediciones de campo gracias a su manejabilidad, amplio margen de medida y a que da medidas instantáneas. Cuando se desea resultados muy exactos deben utilizarse los factores de corrección dados en la Tabla 9-6. El instrumento es de amplia aplicación y, mediante un conjunto de accesorios, puede utilizarse para medir presiones estáticas y velocidades de aire en un amplio margen. La velocidad mínima es 0,25 m/s a menos que se trate de un modelo especialmente adaptado para bajas velocidades. El instrumento es notablemente robusto y su exactitud es adecuada para la mayor parte de trabajos de campo. El uso del velómetro y de sus distintos accesorios se ilustra en la Figura 9-10.

Antes de emplearlo verifique el ajuste de cero manteniéndolo horizontal y tapando ambas entradas de aire, a fin de que no pueda haber flujo de aire alguno a través del instrumento. Si la aguja no señala exactamente el cero, debe efectuarse la oportuna corrección actuando sobre el corres-

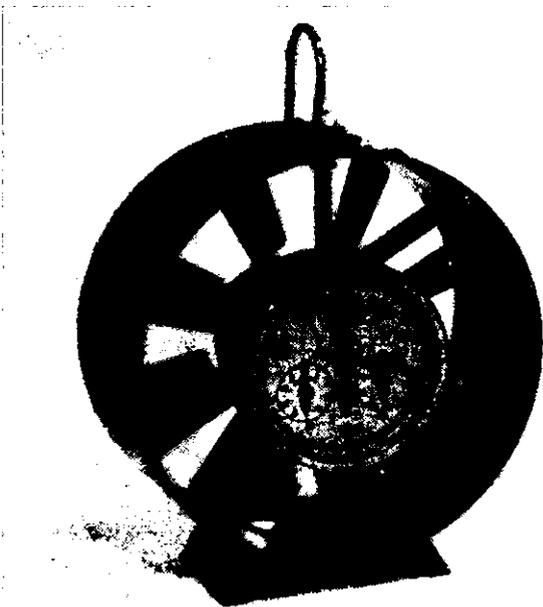


FIGURA 9-7

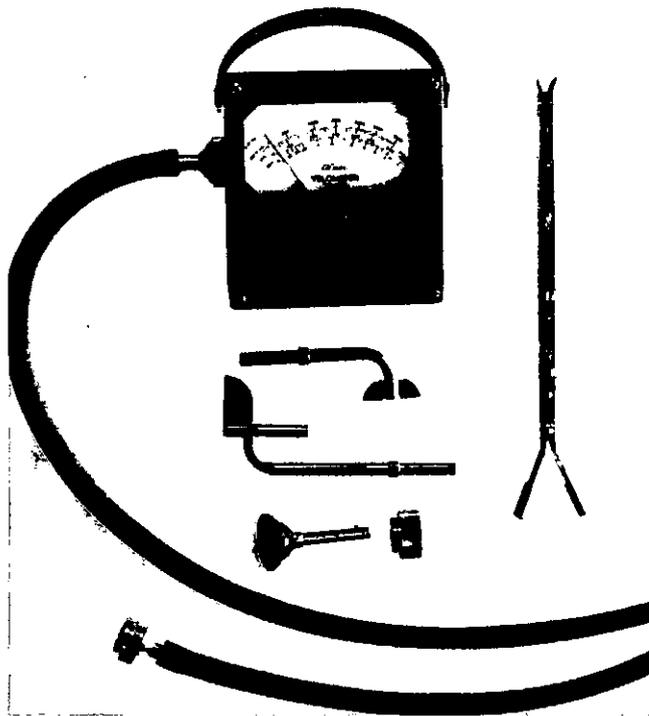


FIGURA 9-8

pondiente tornillo de ajuste. Verifique el equilibrado. Una vez ajustado el cero en la forma indicada, la aguja no debe desviarse más de tres milímetros del cero cuando ambas entradas están cerradas, independientemente de la posición en la que se coloque el aparato. Puesto que el velómetro se calibra originalmente con sus accesorios, éstos no pueden intercambiarse con los de otro aparato. El número de serie del instrumento y de sus accesorios debe coincidir. Si la calibración original se realizó empleando un filtro, éste debe utilizarse siempre.

El velómetro debe emplearse en posición vertical y, cuando se empleen accesorios, debe mantenerse fuera de la corriente de aire a fin de que el aire fluya libremente hacia la abertura. La longitud y diámetro interior del tubo de conexión afectan a la calibración del instrumento. Cuando deban sustituirse emplee únicamente tubos de la misma longitud y diámetro interior que los suministrados originalmente con el aparato. Algunos fabricantes han desarrollado instrumentos (ver Figura 8-9) que no requieren accesorios calibrados individualmente. Las restantes características funcionales son similares a las que acabamos de describir. La Figura 9-11 ilustra algunas aplicaciones de este modelo.

Cuando las temperaturas de una corriente de aire se desvían en más de unos 15 grados de la temperatura standard de 20 °C y/o la altitud es superior a 300 metros, es aconsejable efectuar una corrección por la temperatura y la presión. Las correcciones para tener en cuenta las variaciones en la densidad producidas por cambios en la altitud y la temperatura pueden efectuarse empleando la densidad real (d) dada en la ecuación 9.3, en la siguiente expresión:

$$V_c = V_m \sqrt{\frac{1,2}{d}} \quad [9.8]$$

de donde:

V_c = velocidad corregida, m/s
 V_m = velocidad medida, m/s

Utilización en las bocas de impulsión: en las bocas de impulsión grandes (al menos 0,3 m²) en las que el propio instrumento no obstruye seriamente el orificio y donde las velocidades son bajas, el propio aparato puede ser mantenido en la corriente de aire, de forma que éste incida directamente en la entrada de la izquierda. Cuando el orificio es menor de 0,25 m² y/o las velocidades son superiores a las que admite la escala "No Jet", deben emplearse los accesorios adecuados, tal como se indica en la Figura 9-9. Para efectuar mediciones frente a bocas de aspiración de menos de 0,3 m² es necesario emplear accesorios para efectuar lecturas a velocidades inferiores a 0,5 m/s.

Puesto que la velocidad y el gradiente estático frente a una campana de extracción son importantes, el accesorio dotado de pantallas deflectoras debe ser situado junto a la propia boca. Si la abertura está cubierta por una rejilla, sostenga el deflector directamente contra la rejilla y emplee los factores de corrección dados en la Tabla 9-6 para calcular el caudal extraído.

$$Q = C_f A V \quad [9.9]$$

donde:

C_f = factor de corrección en porcentaje de la lectura

Aunque puede emplearse para medir velocidades de aire, presión estática y presión total en conductos, tiene varios inconvenientes. En comparación con un tubo de Pitot re-

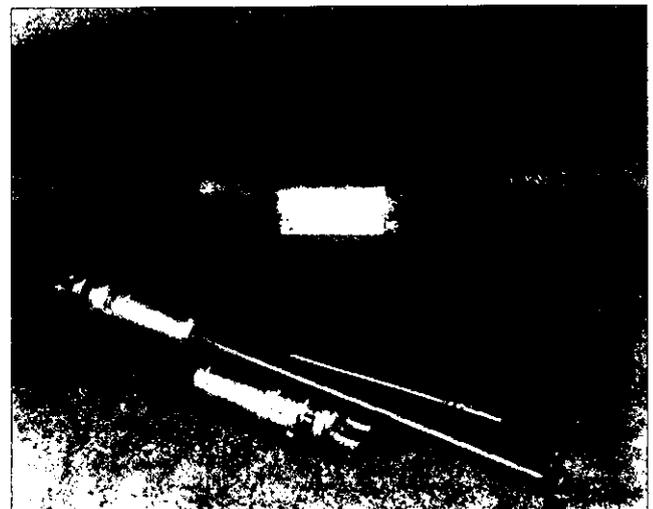
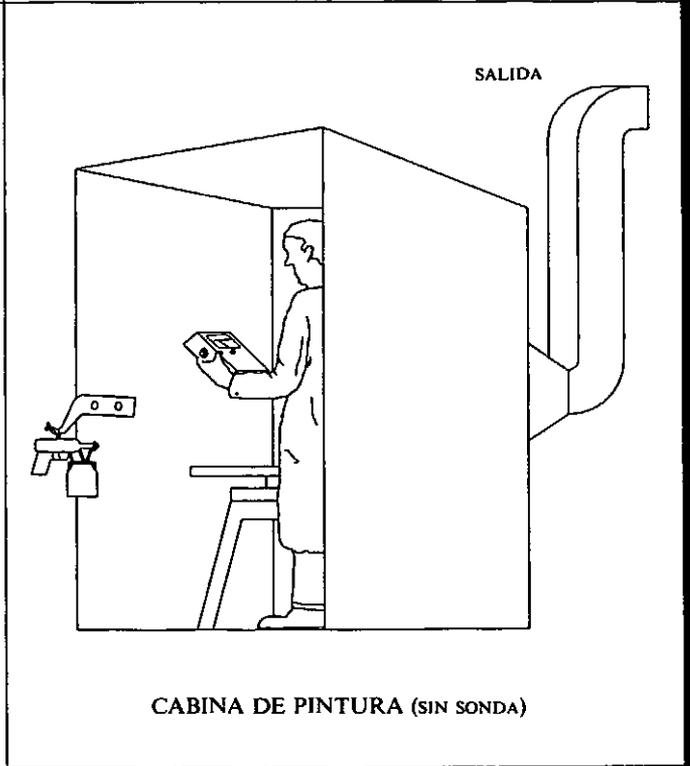
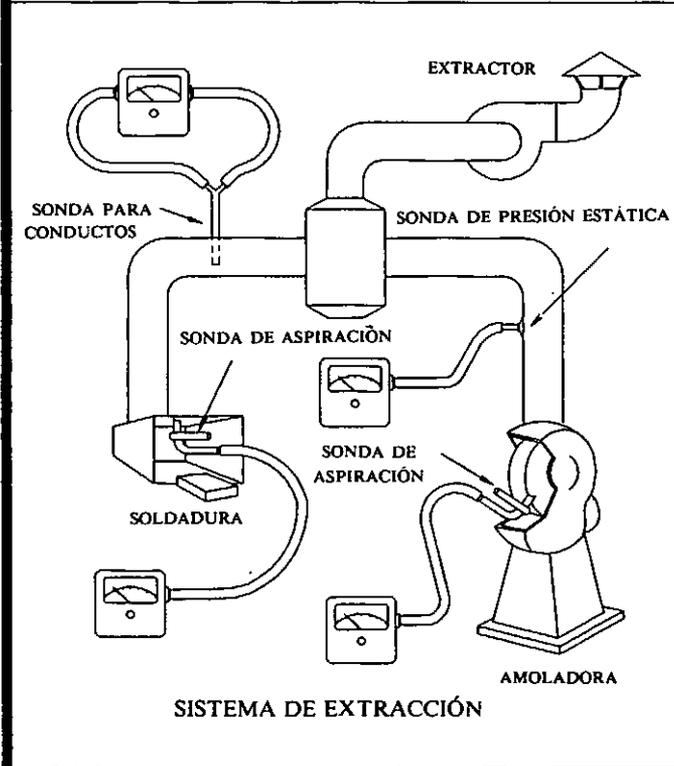
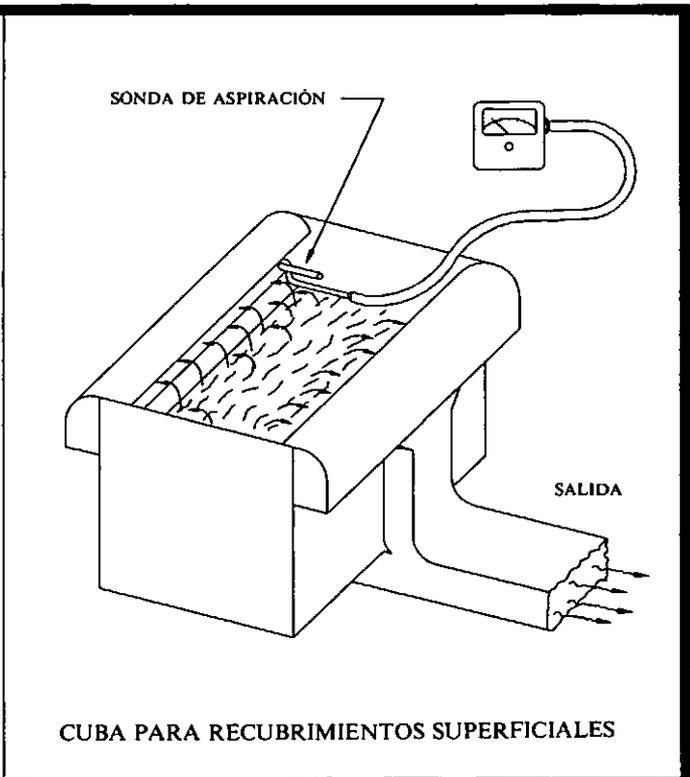
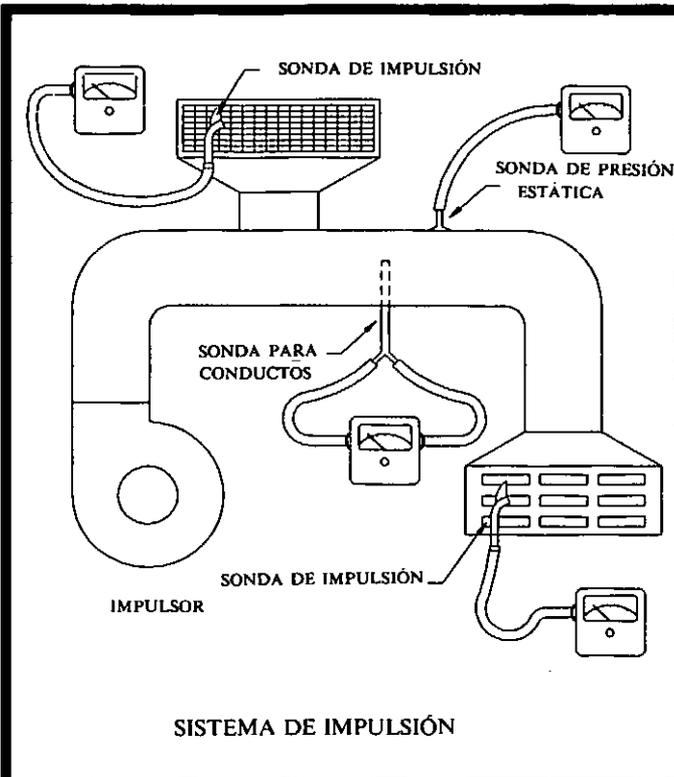


FIGURA 9-9

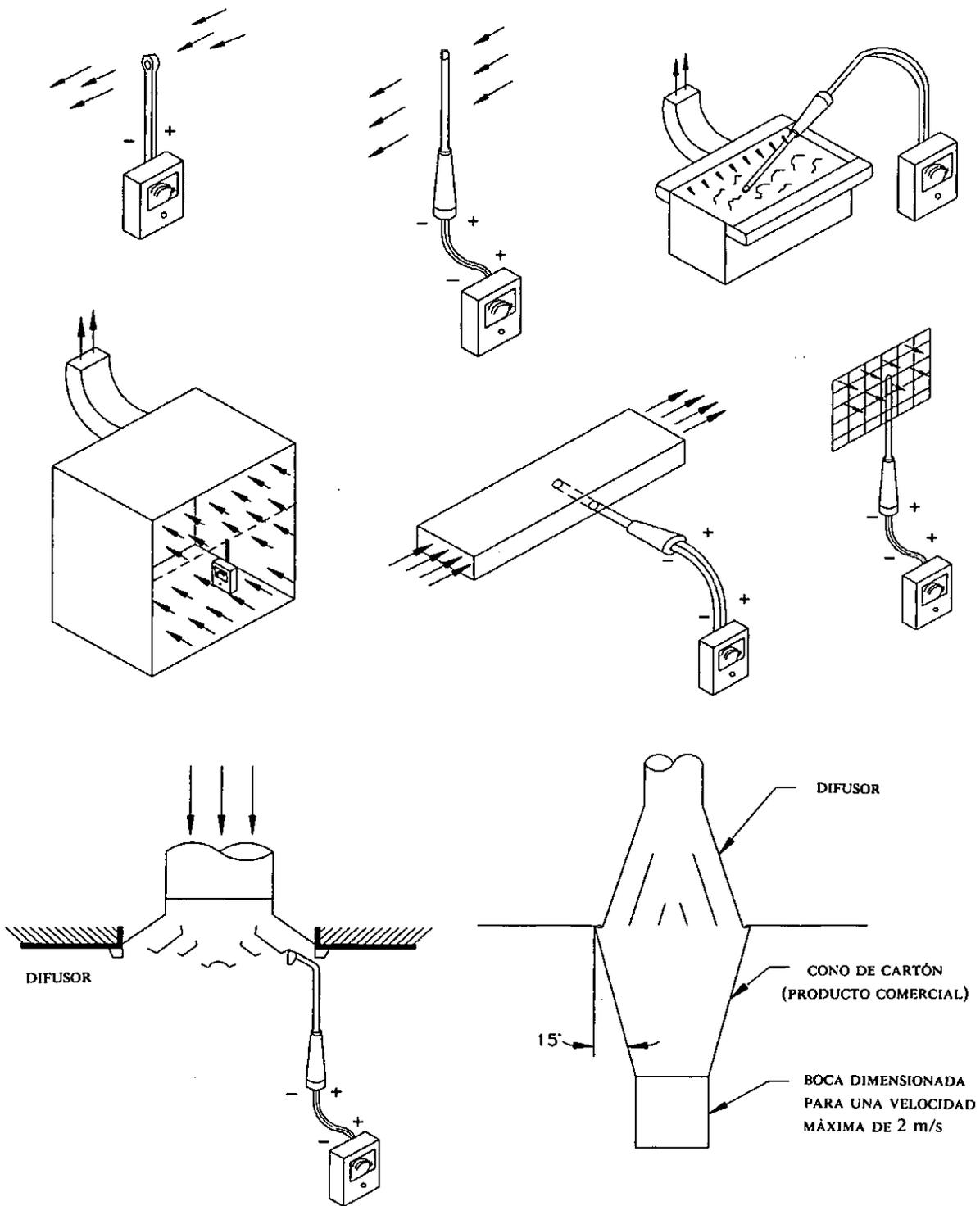


AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

EMPLEO DEL VELÓMETRO

FECHA 1-88

FIGURA 9-10



AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

EMPLEO DEL VELÓMETRO
SERIE 6000

FECHA 1-88

FIGURA 9-11

TABLA 9.6 Factores de corrección para velómetros y termoanemómetros

Características de las rejillas	Factor de corrección %
Presión	
Anchura superior a 10 cm y superficie hasta 0,4 m ² , área de paso superior al 70 % de la superficie bruta, sin aletas directrices. Emplee el área de paso.	93
Succión	
Perforaciones cuadradas (emplee el área de paso)	88
Rejilla de láminas (emplee el área bruta)	78
Rejilla simple	73
Abertura simple, sin rejilla	Sin corrección

quiere practicar en la pared del conducto un orificio mucho mayor, a menudo difícil o poco práctico de realizar. A velocidades elevadas pueden darse errores importantes en la zona alta del margen de medida, con lo que el instrumento tiende a dar valores por defecto en el lado de descarga del ventilador y por exceso en el de aspiración.

La presencia en el aire de polvo, humedad o material corrosivo representa un problema, puesto que el aire pasa a través del instrumento. En aquellos instrumentos calibrados para ser usados con un filtro (el filtro debe usarse siempre), el filtro es en sí mismo una fuente de error, pues a medida que se va cargando aumenta su resistencia y altera la cantidad de aire que llega realmente al instrumento. El aparato exige calibración y ajuste periódicos.

9.4.3 Termoanemómetro: Este tipo de instrumento (Figura 9-12) emplea el principio de que la cantidad de calor

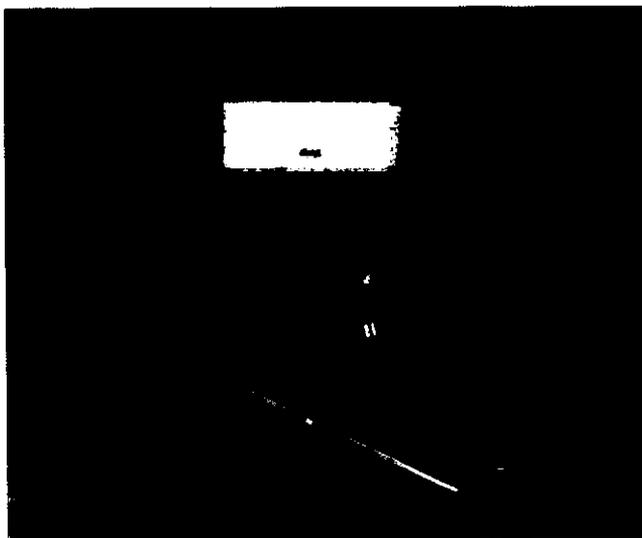


FIGURA 9-12

transferida a una corriente de aire que circula en contacto con un objeto calefactado, es función de la velocidad de dicha corriente. Puesto que la magnitud de la transferencia de calor depende del número de moléculas de aire que pasan por un punto determinado, el elemento sensor puede calibrarse no sólo como un medidor de velocidad, sino también como un instrumento de medida del flujo másico. Los instrumentos comerciales utilizan una sonda que comprende dos elementos sensores diferenciados: un sensor de velocidad y un sensor de temperatura. El sensor de velocidad trabaja a temperatura constante —normalmente alrededor de 25 °C por encima de las condiciones ambientales. La energía de calentamiento es suministrada y controlada por un amplificador alimentado con baterías e incluido en el circuito electrónico. La intensidad de corriente necesaria para mantener la temperatura de la sonda a igual temperatura que el elemento a temperatura constante proporciona una señal eléctrica que es proporcional a la velocidad del aire y que se muestra en un indicador analógico o digital. A menudo los instrumentos comerciales ofrecen también la posibilidad de integrar las variaciones de la velocidad en el tiempo y dan el valor de la temperatura en la sonda. Existen indicadores en unidades métricas y en unidades inglesas.

El sensor de velocidad debe utilizarse con cuidado en el trabajo de campo y es insensible a niveles moderados de contaminación. La sonda puede usarse directamente para medir velocidades de aire en espacios abiertos, en las bocas de aspiración e impulsión. Se dispone de accesorios para medir la presión estática. Gracias al pequeño diámetro de la sonda, es posible realizar directamente mediciones de la velocidad del aire en el interior de conductos empleando las técnicas descritas para el tubo de Pitot en la Sección 9.3.1.

La carga y el mantenimiento de las baterías es extremadamente importante, y su voltaje debe ser verificado antes de utilizar el instrumento. Los factores de corrección para este instrumento son los mismos que para el velómetro (ver Tabla 9-6). Este tipo de instrumentos requieren calibración inicial y periódica.

9.4.4 Manómetro de tubo en U: El tubo vertical en U es el más simple de los medidores de presión. Se utiliza con diversos líquidos tales como alcohol, mercurio, aceite, agua, queroseno, y líquidos especiales para manómetros, y usualmente está calibrado en mmcd. El tubo en U puede emplearse tanto para aplicaciones fijas como portátiles.

Los modelos disponibles comercialmente se presentan en una amplia variedad de márgenes de medida, número de columnas y aspectos. Los tubos son habitualmente de plástico para minimizar las roturas. Uno de los lados puede sustituirse por un recipiente o depósito, lo que facilita la lectura.

9.4.5 Manómetro inclinado: Si se inclina una de las ramas de un manómetro en U se obtiene mayor sensibilidad y una ampliación de la escala. El manómetro inclinado amplía la escala, facilitando la exactitud de la lectura cuando se trata de pequeñas variaciones de presión. En las ver-

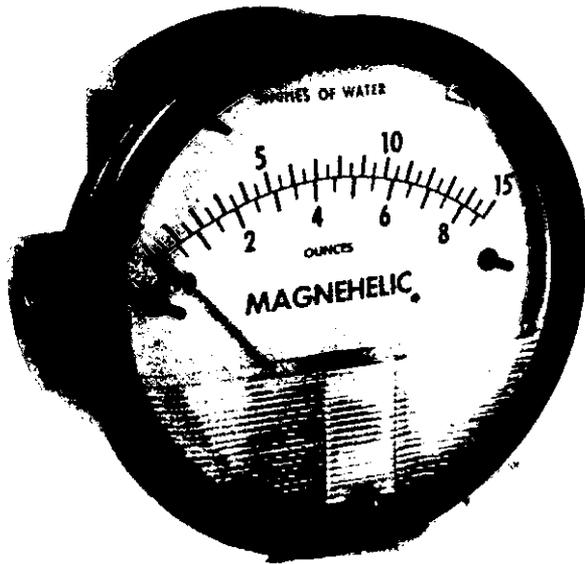


FIGURA 9-13

siones comerciales se utiliza solamente una rama de pequeño diámetro, siendo la otra reemplazada por un recipiente. La exactitud del equipo depende de la pendiente de los tubos. En consecuencia la base del manómetro debe ser cuidadosamente nivelada y montada sobre un soporte robusto que permita efectuar adecuadamente dicha nivelación. Los mejores instrumentos incorporan un nivel, un tornillo de ajuste y, además, un sistema que permita ajustar la escala al cero. Algunos modelos incorporan trampas de sobrepresión para evitar la pérdida de fluido en el caso de picos de presión superiores al margen de trabajo del manómetro.

El manómetro inclinado-vertical es una modificación del manómetro inclinado, en la que la rama indicadora se curva para dar una parte inclinada y otra vertical, con la ventaja de un menor espacio ocupado pero manteniendo el refinamiento de la medida que proporciona el manómetro inclinado. Al igual que con los manómetros en U y los inclinados, existen una gran variedad de modelos comerciales que ofrecen distintos márgenes de medida, número de columnas y unidades de calibración.

9.4.6 Manómetros aneroides: Este tipo de instrumento se emplea como equipo de campo en estudios de ventilación, para la medición de la presión estática, dinámica o total, acoplado a un tubo de Pitot o para la medición, con un solo tubo, de la presión estática. Diversos fabricantes ofrecen este tipo de instrumentos para los bajos márgenes de medida adecuados para su uso en aplicaciones de ventilación. Quizás el más conocido es el Magnehelic (R) (Figura 9-13). Sus principales ventajas son las siguientes: fácil de leer, mayor respuesta que los manómetros anteriores, muy portátiles (muy pequeños en tamaño y peso), ausencia de

fluidos lo que significa menor mantenimiento, y montaje y empleo en cualquier posición sin pérdida de exactitud. Su principal inconveniente estriba en que pueden fallar mecánicamente, requieren verificación periódica de la calibración y, ocasionalmente, recalibración.

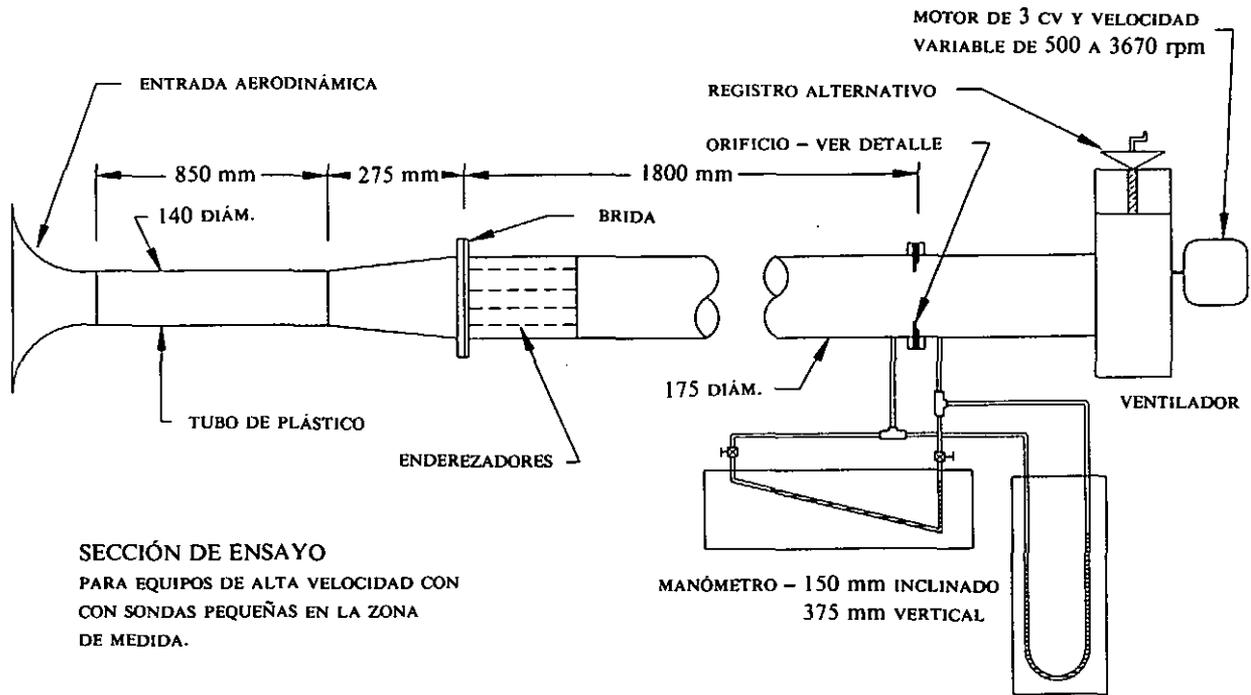
9.4.7 Manómetros aneroides electrónicos: Existen en la actualidad instrumentos comerciales que miden e indican la presión estática y dan directamente el valor de la velocidad a partir de la medida de la presión dinámica, utilizando los mismos principios de detección de la presión que emplean los manómetros aneroides. Este tipo de instrumento puede conectarse directamente a un tubo de Pitot standard y utilizado de la misma forma que un manómetro en U. Estos instrumentos son ligeros, caben en la mano y pueden ser equipados con un indicador electrónico digital o una impresora que registre los datos en unidades métricas o inglesas. Puesto que utilizan baterías, requieren mantenimiento y calibración periódicos.

9.4.8 Tubos de humo: Las mediciones de baja velocidad pueden efectuarse calculando el tiempo que una nube de humo tarda en recorrer una distancia determinada. Este tipo de observaciones están limitadas a velocidades inferiores a 0,75 m/s, puesto que velocidades superiores provocan una difusión del humo demasiado rápida. Comercialmente están disponibles tubos y bengalas de humo, que son útiles para la observación del flujo de aire junto a las bocas de aspiración e impulsión. Pueden utilizarse también para verificar el movimiento y dirección del aire en una planta.

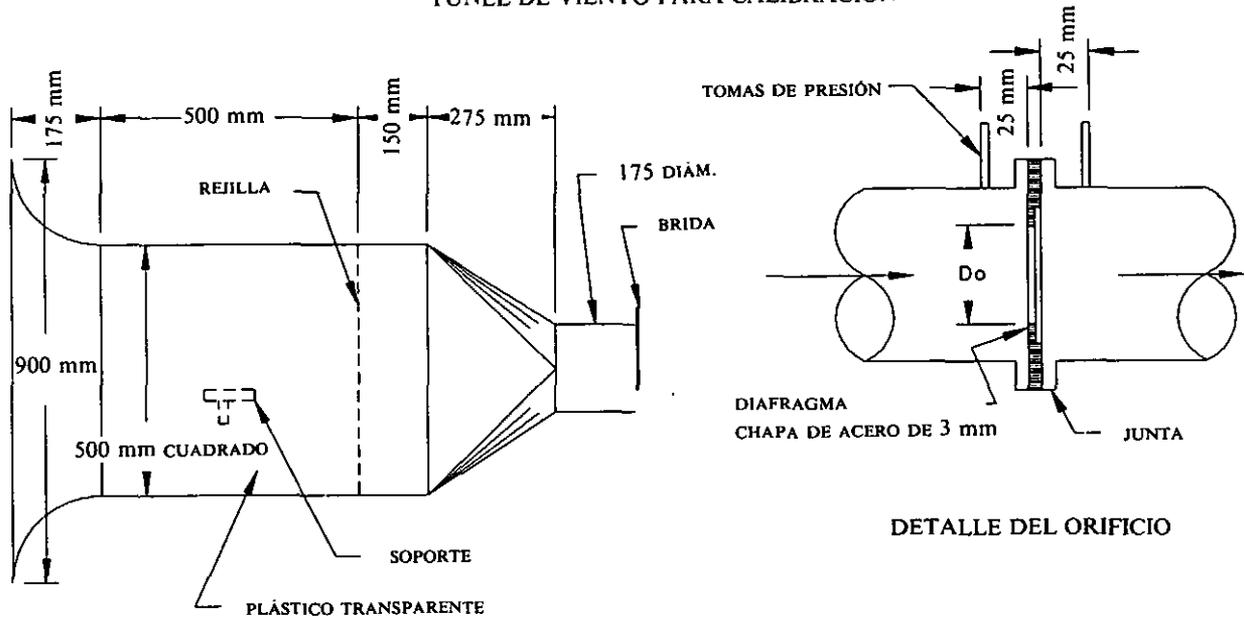
El humo generado es corrosivo, por lo que debe utilizarse con cuidado en las proximidades de equipos sensibles o donde se preparen alimentos. Las bengalas de humo tienen llama, por lo que no deben emplearse en atmósferas inflamables. No deben sostenerse con la mano.

9.4.9 Gas trazador: A veces se emplea el principio de dilución para determinar el caudal de aire. Una cantidad medida de gas trazador se introduce continuamente en uno o más puntos de entrada (campanas o aberturas en conductos) junto con el aire entrante. Cuando se ha efectuado un mezclado total y se ha alcanzado el equilibrio del sistema, se toman muestras de aire en algún punto aguas abajo—habitualmente en o cerca del punto de salida— y se determina la concentración de gas trazador en la corriente de salida. El caudal de aire se calcula fácilmente a partir del nivel de dilución detectado en el aire expulsado y de la cantidad de gas trazador introducida (el caudal de aire es el cociente de dividir la cantidad de gas trazador introducida por unidad de tiempo por la concentración del mismo a la salida^(9.5)).

El gas trazador es seleccionado habitualmente en base a los siguientes criterios: 1) Facilidad de captación y análisis, 2) no presente en el proceso en estudio, 3) no absorbido física o químicamente en el sistema de conductos, 4) no reacciona con otros constituyentes de la corriente de aire, y 5) no tóxico o no explosivo.



TÚNEL DE VIENTO PARA CALIBRACIÓN



AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

TÚNEL DE VIENTO PARA
CALIBRACIÓN

FECHA 1-88

FIGURA 9-14

9.5 CALIBRACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Los instrumentos de medida directa han de calibrarse periódicamente, pues pueden sufrir fácilmente daños por golpes (caídas, sacudidas), polvo, temperaturas elevadas y atmósferas corrosivas. Los instrumentos han de calibrarse regularmente, y deben ser sometidos a calibración siempre que el cero no ajuste debidamente o que hayan sido sometidos a una manipulación poco cuidadosa o a ambientes agresivos.

9.5.1 Diseño y calibración de un túnel de viento: Un túnel de viento típico para ensayar instrumentos de medida de la velocidad del aire debe constar de los siguientes elementos:

1. *Una sección de ensayos adecuada.* Ésta es la sección en la que se coloca la sonda o instrumento; el flujo de aire debe ser uniforme, tanto dentro de la sección recta como en el sentido de la corriente de aire. Si existe una vena contracta y turbulencias no se obtendrán resultados satisfactorios.
2. *Medios adecuados para medir exactamente el caudal de aire.* El instrumento de medida del sistema debe ser exacto y disponer de escalas graduadas adecuadamente, de manera que el valor del caudal pueda determinarse con una exactitud de $\pm 1\%$. Por comodidad y ahorro de tiempo, es preferible emplear un instrumento de lectura única, como un venturi o un diafragma, que uno que requiera lecturas múltiples, como un tubo de Pitot.
3. *Medios para crear y regular un flujo de aire en el túnel.* Para las calibraciones usuales de los instrumentos empleados en calefacción, ventilación y extracción industrial, las velocidades de ensayo necesarias varían aproximadamente de 0,25 a 40 m/s. La regulación del flujo de aire debe ser tal que no se produzcan distorsiones en la sección de ensayos. El sistema de regulación debe poderse ajustar con facilidad y exactitud a las velocidades deseadas. El ventilador debe tener capacidad suficiente para alcanzar la máxima velocidad en la sección de ensayos superando la pérdida de carga total del sistema.

Para alcanzar una uniformidad de flujo satisfactoria en la sección de ensayos, es necesario emplear una boca de entrada acampanada (Figura 9-14). Existen varios diseños para dicha boca. Uno de ellos es el elíptico, en el cual la curvatura es similar a la de un cuarto de elipse en la cual el semieje mayor de la elipse es igual al diámetro del conducto al que se acopla la entrada, y el semieje menor mide las dos terceras partes del mayor. Este tipo de entrada puede construirse con un torno.

Realmente, cualquier tipo de entrada suavemente curvada en forma de campana, que dirija el aire hacia el conducto desde un ángulo de 180° debería ser satisfactoria. Una entrada que es fácil de conseguir es la boca de una tuba. Esta entrada debe conectarse a un conducto de plástico liso, sin

soldadura y de 14 cm de diámetro. Debe limarse cualquier tipo de rebaba, deformación u obstrucción, de manera que se obtenga un acoplamiento continuo entre el conducto y la entrada.

Para calibrar los instrumentos de mayor tamaño, tales como los velómetros para baja velocidad (velómetro Alnor) y los anemómetros de álabes rotativos, puede construirse una gran sección de ensayos rectangular, de plástico transparente y de al menos $0,25 \text{ m}^2$ de sección recta, con una entrada construida con chapa metálica delgada y adecuadamente curvada, tal como se indica en la Figura 9-15. Una malla metálica fina, situada aguas abajo, contribuirá a lograr un flujo uniforme en la sección de ensayos.

Como instrumento de medida puede emplearse un venturi, un orificio calibrado o un diafragma. De ellos, el diafragma tiene mayor resistencia al paso del aire, pero es fácil de construir y puede diseñarse para que sea intercambiable para varios diámetros de orificio. El diafragma puede montarse entre dos bridas y sellarse conjuntas, tal como se indica en la Figura 9-14. Cada diafragma debe calibrarse antes de su uso, empleando un tubo de Pitot y un manómetro. Para velocidades por debajo de 10 m/s debe utilizarse un micromanómetro.^(9,6)

La Tabla 9-7 da los valores calculados para diafragmas de 35,5 66,7 y 124,5 mm. Cuando los diafragmas se colocan en un conducto de 175 mm de diámetro y tienen exactamente las dimensiones indicadas, no es preciso calibrarlos, pudiéndose emplear los valores del caudal dados en la Tabla, cuyo margen de error en este caso es inferior al $\pm 5\%$ en todo el margen indicado, para aire en condiciones standard.

Para un túnel de viento con una sección de ensayo con un diámetro de aproximadamente 15 cm y equipado con un diafragma, se precisa un ventilador centrífugo con un caudal de unos 2 000 m^3/h a una presión de 250 mmcda. Existen ventiladores de palas radiales e inclinadas hacia atrás con estas características. El caudal de aire puede regularse mediante una válvula a la salida, un variador de la velocidad del motor o un sistema de tracción regulable.

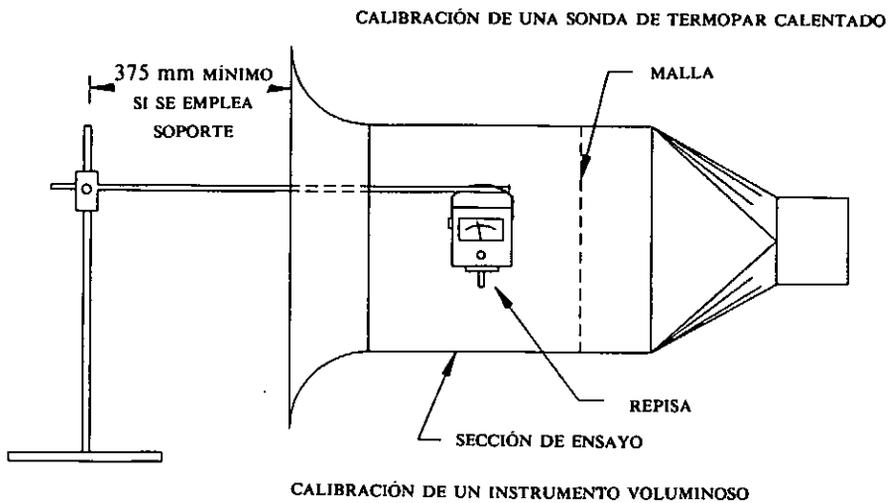
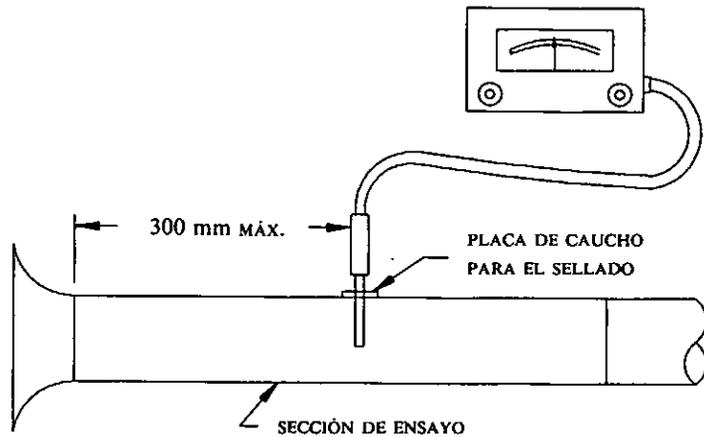
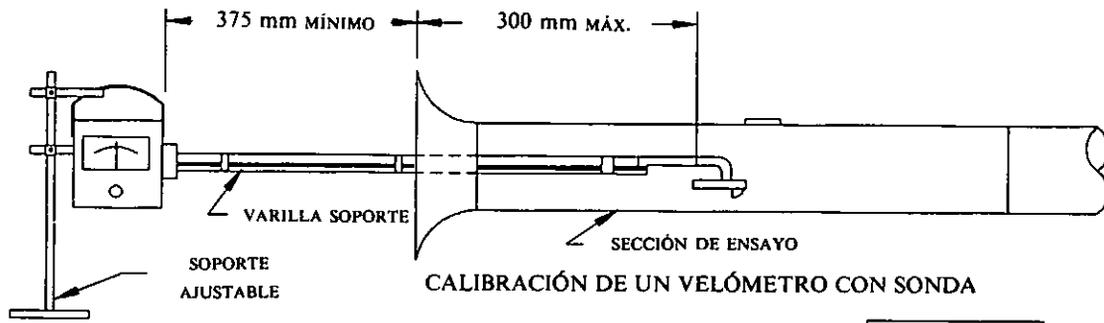
El caudal de aire que atraviesa un diafragma con las tomas de presión situadas a 25 mm de cada uno de los lados del orificio puede calcularse a partir de la siguiente ecuación, para conductos cuyo diámetro esté comprendido entre 50 y 350 mm:

$$Q = 3,4 \times 10^{-6} K D^2 \sqrt{\frac{PC}{d}} \quad [9.10]$$

donde:

- Q = caudal, m^3/h
- K = coeficiente del caudal
- D = diámetro del diafragma, mm (orificio)
- PC = pérdida de carga en el diafragma, mmcda
- d = densidad, kg/m^3

El coeficiente K, que depende del número de Reynolds, es un valor sin dimensiones que depende de las condiciones



MANTENGA LA ENTRADA
A LA SECCIÓN DE ENSAYO
LIBRE DE OBSTRUCCIONES Y DE CORRIENTES DE AIRE

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

CALIBRACIÓN

FECHA 1-88

FIGURA 9-15

TABLA 9.7 Caudal en el diafragma (m³ [standard]/h redondeados a la unidad) en función de la presión diferencial (mmcda)

Pres. dif. mmcda	Diámetro del diafragma, mm			Pres. dif. mmcda	Diámetro del diafragma, mm			Pres. dif. mmcda	Diámetro del diafragma, mm		
	36	67	124		36	67	124		36	67	124
0,5			97	31	49	172	697	104,1	89	315	1267
1		32	134	31,5	49	174	703	106,7	90	319	1283
1,5		39	162	32	50	175	708	109,2	91	322	1296
2		45	186	32,5	50	177	714	111,8	92	326	1312
2,5		50	206	33	50	178	719	114,3	93	330	1327
3		55	225	33,5	51	179	725	116,8	94	333	1341
3,6		59	243	34	51	181	730	119,4	95	337	1354
4,1		63	259	34,5	51	182	735	121,9	96	340	1369
4,6		67	274	35,1	52	183	741	124,5	97	344	1383
5,1		70	288	35,6	52	185	746	127	98	347	1397
5,6		73	302	36,1	52	186	751	129,5	99	351	1410
6,1		77	315	36,6	53	187	756	132,1	100	354	1424
6,6		80	327	37,1	53	188	762	134,6	101	357	1437
7,1		83	329	37,6	54	190	767	137,2	102	361	1451
7,6		86	351	38,1	54	191	772	139,7	103	364	1465
8,1		89	362	38,6	54	192	777	142,2	104	367	1476
8,6		91	373	39,1	55	194	782	144,8	104	371	1490
9,1		94	383	39,6	55	195	787	147,3	105	374	1502
9,7		97	393	40,1	55	196	792	149,9	106	377	1516
10,2		99	404	40,6	56	197	797	152,4	107	380	1527
10,7		101	413	41,1	56	198	802	154,9	108	383	1541
11,2		104	423	41,7	56	200	807	157,5	109	386	1553
11,7		106	432	42,2	57	201	811	160	110	389	1565
12,2		108	441	42,7	57	202	816	162,6	111	392	1577
12,7	31	111	450	43,2	57	203	821	165,1	111	396	1589
13,2	32	113	459	43,7	58	204	826	167,6	112	399	1600
13,7	33	115	467	44,2	58	205	830	170,2	113	401	1612
14,2	33	117	476	44,7	58	207	835	172,7	114	405	1624
14,7	34	119	484	45,2	59	208	840	175,3	115	407	1636
15,2	34	121	492	45,7	59	209	844	177,8	116	410	1648
15,7	35	123	500	46,2	59	210	849	180,3	116	413	1660
16,3	36	125	508	46,7	60	211	854	182,9	117	416	1672
16,8	36	127	515	47,2	60	213	858	185,4	118	419	1682
17,3	37	129	523	47,8	60	214	863	188	119	422	1694
17,8	37	131	531	48,3	61	215	867	190,5	120	425	1704
18,3	38	133	538	48,8	61	216	872	193	120	427	1716
18,8	38	134	545	49,3	61	217	876	195,6	121	430	1728
19,3	39	136	553	49,8	62	218	880	198,1	122	433	1738
19,8	39	138	559	50,3	62	219	885	207	123	436	1748
20,3	40	140	567	50,8	62	220	889	203	124	438	1760
20,8	40	141	573	53,3	64	226	911	205,7	124	441	1770
21,3	41	143	580	55,9	65	231	932	208,3	125	444	1781
21,8	41	145	587	58,4	67	236	953	210,8	126	446	1792
22,4	41	146	594	61	68	241	973	213,4	127	449	1803
22,9	42	148	600	63,5	69	246	993	215,9	127	452	1813
23,4	42	150	607	66	71	251	1012	218,4	128	454	1823
23,9	43	151	613	68,6	72	256	1031	221	129	457	1833
24,4	43	153	620	71,1	74	260	1050	223,5	129	459	1843
24,9	44	155	626	73,7	75	265	1068	226,1	130	462	1854
25,4	44	156	632	76,2	76	270	1086	228,6	131	465	1864
25,9	45	158	638	78,7	77	274	1104	231,1	132	467	1874
26,4	45	159	644	81,3	78	278	1121	233,7	132	470	1884
26,9	46	161	651	83,8	80	283	1138	236,2	133	472	1894
27,4	46	162	656	86,4	81	287	1155	238,8	134	475	1905
27,9	46	164	663	88,9	82	2	1172	241,3	134	477	1915
28,4	47	165	668	91,4	83	295	1188	243,8	135	479	1923
29	47	167	674	94	84	297	1204	246,4	136	482	1944
29,5	48	168	680	96,5	85	303	1220	248,9	136	484	1954
30	48	170	686	99,1	87	307	1236	251,5	137	487	1962
30,5	48	171	691	101,6	88	311	1251	254	138	489	

TABLA 9.8 Valores de K (en ecuación 9-10) para distintas relaciones diámetro de orificio/diámetro de conducto (D/d) y distintos números de Reynolds*

d/D	Número de Reynolds en miles						
	25	50	100	230	500	1000	10000
0,100	0,605	0,601	0,598	0,597	0,596	0,595	0,595
0,200	0,607	0,603	0,600	0,599	0,598	0,597	0,597
0,300	0,611	0,606	0,603	0,603	0,601	0,600	0,600
0,400	0,621	0,615	0,611	0,610	0,609	0,608	0,608
0,450	0,631	0,624	0,619	0,617	0,615	0,615	0,615
0,500	0,644	0,634	0,628	0,626	0,624	0,623	0,623
0,550	0,663	0,649	0,641	0,637	0,635	0,634	0,634
0,600	0,686	0,668	0,658	0,653	0,650	0,649	0,649
0,650	0,717	0,695	0,680	0,674	0,670	0,668	0,667
0,700	0,755	0,723	0,707	0,699	0,694	0,692	0,691
0,750	0,826	0,773	0,747	0,734	0,726	0,723	0,721

* Para diámetros de conducto de 50 a 350 mm inclusive.

de flujo en el interior del conducto. La ecuación siguiente da un método simplificado para calcular el número de Reynolds para aire standard:

$$R = 66 D V \quad [9.11]$$

donde:

R = número de Reynolds, sin dimensiones

V = velocidad del aire en el orificio, m/s

El coeficiente K puede obtenerse de la Tabla 9-8.^(9.3)

9.5.2 Empleo del túnel de viento: Los instrumentos de medida de la velocidad del aire deben calibrarse de la forma en la que se usarán en el campo. Los velómetros y los anemómetros de álabes rotativos se colocan en la sección de ensayo apropiada colocados sobre un soporte adecuado y se hace variar la velocidad en el intervalo de trabajo del aparato. Los equipos de termopar calentado se calibran de la misma forma. Los tubos de Pitot especiales y las sondas de los equipos de lectura directa se introducen en el interior del conducto a través de un orificio adecuado, calibrándose en todo su intervalo de trabajo (Figura 9-15).^(9.9)

9.6 EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE EXTRACCIÓN

Antes de ensayar un sistema de ventilación es fundamental poseer un conocimiento adecuado de los instrumentos de medida y de los métodos que acabamos de describir. Un sistema de ventilación debe ensayarse inmediatamente después de su instalación y, posteriormente, a intervalos regulares.

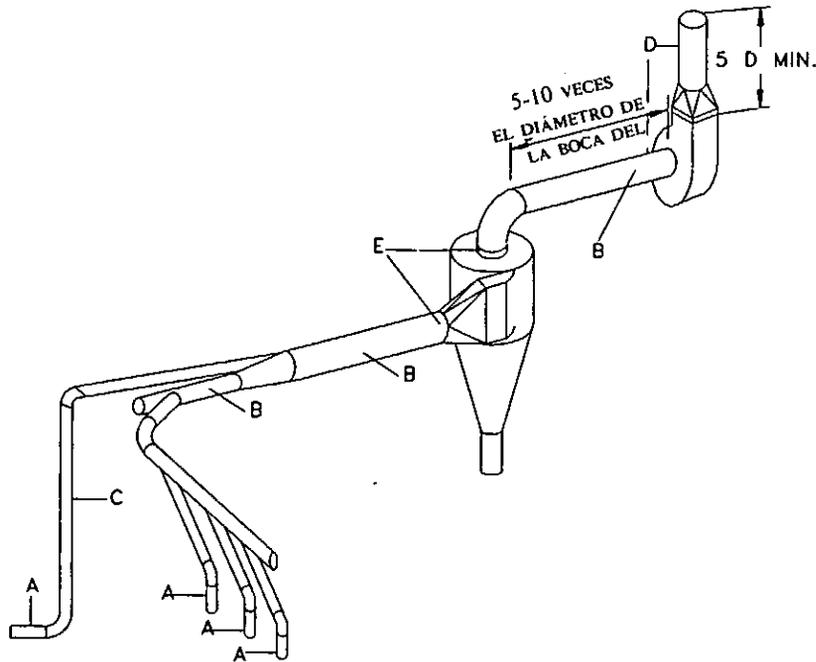
9.6.1 Nuevas instalaciones: Una vez construida una instalación deben recopilarse los datos necesarios para asegurar que 1) los caudales, su distribución y el equilibrio del

sistema coinciden con los datos de diseño y 2) el control de los contaminantes es efectivo. Como primer paso debe dibujarse un esquema del sistema, no necesariamente a escala, en el que se indiquen tamaño, longitud y posición relativa de todos los conductos, uniones y otros elementos integrantes del sistema. El esquema debe emplearse como guía para la elección de los puntos de medida, y muy a menudo pondrá en evidencia pequeñas incorrecciones de montaje y errores de diseño. Las modificaciones físicas que puedan ocurrir con posterioridad (adición de ramas, alteraciones de campanas o conductos) se detectarán fácilmente si dicho esquema se conserva como registro permanente.

Las mediciones iniciales deben incluir el caudal, la velocidad y la presión estática en cada rama y en el conducto principal; mediciones de presión estática (succión estática) en cada una de las bocas de aspiración; mediciones de presión estática y total tanto a la entrada como a la salida del ventilador; y mediciones de presión a la entrada y a la salida de los equipos depuradores (presión diferencial). Los resultados de las mediciones pondrán de manifiesto cualquier diferencia respecto a los datos de diseño y la necesidad de equilibrar para mejorar la distribución y permitirán verificar que las velocidades en los conductos son suficientes para transportar el material vehiculado. Cuando se detecta un desequilibrio, es aconsejable repetir las mediciones de presión una vez se ha reequilibrado el sistema. Deben registrarse todos los resultados así como los puntos de medida, a fin de poder servir de base en futuros ensayos para detectar posibles variaciones del caudal respecto a sus valores iniciales.

Debe verificarse el diseño de las campanas a fin de asegurar que los focos de contaminante están tan encerrados como sea posible sin interferir con el proceso. El tipo de control ambiental variará con el contaminante: cuando se trata de materiales tóxicos deberá recurrirse a muestras personales. La observación visual puede ser una alternativa satisfactoria cuando se trata de sustancias visibles y no tóxicas.

En la Figura 9-16 se muestra un ejemplo de un sistema



PUNTO	MEDIDA	LOCALIZACIÓN DE LA MEDIDA	UTILIZACIÓN DE LA MEDIDA
A	PRESIÓN ESTÁTICA EN LA CAMPANA	A DISTANCIA DESDE LA CAMPANA 3 DIÁM. PARA CAMPANAS SIMPLES O CON PESTAÑAS 1 DIÁM. PARA ENTRADAS PROGRESIVAS	1. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL (ECUACIÓN 1.12) 2. VERIFICACIÓN DEL FUNC. DE CAMPANA O SISTEMA
B	PRESIÓN ESTÁTICA Y DINÁMICA	RAMAS Y CONDUCTOS PRINCIPALES – PREFERIBLEMENTE 7,5 DIÁM. AGUAS ABAJO DE CUALQUIER PUNTO SINGULAR	1. VELOCIDAD DE TRANSPORTE 2. CAUDAL $Q = VA$ 3. PRESIÓN ESTÁTICA PARA VERIF. DEL SISTEMA
C	PRESIÓN DINÁMICA EN EL EJE	CONDUCTOS PEQUEÑOS, COMO SE INDICA EN EL ESQUEMA. LECTURA SÓLO EN EL CENTRO	SÓLO EN CONDUCTOS CIRCULARES. EN CONDUCTOS PEQUEÑOS CUANDO NO ES PRACTICABLE UNA MEDICIÓN COMPLETA O PARA VALORES APROXIMADOS
D	PRESIÓN ESTÁTICA, DINÁMICA Y TOTAL	ENTRADA Y SALIDA DEL VENTILADOR. DOS O TRES MEDICIONES EN CADA PUNTO	1. PRESIÓN ESTÁTICA Y TOTAL DEL VENTILADOR $PE_v = PE_s - PE_e - PD_i$ $PT_v = PE_s - PE_e + PD_s - PD_e$ 2. DIMENSIONAM. DEL MOTOR O ESTIMACIÓN DEL CAUDAL $W(Kw) = \frac{Q(m^3/s) \times PT_v (mmcda)}{0,98 \times \text{rend. motor } \%}$ 3. PRESIÓN ESTÁTICA PARA VERIFICACIÓN DEL SISTEMA.
E	PRESIÓN ESTÁTICA	ENTRADA Y SALIDA DEL DEPURADOR	1. COMPARAR LA PÉRDIDA DE CARGA CON LOS VALORES NORMALES 2. VERIFICACIÓN PARA MANTENIMIENTO. VALORES SUPERIORES O INFERIORES A LOS NORMALES INDICAN OBSTRUCCIONES, DESGASTE O AVERÍA DEL DEPURADOR, O NECESIDAD DE LIMPIEZA

ADEMÁS DE LO INDICADO, ES USUAL MEDIR LA VELOCIDAD EN LA BOCA DE LAS CAMPANAS Y LA VELOCIDAD DE CAPTURA EN EL PUNTO DE GENERACIÓN DEL CONTAMINANTE, A FIN DE DEFINIR CON EXACTITUD EL FUNCIONAMIENTO DE LA CAMPANA. LA OBSERVABILIDAD DEL FLUJO DE AIRE EN LAS PROXIMIDADES DE LA BOCA DE LAS CAMPANAS PUEDE AUMENTARSE EMPLEANDO GENERADORES DE HUMO, HILOS O CINTAS.

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

EJEMPLO DE SISTEMA

FECHA

1-88

FIGURA

9-16

PLANTA DEPART. FECHA
 OPERACIÓN DE EXTRACCIÓN

ESQUEMA INDICANDO LOS PUNTOS DE MEDIDA

FECHA DE INSTALACIÓN SISTEMA

CAMPANA Y VELOCIDAD DE TRANSPORTE

PUNTO	CONDUCTO		PD mmcda	PE mmcda	VELOC. Tbl. 9-1 m/s	CAUDAL Q = VA m³/s	OBSERVACIONES
	D DIAM.	AREA (Tbl. 5-5)					

TUBO DE PITOT
 LECTURAS PITOT - VES TABLAS 9-1 A 9-4

VENTILADOR
 TIPO
 TAMAÑO

PUNTOS	PD	V	PD	V	PD	V
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
V. TOTAL						
V. MEDIA						
CAUDAL - m³/s						

PUNTO	DIÁM.	PE	PD	PT	m³/s
ENTRADA					
SALIDA					

VENTILADOR PE (VER SECCIÓN 6)
 MOTOR
 MARCA TAMAÑO
 CV
 DEPURADOR
 TIPO Y TAMAÑO

PUNTO	DIÁM.	PE	Δ PE
ENTRADA			
SALIDA			

NOTAS

AMERICAN CONFERENCE
 OF GOVERNMENTAL
 INDUSTRIAL HYGIENISTS

HOJA DE DATOS

FECHA 1-88

FIGURA 9-17

de extracción con indicación de los posibles puntos de medida. La selección de dichos puntos dependerá del sistema en cuestión. Raramente será posible alcanzar el ideal, como en los ensayos de laboratorio. Sin embargo, con una elección juiciosa de los puntos de medida, de forma que se eviten las turbulencias excesivas, y poniendo una cuidadosa atención en la calibración, alineación y posicionamiento de los instrumentos, es posible obtener medidas de exactitud suficiente.

9.6.2 Ensayos periódicos: Para la mayor parte de las instalaciones existentes raramente es necesario realizar con frecuencia estudios de toma de muestras. A menos que el proceso sea modificado, o que las campanas o cabinas sufran alteraciones o se cambien los métodos de manejo de materiales, si el control inicial era adecuado debería seguir siéndolo siempre y cuando el sistema de extracción funcione *debidamente*.

La palabra "debidamente" puede ser subvalorada porque en muchos casos poca atención se presta a la instalación una vez ha sido construida. Los equipos de extracción localizada y los colectores de polvo exigen la misma atención que usualmente se presta a las máquinas herramienta y otros equipos de la fábrica.

9.6.3 Procedimiento de verificación: En los sistemas diseñados para equilibrarse sin la ayuda de compuertas de regulación puede emplearse el siguiente procedimiento, que aunque tiene como objetivo la verificación inicial de los cálculos de diseño y de la calidad constructiva en sistemas nuevos, puede emplearse también para sistemas existentes cuando se dispone de los cálculos de diseño o es posible rehacerlos. No permite detectar una elección incorrecta de los criterios de diseño, tal como velocidades de captura o de transporte demasiado bajas, y en consecuencia no pondrá de manifiesto un control inadecuado debido a esta clase de error. Se consideran aceptables desviaciones respecto a los valores de diseño de $\pm 10\%$.

1. Determine el caudal en el conducto mediante un tubo de Pitot. Si el valor obtenido es correcto, vaya al paso 4; si no, continúe con la.
 - a. Verifique el dimensionamiento del ventilador.
 - b. Verifique la velocidad y dirección de rotación del ventilador.
 - c. Verifique la configuración de la entrada y salida del ventilador respecto a los planos.
2. Si se encuentra algún error, una vez corregido vuelva al punto 1. De no hallarse, mida la presión estática a la entrada y salida del ventilador y calcule la presión estática del ventilador. Mediante la curva característica del ventilador verifique el caudal, la presión estática del ventilador y la velocidad de giro del mismo. Si el funcionamiento es satisfactorio, aunque el punto de funcionamiento no es el de diseño, el ventilador funciona correctamente, y el problema está en algún otro punto del sistema. Vaya al paso 3.
3. Si la presión estática en la *entrada* del ventilador es

- mayor (más negativa) que la de diseño, vaya al paso 4. Si la presión estática a la *salida* del ventilador es mayor (más positiva) que la de diseño, vaya al paso 8.
4. Mida la presión estática en cada una de las campanas y compare el resultado con el valor de diseño. Si son correctos, vaya al paso 10; si no, continúe con el paso 4a.
 - a. Verifique el tamaño y diseño de las campanas y rendijas respecto a los planos.
 - b. Verifique la presencia de obstrucciones en cada una de las campanas.
 5. Una vez que se hayan corregido todos los errores de construcción y las obstrucciones, si la presión estática de las campanas es correcta, vuelva al paso 1; si es demasiado baja, siga al paso 6.
 6. Mida la presión estática en las distintas uniones de conductos y compare con los datos de diseño. Si en una unión es demasiado elevada, vaya midiendo presiones estáticas aguas arriba hasta que encuentre una demasiado baja, aislando así el problema. En la zona donde la pérdida de carga supera a la de diseño:
 - a. Verifique los ángulos de las uniones de conductos respecto a los planos.
 - b. Verifique asimismo los radios de los codos.
 - c. Verifique los diámetros de los conductos.
 - d. Verifique la posible presencia de obstrucciones.
 7. Tras corregir todos los detalles constructivos que se desvían de las especificaciones, regrese al paso 1.
 8. Mida la presión diferencial en el depurador de aire y compárela con los datos del fabricante. Si la pérdida es excesiva, haga las modificaciones necesarias y vuelva al paso 1. Si la pérdida es menor de la prevista, siga al punto 8a.
 - a. Verifique los conductos, codos y entradas, como en los pasos 6a y 6d.
 - b. Verifique la descarga del sistema (tipo y dimensiones) respecto a los planos.
 9. Si se detectan errores, corríjalos y vuelva al paso 1. Si no se detectan errores, verifique de nuevo el diseño respecto a los planos, rehaga los cálculos y vuelva al paso 1 con los nuevos valores de diseño esperados.
 10. Mida las velocidades de control en todas las campanas en las que sea posible. Si el control es inadecuado, rediseñe o modifique la campana.
 11. El proceso descrito debe repetirse hasta que se hayan corregido todos los defectos y la presión estática de las campanas y las velocidades de control sean razonablemente coincidentes con las de diseño. Entonces debe registrarse la presión estática de las campanas para usar dichos valores en las verificaciones periódicas del sistema. Debe prepararse un archivo que contenga los siguientes documentos:
 - Plano del sistema
 - Cálculos de diseño
 - Curvas del ventilador
 - Presión estática de las campanas medida en campo
 - Plan de mantenimiento

Tabla para recogida de medidas periódicas de la presión estática de las campanas

Tabla para recogida de datos de mantenimiento

9.7 DIFICULTADES ENCONTRADAS EN LAS MEDIDAS DE CAMPO

Los procedimientos generales y la instrumentación necesaria para la medición del caudal de aire ya se han discutido anteriormente en este Capítulo. Sin embargo, existen ciertos problemas relacionados con el caudal que requieren un análisis más detallado.

Algunos de estos problemas son los siguientes:

1. Medición del caudal de aire extremadamente contaminado que puede contener gases corrosivos, polvo, humo o nieblas.
2. Medición del caudal de aire a temperaturas elevadas.
3. Medición del caudal de aire en presencia de cantidades elevadas de vapor de agua y niebla.
4. Medición del caudal de aire cuando la velocidad es muy baja.
5. Medición del caudal de aire en puntos de gran turbulencia y flujo no uniforme, como puntos de descarga y en la proximidad de codos o ensanchamientos.
6. Medición del caudal de aire en un muestreo isocinético cuando la velocidad cambia constantemente.

9.7.1 Selección de los instrumentos: La selección del instrumento más adecuado depende de la gama de caudales en la cual el instrumento es sensible; su vulnerabilidad a temperaturas elevadas, gases corrosivos y atmósferas contaminadas; su transportabilidad y robustez, y el tamaño de la sonda en relación con el orificio de muestreo disponible. Un breve resumen de las características de algunos de los instrumentos empleados se da en la Tabla 9-5.

En muchos casos, las condiciones para la medida del caudal de aire son tan severas que es difícil encontrar un instrumento adecuado. En términos generales, el tubo de Pitot es el instrumento más utilizable, pues no tiene partes móviles, es robusto y resiste temperaturas elevadas y atmósferas corrosivas cuando se construye en acero inoxidable. Puede sin embargo obstruirse cuando se emplea en atmósferas polvorientas. No puede emplearse para la medida de velocidades bajas. Un diseño especial de tubo de Pitot puede emplearse en ambientes cargados de polvo. En muchos casos es difícil montar un manómetro inclinado, ya que muchas mediciones se realizan desde escaleras, andamios y otros lugares de difícil acceso. Esto limita mucho el uso del tubo de Pitot para velocidades bajas. En lugar del manómetro inclinado puede emplearse uno mecánico, cuya exactitud le permite medir hasta 0,5 mmcda si se calibra adecuadamente.

Para velocidades más bajas, y si las condiciones no son demasiado severas, puede emplearse el velómetro que hemos descrito más arriba. El instrumento puede adquirirse con un filtro especial contra el polvo que permite su empleo

con cargas de polvo ligeras. Puede emplearse a temperaturas de hasta unos 500 °C si la sonda no está expuesta a los gases calientes más que un breve período de tiempo (no más de 30 segundos). No puede emplearse con gases corrosivos. Si se emplea la sonda de muy baja velocidad es preciso practicar en el conducto un orificio de 25 mm de diámetro.

Para velocidades muy bajas pueden emplearse, en condiciones especiales, los anemómetros que utilizan el principio del termopar calentado. En la mayor parte de los casos, estos anemómetros no pueden emplearse a temperaturas superiores a 150 °C. Debe consultarse al fabricante acerca de la resistencia de la sonda a gases corrosivos.

En trabajos de muestreo en los que es necesario igualar las velocidades del aire en el orificio de muestreo y en la corriente de aire en condiciones de velocidad variable de ésta, se emplea a veces el método nulo. Este método utiliza dos tubos estáticos o tubos de impacto invertidos, uno colocado en el interior de la propia sonda y el otro en la corriente de aire. Cada uno de ellos es conectado a una de las ramas de un manómetro, ajustándose el caudal hasta que la lectura del manómetro es cero.

9.7.2 Correcciones para condiciones distintas de las standard: A veces es necesario medir velocidades de aire en condiciones significativamente distintas de las standard. Si no se tiene en cuenta este hecho pueden introducirse errores importantes en la determinación de la velocidad del aire en un conducto y del caudal o caudales del sistema. La altura, la presión, la temperatura y la humedad influyen en la densidad de la corriente de aire. Para determinar la velocidad real, mediante las ecuaciones 9.3 o 9.5, debe emplearse el valor real de la densidad del aire en el sistema.

Las correcciones necesarias para tener en cuenta las variaciones de altura, presión y temperatura pueden considerarse independientes con una exactitud razonable. Los factores de corrección individuales se multiplican a fin de determinar el cambio global respecto a la densidad standard. La densidad real viene dada por:

$$d = 1,2 C_h C_p C_t \quad [9.12]$$

donde:

C_h = factor de corrección para alturas fuera del margen de ± 300 m

C_p = factor de corrección para presiones en el conducto superiores a ± 500 mmcda

C_t = factor de corrección para temperaturas fuera del margen de 5 a 35 °C

Esta regla general tiene una excepción cuando simultáneamente se dan una altura significativamente distinta de la del nivel del mar y un alto contenido de humedad. Cuando esto ocurre debe emplearse un diagrama psicrométrico referido a la presión existente en el lugar. En el Capítulo 5, Sección 5.13, se explica el procedimiento a seguir para la determinación de la densidad, empleando un diagrama psi-

crométrico, cuando el contenido de humedad y la temperatura difieren significativamente de las standard.

El factor de corrección por altura, C_h , puede expresarse

$$C_h = [1 - (22 \times 10^{-6}) h]^{5,258} \quad [9.13]$$

donde:

h = altura, m

El factor de corrección por la presión en el conducto, C_p , se expresa:

$$C_p = \frac{10340 + PE}{10340} \quad [9.14]$$

donde:

PE = presión estática, mmca (obsérvese que el signo de PE es importante)

El factor de corrección por la temperatura, C_t , viene dado por:

$$C_t = \frac{293}{273 + t} \quad [9.15]$$

donde:

t = temperatura seca, °C

EJEMPLO

Con un tubo de Pitot se ha obtenido en un conducto una lectura de 25 mmca de presión dinámica, siendo la temperatura seca de 150 °C, la presión estática de -600 mmca y el contenido de humedad despreciable. El sistema está instalado a una altura de 1500 m. ¿Cuáles son la densidad y la velocidad reales?

Puesto que el contenido de humedad es despreciable puede emplearse directamente la ecuación 9.12 para determinar la densidad.

Los factores de corrección individuales se obtienen de las ecuaciones 9.13 a 9.15:

$$C_h = (1 - 22 \times 10^{-6} \times 1500)^{5,258} = 0,84$$

$$C_p = \frac{10340 - 600}{10340} = 0,94$$

$$C_t = \frac{293}{273 + 150} = 0,70$$

La densidad en estas condiciones será:

$$d = 1,2 \times 0,84 \times 0,94 \times 0,70 = 0,663 \text{ kg/m}^3$$

y la velocidad, obtenida de la ecuación 9.3, valdrá:

$$V = 4,43 \sqrt{\frac{25}{0,663}} = 27,2 \text{ m/s}$$

Obsérvese que se incurriría en un error de un 26 % si se considerase que la densidad es la standard.

EJEMPLO

Se utiliza un velómetro para determinar la velocidad en un conducto situado al nivel del mar, siendo la temperatura de 120 °C, la presión estática de 250 mmca y la humedad, despreciable. ¿Cuál es la velocidad real si el velómetro indica 15 m/s?

El factor de corrección de la temperatura será, según la ecuación 9.15, de 0,75 por lo que la densidad valdrá:

$$1,2 \times 0,75 = 0,9 \text{ kg/m}^3$$

Por tanto la velocidad real en el conducto valdrá:

$$\frac{15 \times 1,2}{0,9} = 20 \text{ m/s}$$

9.7.3 Cálculos en el empleo del tubo de Pitot: La medición de la velocidad del aire en condiciones distintas de las standard requiere el cálculo de la velocidad real, teniendo en cuenta las correcciones debidas a la diferencia de temperatura del aire a causa de la temperatura, la humedad y la presión. Los ejemplos siguientes muestran el método de cálculo y el efecto de la variación en la densidad del aire.

1. *Condiciones standard:*

Temperatura del aire = 26 °C; Temperatura húmeda = 10 °C

Presión atmosférica = standard (760 mmHg)

Diámetro del conducto = 600 mm

Medición n.º 1			Medición n.º 2 (perpend. a la n.º 1)		
Punto	PD	V_s^*	Punto	PD	V_s^*
1	5,6	9,6	1	5,8	9,7
2	7,1	10,8	2	6,8	10,5
3	8,1	11,5	3	8,4	11,7
4	8,4	11,7	4	8,6	11,9
5	8,6	11,9	5	8,6	11,9
6	8,9	12,1	6	8,9	12,1
7	8,4	11,7	7	8,6	11,9
8	7,9	11,4	8	8,1	11,5
9	7,6	11,1	9	7,9	11,4
10	6,1	10,0	10	6,4	10,2
111,8			112,8		

* Valor referido a condiciones standard calculado a partir de la ecuación 9.4 o la Tabla 9.1.

$$\text{Velocidad media} = \frac{111,8 + 112,8}{20} = 11,2 \text{ m/s}$$

$$Q = A V = 0,2827 \times 11,2 = 3,17 \text{ m}^3/\text{s (std.)}$$

2. Temperatura elevada:

Temperatura del aire = 65 °C; Temperatura húmeda = 26 °C

Presión barométrica = standard; Diámetro de conducto = 600 mm

Para determinar la velocidad del aire en condiciones standard (V_s) para cada valor de la presión dinámica medida puede calcularse la densidad del aire, d , empleando la ecuación 9.15:

$$d = 1,2 \times (293/338) = 1,04 \text{ kg/m}^3$$

Medición n.º 1			Medición n.º 2 (perpend. a la n.º 1)		
Punto	PD	V_s^*	Punto	PD	V_s^*
1	5,6	10,3	1	5,8	10,5
2	7,1	11,6	2	6,9	11,3
3	8,1	12,3	3	8,4	12,6
4	8,4	12,6	4	8,6	12,7
5	8,6	12,7	5	8,6	12,7
6	8,9	13,0	6	8,9	13,0
7	8,4	12,6	7	8,6	12,7
8	7,9	12,2	8	8,1	12,3
9	7,6	12,0	9	7,9	12,2
10	6,1	10,7	10	6,3	11,0
		120,6			121,0

* Valor referido a condiciones standard calculado a partir de la Ecuación 9.4 o la Tabla 9-1.

Empleando la ecuación 9.5 se multiplica cada uno de los valores medidos de la presión dinámica por el cociente 1,2/1,04 y se promedian los valores de V_s obtenidos.

$$\text{Velocidad media, } V_s = (120,6 + 121,0)/20 = 241,6/20 = 12,1 \text{ m/s}$$

Y el caudal referido a las condiciones standard, Q_s , valdrá:

$$Q_s = A V = 0,2827 \times 12,1 = 3,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Método abreviado:

Calcule la "velocidad media" como si se tratara de condiciones standard (como en el caso anterior) y obtenga la presión dinámica correspondiente (Tabla 9-1):

Presión dinámica para 11,2 m/s = 7,7 mmcda a 65 °C, la densidad vale, como hemos visto, 1,04 kg/m³

$$PD_{\text{standard}} = PD_{\text{medida}} \times \frac{1,2}{1,04} = 7,7 \times 1,08 = 8,9 \text{ mmcda}$$

$$V_s = 12,1 \text{ m/s}$$

3. Temperatura y humedad elevadas:

Temperatura del aire = 65 °C; Temperatura húmeda = 60 °C

Presión = standard; Diámetro del conducto = 600 mm

Para determinar la velocidad del aire en condiciones standard (V_s) para cada valor de la presión dinámica medida puede calcularse la densidad del aire empleando los diagramas psicrométricos del Capítulo 5.

Medición n.º 1			Medición n.º 2 (perpend. a la n.º 1)		
Punto	PD	V_s^*	Punto	PD	V_s^*
1	5,6	10,7	1	5,8	10,9
2	7,1	12,1	2	6,9	11,9
3	8,1	12,8	3	8,4	13,1
4	8,4	13,1	4	8,6	13,3
5	8,6	13,3	5	8,6	13,3
6	8,9	13,5	6	8,9	13,5
7	8,4	13,1	7	8,6	13,3
8	7,9	12,7	8	8,1	12,9
9	7,6	12,5	9	7,9	12,7
10	6,1	11,1	10	6,3	11,4
		124,9			126,3

* Calculado a partir de la ecuación 9.4 o la Tabla 9-1.

$$d = 1,2 \times 0,8 \text{ (factor de densidad de la mezcla)} = 0,96$$

Empleando la ecuación 9.5, se multiplica cada uno de los valores de PD hallados por la relación 1,2/0,96 y se promedian los valores de V_s resultantes.

$$\text{Velocidad media, } V_s = \frac{124,6 + 126,1}{20} = \frac{250,7}{20} = 12,5 \text{ m/s}$$

(V_s puede calcularse mediante el método abreviado que se indicó en el caso 2).

$$Q_s = A V = 0,2827 \times 12,5 = 3,5 \text{ m}^3/\text{s} \text{ de mezcla de aire y vapor}$$

$$\text{Peso de mezcla} = Q_s \times 1,2 \times 0,8 = 3,4 \text{ kg/s}$$

Del Capítulo 5 se obtiene que el aire contiene 0,15 kg de vapor por kg de aire seco.

$$\text{Peso de aire seco} = \text{peso de mezcla} / \text{peso de aire seco y vapor} = 3,4 / 1,15 = 2,96 \text{ kg/s}$$

Método alternativo:

De la Figura 5.25, volumen húmedo = 1,19 m³ de mezcla/kg de aire seco (interpolado).

$$\text{Peso de aire seco} = \frac{Q}{1,19} = \frac{3,5}{1,19} = 2,94 \text{ kg/s}$$

$$Q = \frac{2,94}{1,2} = 2,45 \text{ m}^3 \text{ (standard)/s}$$

4. Grandes y pequeñas altitudes:

$Q_s = A V_s$, donde V_s puede obtenerse de las Ecuaciones 9.3 ó 9.13 o la Tabla 5-7 del Capítulo 5.

REFERENCIAS

- 9.1 American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers: *Fundamentals*, 1985.
- 9.2 Air Moving and Control Association, Inc.: AMCA Publication 203-81, *Field Performance Measurements*, 30 West University Dr., Arlington Heights, IL 60004.
- 9.3 A. D. Brandt: *Industrial Health Engineering*, John Wiley and Sons, New York, 1947.
- 9.4 Air Movement and Control Association, Inc.: *AMCA Standard 210-86: Test Code for Air Moving Devices*, 30 West University Dr., Arlington Heights, IL 60004.
- 9.5 J. P. Farant, Farant, D. L. McKinnon y T. A. McKenna: "Tracer Gases as Ventilation Tool: Methods and Instrumentation", *Ventilation '85 - Proceedings of the First International Symposium on Ventilation for Contaminant Control*, pp. 263-274, octubre 1-3, 1985, Toronto, Canada.
- 9.6 ASME *Power Test Codes*, Capítulo 4, Flow Measurement, P.T.C. 19.5: 4-1959.
- 9.7 M. W. First y L. Silverman: "Airfoil Pitometer", *Ind. Engr. Chem.* 2: 301-308 (febrero 1950).
- 9.8 American Society of Mechanical Engineers: *Fluid Meters - Their and Applications*, 1959.
- 9.9 G. Hama: "A Calibrating Wind Tunnel for Air Measuring Instruments", *Air Engr.* 41: 18-20 (diciembre 1967).
- 9.10 G. Hama: "Calibration of Alnor Velometers", *Am. Ind. Assoc. J.* 19: 477 (diciembre 1958).
- 9.11 G. Hama y L. S. Curley: "Instrumentation for the Measurement of Low Velocities with a Pitot Tube", *Air Engineering*, julio 1967 y *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 28: 204 (mayo-junio 1967).

Capítulo 10

OPERACIONES ESPECÍFICAS

Los siguientes esquemas de campanas para operaciones específicas se presentan como guías para la realización de proyectos y son aplicables a operaciones usuales o típicas. En la mayor parte de los casos se han tomado de diseños empleados en instalaciones reales de sistemas de extracción localizada que funcionan correctamente. Puesto que no todas las condiciones de funcionamiento pueden especificarse, cuando se den circunstancias especiales (por ejemplo, corrientes de aire transversales, movimiento, diferencias de temperatura o empleo de otros medios de eliminación de los

contaminantes) puede ser procedente efectuar modificaciones.

A menos que se indique específicamente, los datos de diseño no deben emplearse indiscriminadamente a materiales de elevada toxicidad, como por ejemplo berilio o sustancias radiactivas. Por ello el proyectista puede requerir, en base a las peculiaridades del proceso, caudales o velocidades inferiores o superiores a fin de lograr el adecuado control de los contaminantes.

Índice de diseños

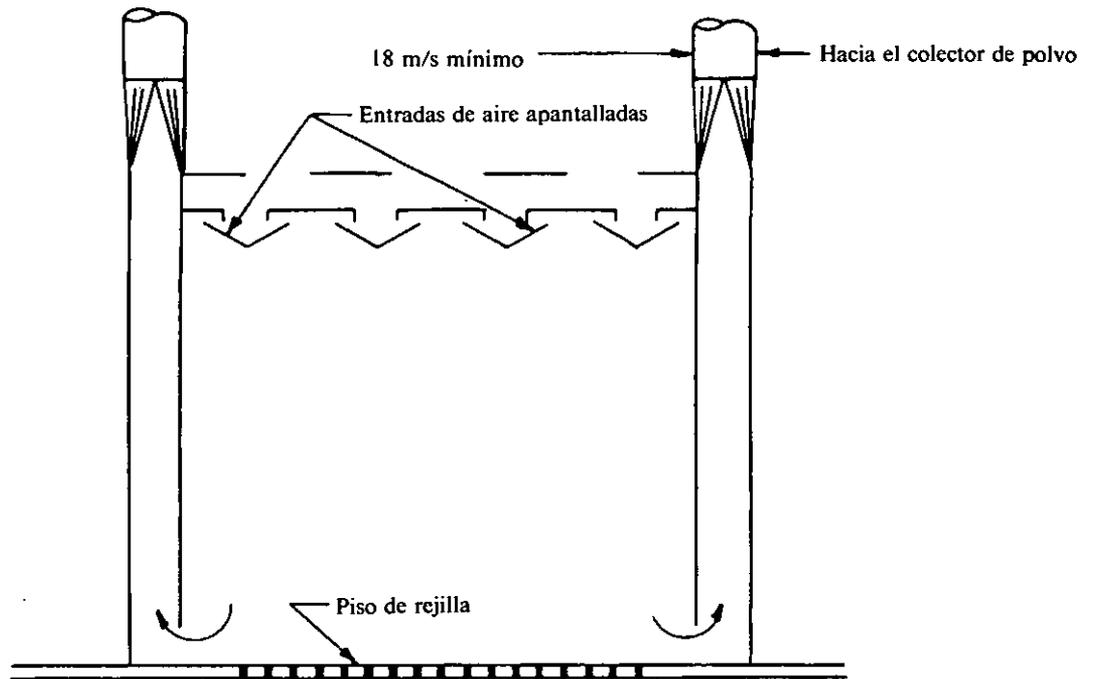
Grupo	Operación	Diseño n.º	Pág. n.º	
1. Fundición	Ventilación en chorreado abrasivo	VS-101	10-4	
	Cabina de granallado	VS-101.1	10-5	
	Rectificadora de noyos	VS-102	10-6	
	Horno de fusión			
	Crisol no basculante	VS-103	10-7	
	Eléctrico basculante	VS-104	10-8	
	Eléctrico de arco	VS-105	10-9	
	Basculante	VS-106	10-10	
	Campana para molinos mezcladores	VS-107	10-11	
	Ventilación en molinos mezcladores	VS-108	10-12	
	Estación de colada	VS-109	10-13	
	Parrilla de desmoldeo	VS-110	10-14	
	Parrilla de desmoldeo	VS-111	10-15	
	Parrilla de desmoldeo	VS-112	10-16	
	Tambores de desarenado	VS-113	10-17	
	Moldeo de noyos	VS-114	10-18	
	Máquina de hacer noyos de tipo giratorio	VS-115	10-19	
	2. Materiales de alta toxicidad	Horno de crisol	VS-201	10-20
		Cabina de manipulación con guantes	VS-202	10-21
		Cabina de laboratorio	VS-203	10-22
Datos para cabinas de laboratorio		VS-204 y 204.1	10-23 y 10-24	
Cabinas de laboratorio de uso general		VS-205	10-25	
Datos para cabinas de ácido perclórico		VS-205.1	10-26	
Normas de trabajo para cabinas de laboratorio		VS-205.2	10-27	
Campanas de laboratorio de diseño especial		VS-206	10-28	
Campana para torno		VS-207	10-29	
Cizalla para metales		VS-208	10-30	
Campana para mecanizado		VS-209	10-31	
Cerramiento para empaquetaduras de ejes		VS-210	10-32	
Punto de toma de muestras		VS-211	10-33	

Índice de diseños

Grupo	Operación	Diseño n.º	Pág. n.º
3. Manutención de materiales	Llenado de sacos	VS-301	10-34
	Llenadora de bolsas	VS-302	10-35
	Llenado de bidones	VS-303	10-36
	Silos y tolvas	VS-304	10-37
	Elevador de cangilones	VS-305	10-38
	Cinta transportadora	VS-306	10-39
	Tamices	VS-307	10-40
4. Trabajo de metales	Tronzadora de disco	VS-401	10-41
	Pulidora con polea en el pie	VS-402	10-42
	Pulidora de cinta para metales	VS-403	10-43
	Pulido circular automático	VS-404	10-44
	Pulido lineal automático	VS-405	10-45
	Pulido y abrillantado	VS-406	10-46
	Pulidora de pedestal	VS-407	10-47
	Amoladora de disco doble de eje horizontal	VS-408	10-48
	Amoladora de disco de eje horizontal	VS-409	10-49
	Amoladora de disco de eje vertical	VS-410	10-50
	Campana para amoladora (velocidad periférica inferior a 33 m/s)	VS-411	10-51
	Campana para amoladora (velocidad periférica superior a 33 m/s)	VS-411.1	10-52
	Mesa de amolado manual	VS-412	10-53
	Mesa para cincelado y amolado manual	VS-413	10-54
	Muela basculante	VS-414	10-55
	Metalizado por proyección	VS-415	10-56
	Mesa de soldadura	VS-416	10-57
	Extracción localizada portátil para soldadura	VS-416.1	10-58
	Amoladora	VS-417	10-59
	Sierra de cinta para metal	VS-418	10-60
5. Cubas abiertas	Cubas de desengrase con disolventes	VS-501	10-61
	Desengrase en fase vapor	VS-501.1	10-62
	Cuba de inmersión	VS-502	10-63
	Cubas abiertas	VS-503	10-64
	Cubas abiertas	VS-503.1	10-65
	Diseño de sistemas de impulsión-extracción. Datos para anchuras hasta 3 m	VS-504	10-66
	Diseño de sistemas de impulsión-extracción. Datos para anchuras hasta 3 m	VS-504.1	10-67
	Tobera de impulsión. Presión en el pleno	VS-504.2	10-68
	Mesa con rendijas	VS-505	10-69
	6. Pintura	Cabina para pintado de automóviles	VS-601
Ventilación de estufas de secado		VS-602	10-81
Cabinas grandes de pintura		VS-603	10-82
Cabinas pequeñas de pintura		VS-604	10-83
Pintado del interior de vehículos grandes		VS-605	10-84
Cabinas para el pintado de vehículos		VS-606	10-85
Ensambladora		VS-701	10-86
7. Trabajo de la madera	Lijadoras de banda horizontal	VS-702	10-87
	Lijadora de banda horizontal	VS-702.1	10-88
	Lijadora de disco	VS-703	10-89
	Lijadora de rodillos múltiples	VS-704	10-90
	Lijadora de tambor	VS-705	10-91
	Sierra de cinta	VS-706	10-92
	Sierra oscilante	VS-707	10-93
	Sierra circular	VS-708	10-94
	Sierra radial	VS-709	10-95
	8. Bajo caudal – alta velocidad	Extracción en amoladoras cónicas y pequeñas muelas manuales	VS-801
Campana para amoladoras de copa cilíndricas y cepillos metálicos		VS-802	10-100

Índice de diseños

Grupo	Operación	Diseño n.º	Pág. n.º
	Manguito con aspiración para cincel neumático	VS-803	10-101
	Cabezal extractor para pequeñas muelas radiales	VS-804	10-102
	Extracción en lijadoras de disco	VS-805	10-103
	Extracción en lijadora orbital	VS-806	10-104
	Sistema típico de alta velocidad y bajo caudal	VS-807	10-105
9. Varios	Mezclador Banbury	VS-901	10-106
	Calandra	VS-902	10-107
	Molino de cilindros	VS-902.1	10-108
	Campana de techo	VS-903	10-109
	Inyectora de fundición	VS-904	10-110
	Inyectora de fundición y hornos de fusión	VS-905	10-111
	Crisol y horno no basculante	VS-906	10-112
	Taller de reparaciones de vehículos. Ventilación por el techo	VS-907	10-113
	Taller de reparaciones de vehículos. Ventilación por el suelo	VS-908	10-114
	Diseño de la ventilación en locales donde se utilicen carretillas elevadoras con motor de explosión	VS-908.1	10-115
	Extracción necesaria para motores Diesel típicos en carga	VS-908.2	10-116
	Corte y acabado del granito	VS-909	10-117
	Campanas para cocinas	VS-910	10-118
	Campanas para cocinas	VS-911	10-119
	Ventilación de lavaplatos	VS-912	10-120
	Ventilación de asadores de carbón y barbacoas	VS-913	10-121
	Ventilación de salas de tiro con pistola y rifles de pequeño calibre	VS-914	10-122
	Lechos fluidizados	VS-915	10-123
	Oxicorte	VS-916	10-124
	Distribución del aire en áreas limpias	VS-917	10-125
	Datos para la ventilación de áreas limpias	VS-917.1	10-126
	Campana de extracción de aire limpio. Sólo para la protección de producto	VS-918.1	10-127
	Puesto de trabajo con aire limpio. Sólo para la protección de producto	VS-918.2	10-128
	Ventilación de una máquina de estampación en frío	VS-919	10-129
	Ensayo de motores fuera-borda	VS-920	10-130
	Cabina de fumigado	VS-921	10-131
	Datos para cabina de fumigado	VS-921.1	10-132
	Apertura de sacos de amianto	VS-1001	10-133
	Cinta de transporte de fibras de amianto	VS-1002	10-134
	Industrias de los cereales	Tabla 10.9-1	10-135
	Operaciones standards diversas	Tabla 10.9-2	10-137



SECCIÓN DE UN RECINTO TÍPICO

Recintos: Velocidad descendente entre 0,3 y 0,5 m/s; generalmente se eligen 0,4 m/s; 0,5 m/s para circulación transversal. Para abrasivos de granalla de hierro o acero la velocidad es 0,13 m/s. El trabajador debe utilizar equipos homologados de protección personal de las vías respiratorias.

Nota: Los datos de ventilación están previstos para permitir la visibilidad, no para control del riesgo higiénico causado por el polvo.

Mesas giratorias: 1 m³/s/m² de aberturas (sin tener en cuenta las cortinas)

Cabinas: 20 renovaciones de aire por minuto.

Mínimo 2,5 m/s de velocidad de entrada del aire en todas las aberturas.

Las aberturas deben estar apantalladas.

Para detalles ver el esquema VS-101.1.

Pérdida en la entrada: 1 PD, o calculada a partir de las pérdidas individuales.

FUNDICIÓN

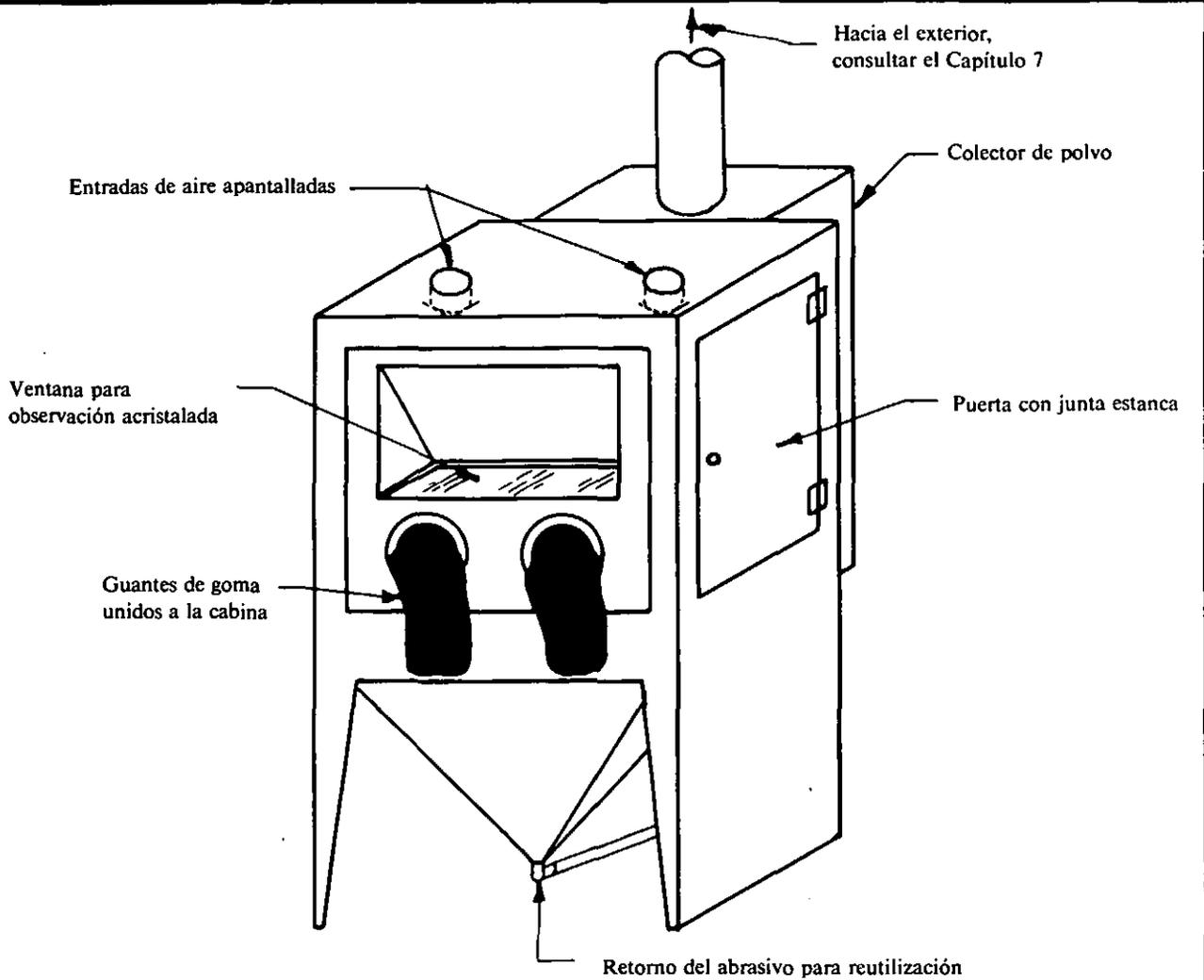
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

VENTILACIÓN EN CHORREADO
ABRASIVO

FECHA

1-84

VS - 101



20 renovaciones por minuto.
 Mínimo 2,5 m/s de velocidad del aire en todas las entradas.
 Pérdida en la entrada = 1 PD más la debida al colector.

AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

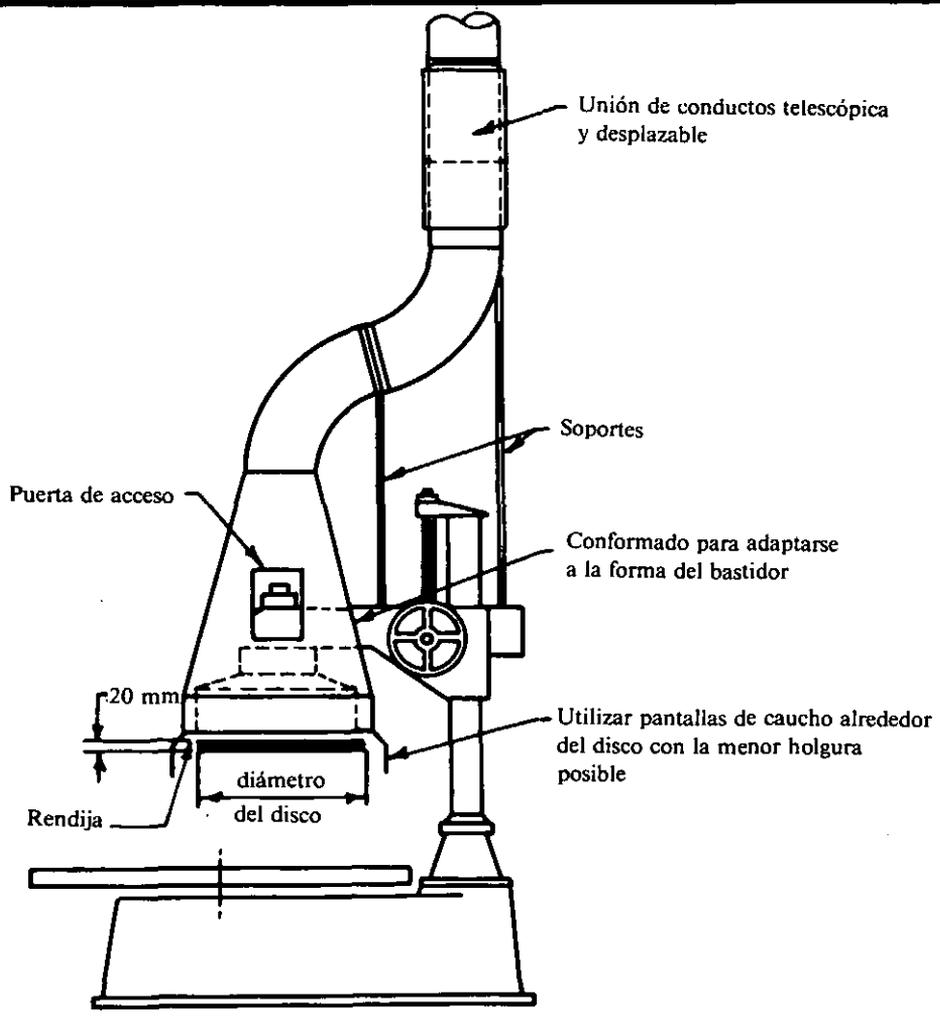
CABINA DE GRANALLADO

FUNDICIÓN

FECHA

1-78

VS - 101.1



Diámetro del disco	Diámetro del conducto	Caudal, m ³ /s
Hasta 500 mm	150 mm	0,43
superior a 500 hasta 750 mm	200 mm	0,75
superior a 750 hasta 1.350 mm	300 mm	1,65
superior a 1.350 hasta 1.850 mm	400 mm	3,00

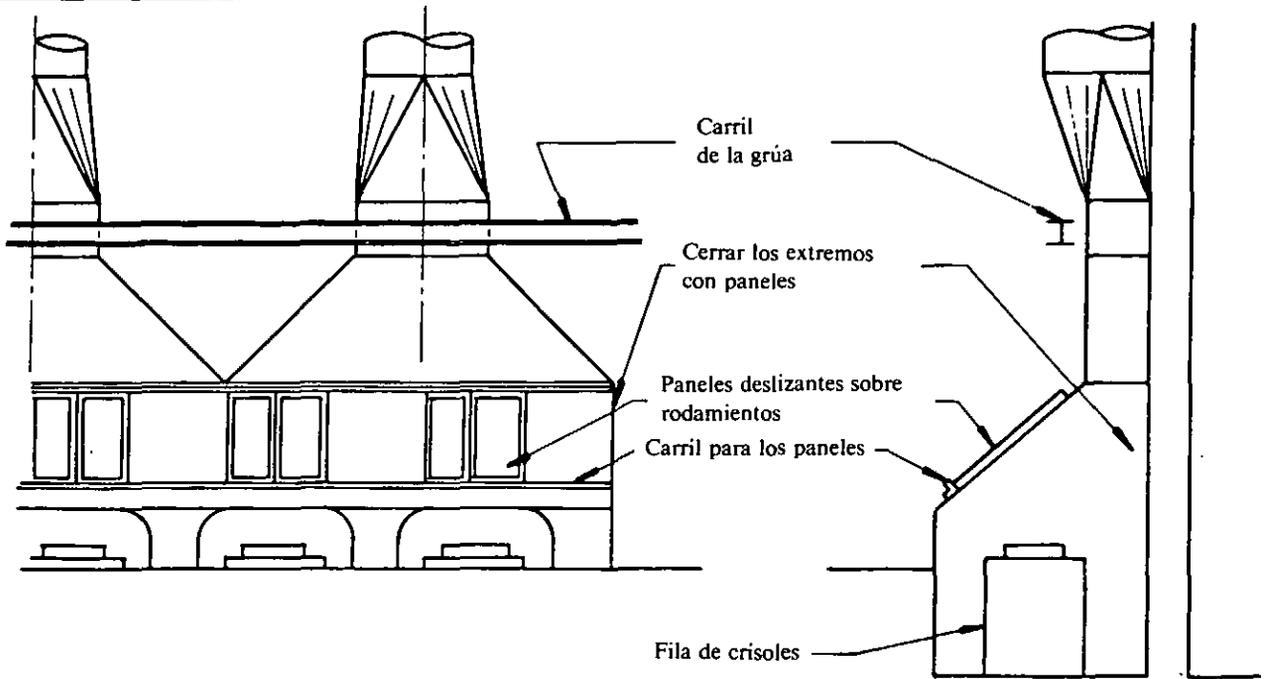
Velocidad mínima en los conductos: 23 m/s en ramas laterales
 18 m/s en conducto principal

Velocidad mínima en rendija: 10 m/s

Pérdida en la entrada = 1,0 PD_{rendija} + 0,40 PD_{conducto}

FUNDICIÓN

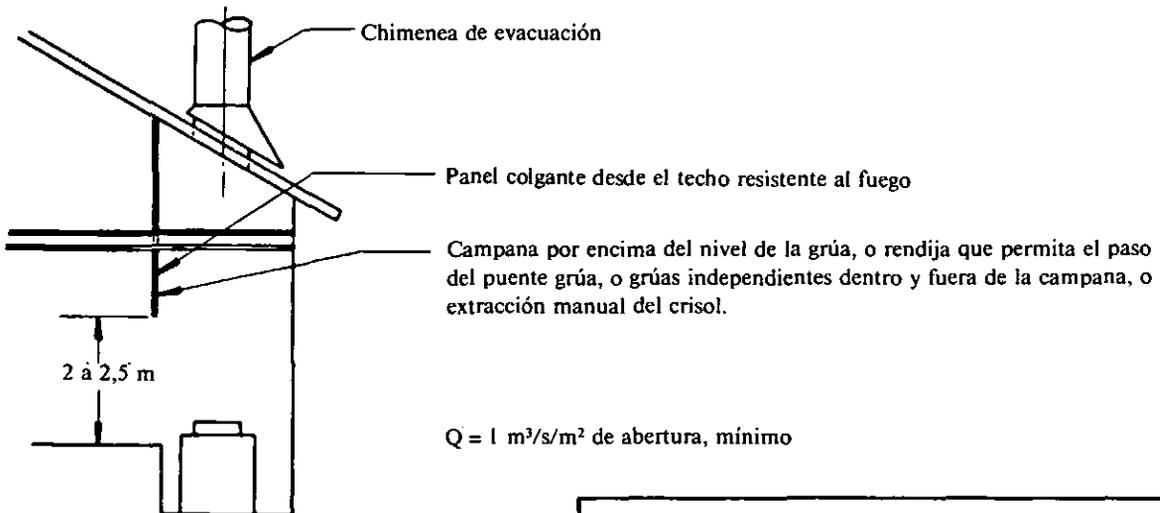
AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS	
<i>RECTIFICADORA DE NOYOS</i>	
FECHA	1-78
	VS - 102



$Q = 1 \text{ (Std)m}^3/\text{s/m}^2$ de abertura incluyendo las puertas, más los productos de combustión *
 Pérdida en la entrada = $0,5 PD_{\text{conducto}}$
 Velocidad en el conducto = 5 a 18 m/s **

NOTA: Para los cerramientos de crisoles aislados se aplica la misma disposición de puertas correderas o deslizantes.

- * Introducir correcciones por temperatura
- ** En los tramos horizontales se precisan velocidades de transporte



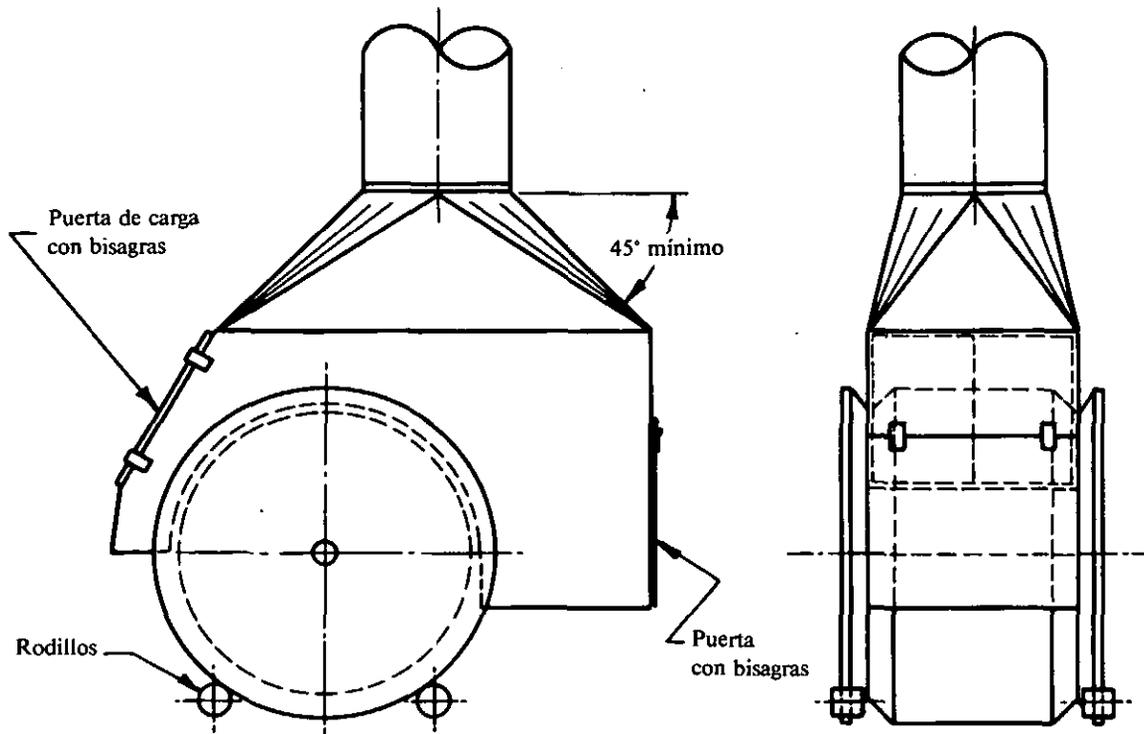
$Q = 1 \text{ m}^3/\text{s/m}^2$ de abertura, mínimo

FUNDICIÓN

AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

HORNO DE FUSIÓN
 CRISOL NO BASCULANTE

FECHA 1-78 | VS-103.



$Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de abertura
 Velocidad en conducto = 5 a 18 m/s *
 Pérdida en la entrada = $1,78 \text{ PD}_{\text{rendija}} + 0,25 \text{ PD}_{\text{conducto}}$

* En los tramos horizontales se precisa velocidad de transporte

FUNDICIÓN

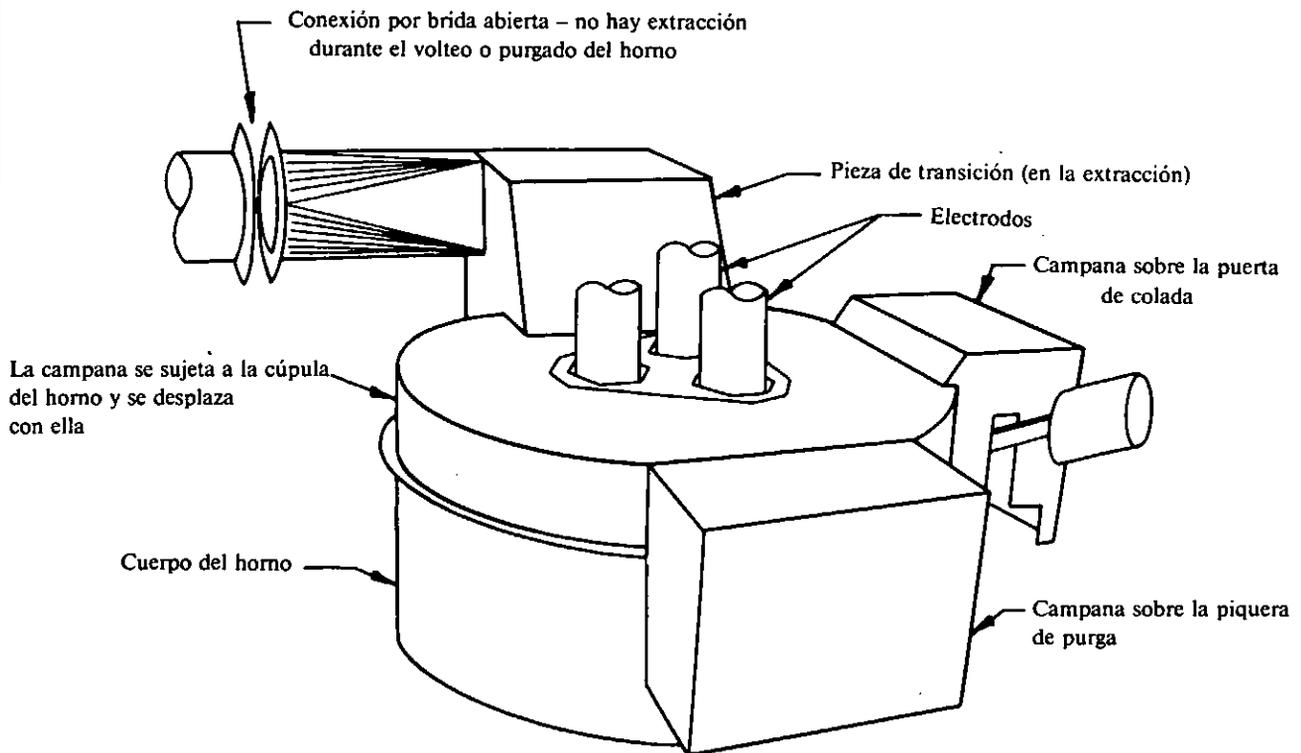
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

HORNO ELÉCTRICO BASCULANTE

FECHA

1-80

VS - 104



Para la determinación del caudal, la presión estática y la temperatura de operación consultar a los fabricantes.
Caudal de extracción aproximado: $1,2 \text{ m}^3(\text{Std})/\text{s}/\text{tonelada de carga}$ ⁽¹⁾ ⁽²²⁾ ⁽²³⁾

Diseños alternativos:

1. Algunos diseños de extracción utilizan como campana el propio techo del horno. (Extracción por cuarto agujero). Para obtener detalles consultar a los fabricantes.
2. Se pueden utilizar campanas de techo, pero requieren caudales de extracción muy importantes: $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie abierta entre el horno y el borde inferior de la campana.

FUNDICIÓN

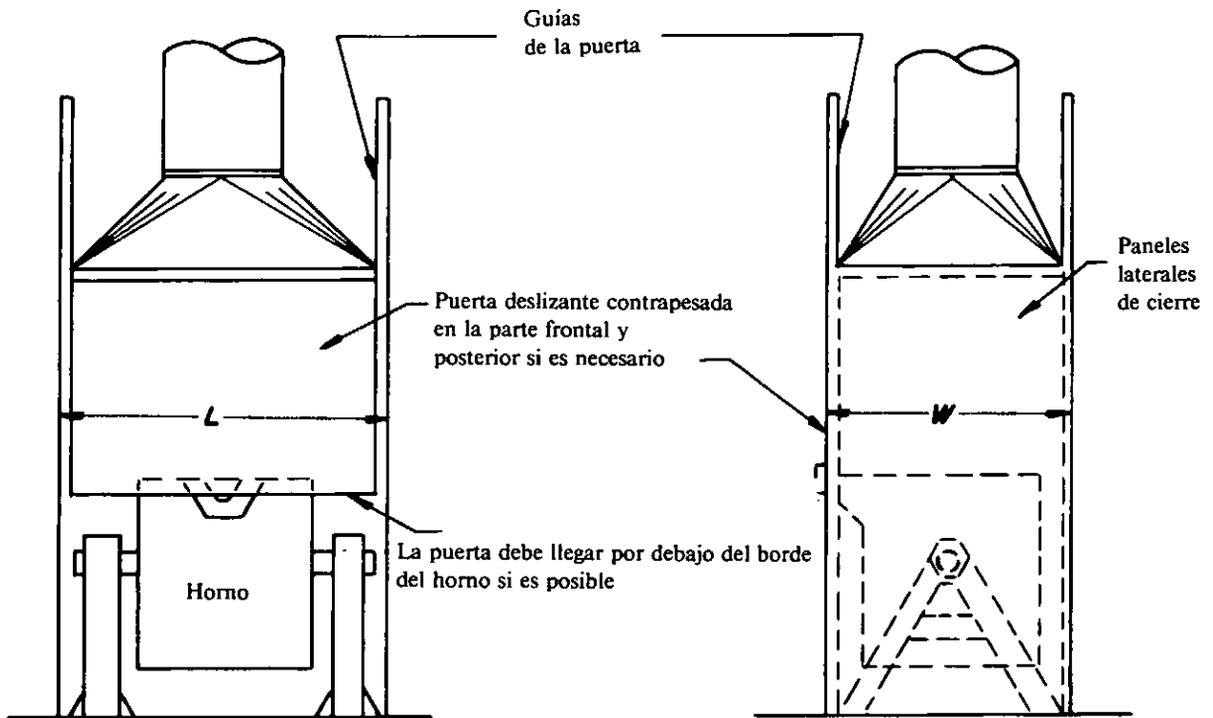
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

CAMPANA PARA HORNO ELÉCTRICO
DE ARCO

FECHA

1-78

VS-105



$Q = 1 L W$; pero no menos que $1 \text{ m}^3(\text{Std})/\text{s}/\text{m}^2$ de abertura con las puertas abiertas *

Pérdida en la entrada = 0,25 PD

Velocidad en el conducto = 5 a 18 m/s **

* Corregir por temperatura y productos de combustión.

** En los tramos horizontales se precisa velocidad de transporte.

FUNDICIÓN

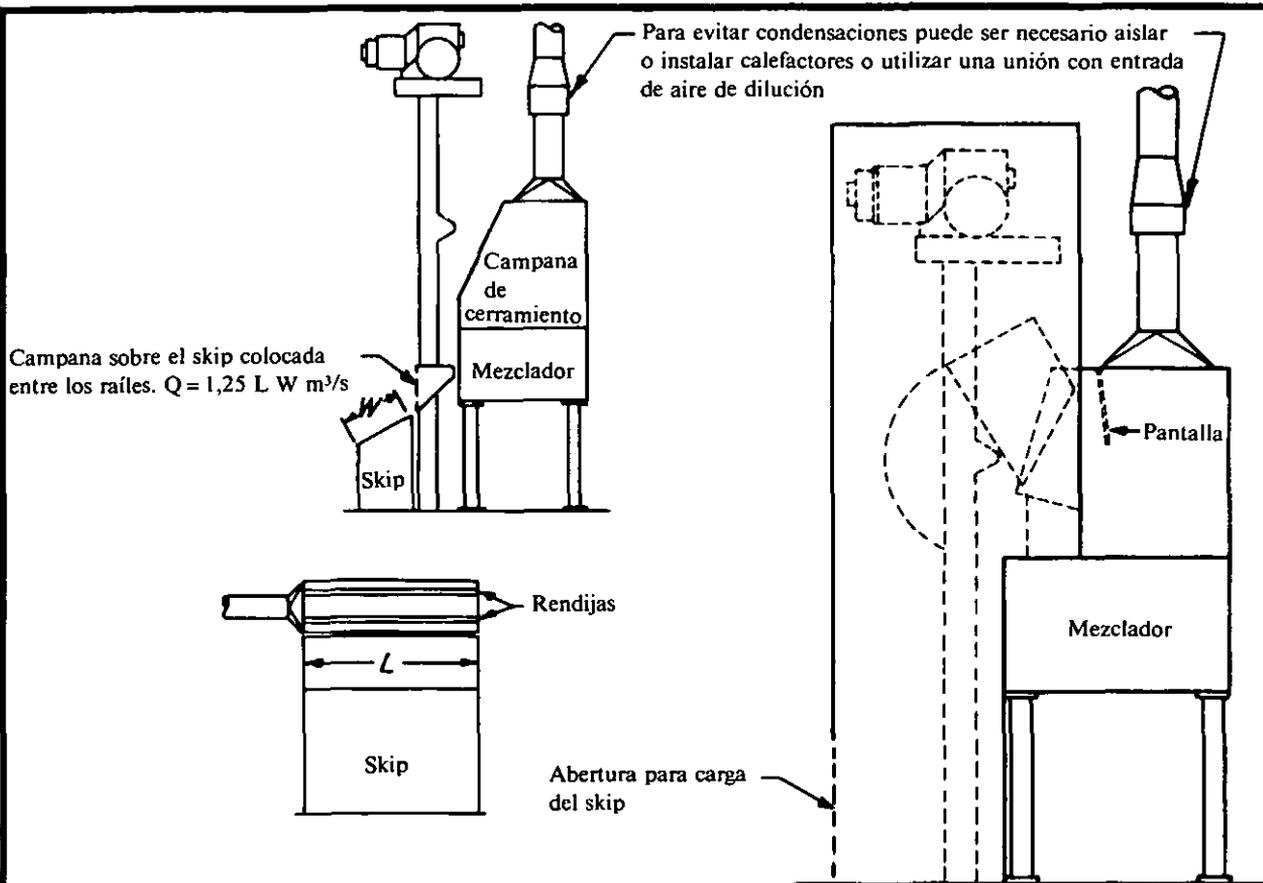
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

HORNO DE FUSIÓN BASCULANTE

FECHA

1-64

VS-106



$Q = 0,75 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de aberturas, pero no menos de:

Diámetro del mezclador, m	Caudal, m^3/s
1,2	0,35
1,8	0,42
2,1	0,50
2,4	0,57
3,0	0,74

Para los mezcladores refrigerados ver el esquema VS - 108

Otros tipos de mezclador: Cerrar el máximo posible y extraer $0,75 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de abertura.

Cuando se utilicen disolventes inflamables en el mezclador, calcular el caudal

mínimo de extracción necesario para diluir hasta el 25 % del LII. Ver Capítulo 2.

Velocidad en conducto = 18 m/s, mínimo

Pérdida en la entrada = 0,25 PD

FUNDICIÓN

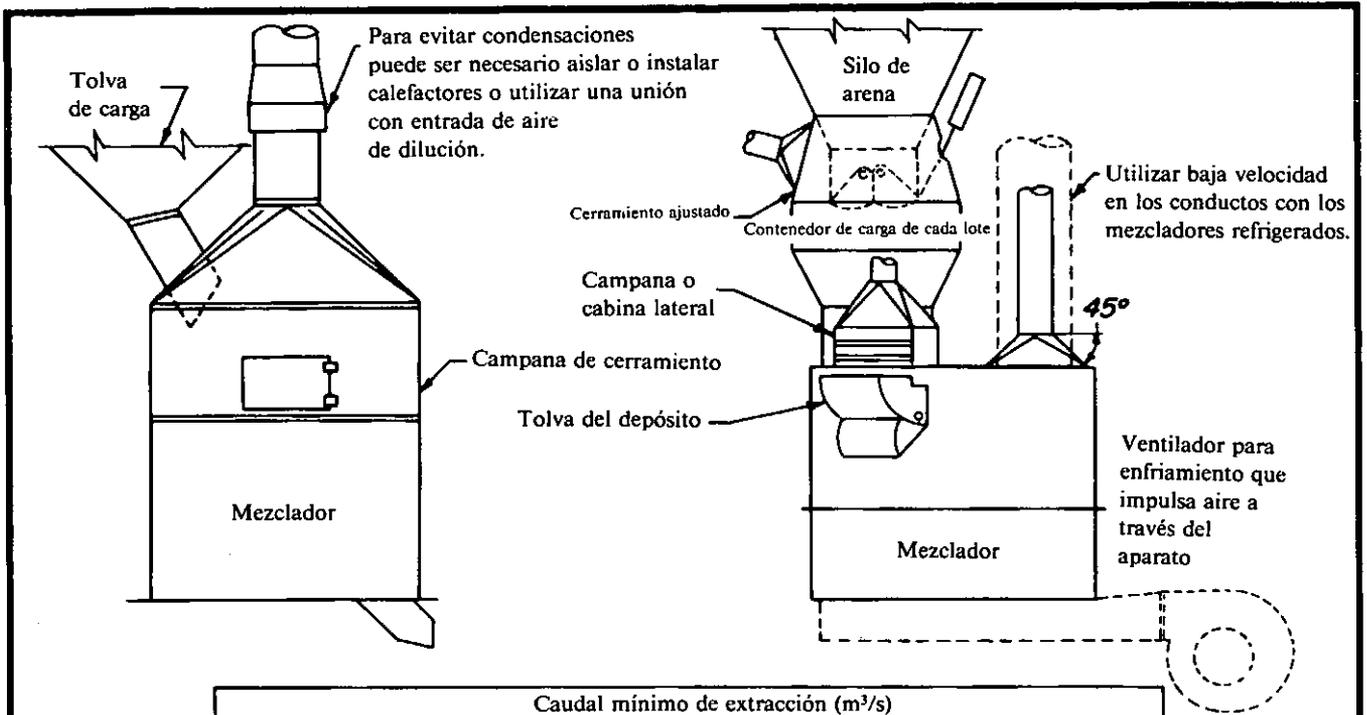
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

CAMPANA PARA MOLINOS MEZCLADORES

FECHA

1-72

VS - 107



Situación	Caudal mínimo de extracción (m³/s)		
	Tipo de mezclador		
	Sin enfriamiento	Enfriamiento por impulsión	Enfriamiento por aspiración
Contenedor de carga	Nota 1	0,28	Nota 1
Tolva del depósito	0,28	0,28	0,28
Mezclador:	Nota 2	Nota 3	Nota 3
diámetro 1,2 m	0,35	"	"
diámetro 1,8 m	0,42	"	"
diámetro 2,1 m	0,49	"	"
diámetro 2,4 m	0,56	"	"
diámetro 3,0 m	0,74	"	"

Velocidad en conducto = 23 m/s mínimo
 Pérdida en la entrada = 0,25 PD

Notas:

1. El contenedor de carga precisa de una extracción independiente en los mezcladores con enfriamiento por impulsión. Si el ventilador se sitúa en otra posición (Mezclador en depresión) puede no ser necesaria la extracción independiente. (Si existe un alimentador con skip ver el esquema VS-107.)
2. Obtener una velocidad de 0,76 m/s en todas las aberturas de la campana del mezclador. El caudal indicado es el mínimo a utilizar.
3. Los mezcladores refrigerados no precisan extracción si son herméticos al polvo. Durante la carga debe desconectarse el ventilador de impulsión. Si el mezclador no es estanco al polvo, el caudal a extraer es el indicado en la nota 2 más el caudal de aire de enfriamiento.
4. Si se utilizan disolventes inflamables, calcular el caudal mínimo de extracción necesario para diluir hasta el 25 % del LII. Ver el Capítulo 2.

FUNDICIÓN

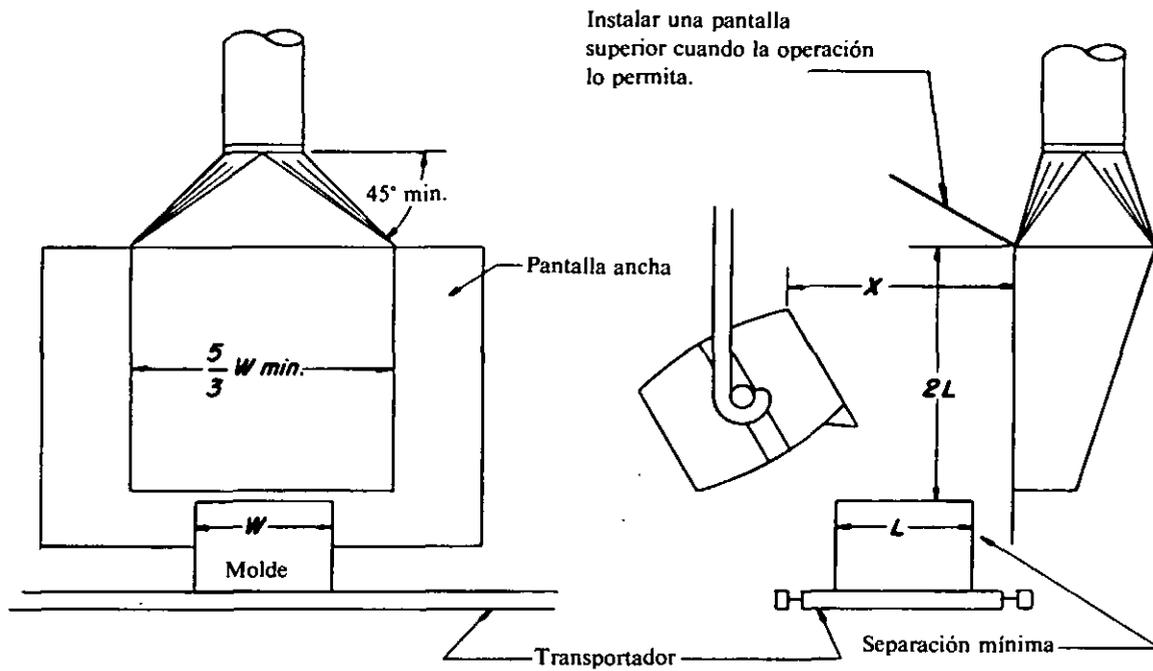
AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

VENTILACIÓN EN MOLINOS
 MEZCLADORES

FECHA

1-66

VS-108



MOLDES PEQUEÑOS

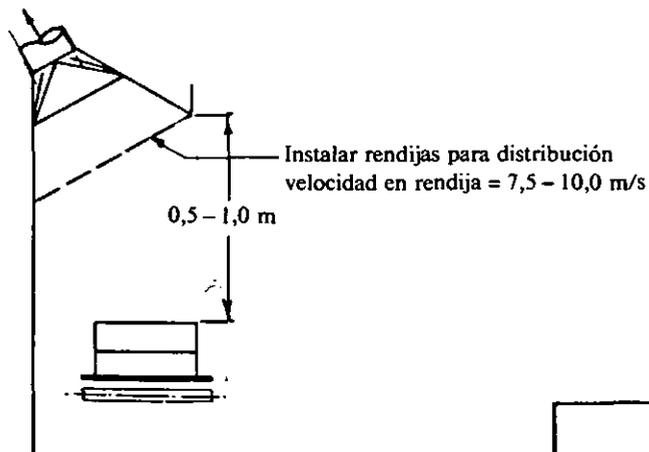
Campana sin pantallas: $Q = 1,0 (10 X^2 + \text{área de la campana})$

Campana con pantallas: Reducir Q en un 25 %

Velocidad en conducto = 10 m/s

Pérdida en la entrada = $0,25 PD$ (Para rendijas, $1,78 PD_{\text{rend}} + 0,25 PD_{\text{cond}}$)

CERRAMIENTO PARCIAL LATERAL

 $Q = 0,31 - 0,46 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ lineal de campana

FUNDICIÓN

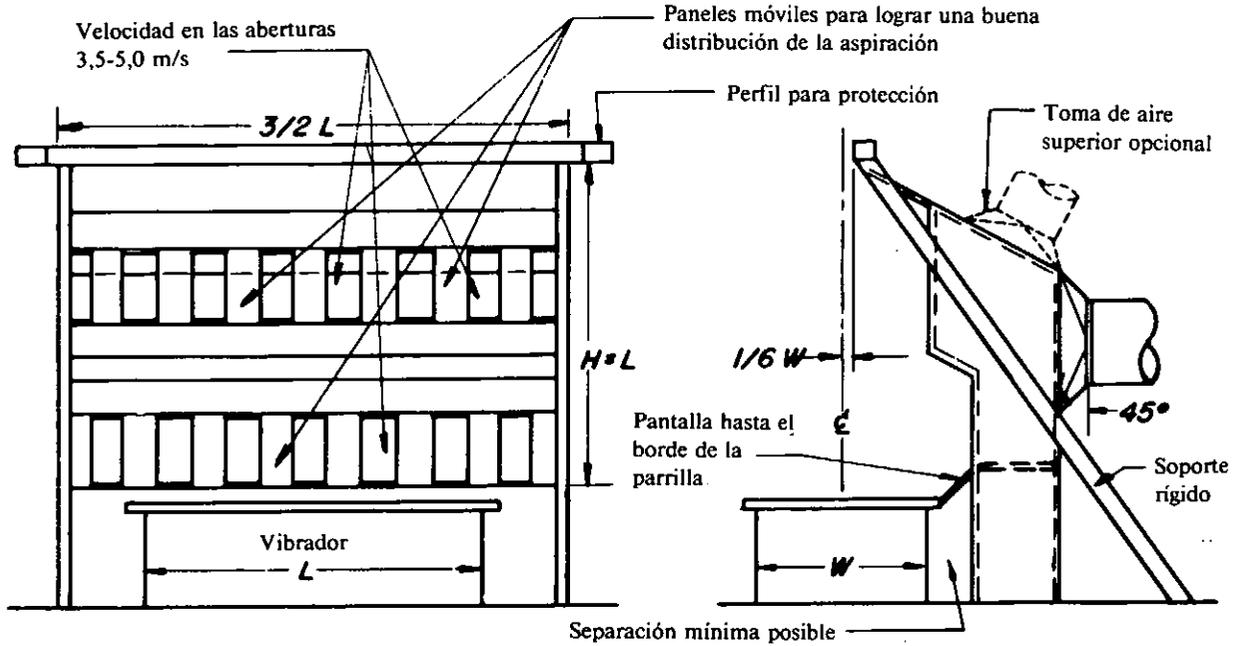
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

ESTACIÓN DE COLADA

FECHA

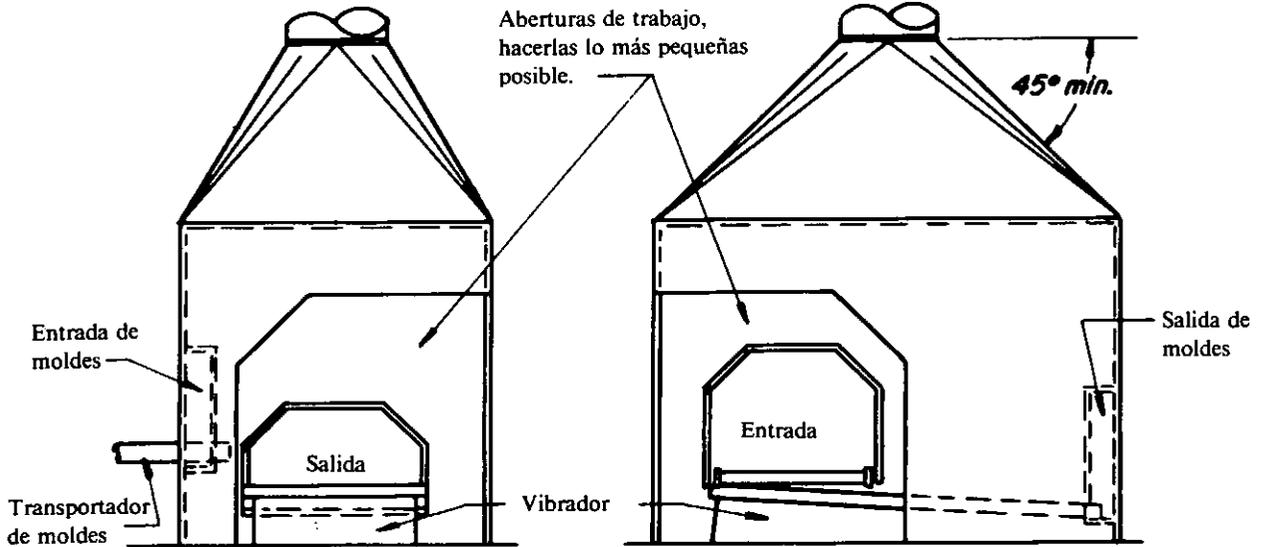
1-64

VS-109



CAMPANA LATERAL

Velocidad en conducto = 18 m/s mínimo
 Pérdida en la entrada = $1,78 PD_{rendijas} + 0,25 PD_{conducto}$



CAMPANA DE CERRAMIENTO

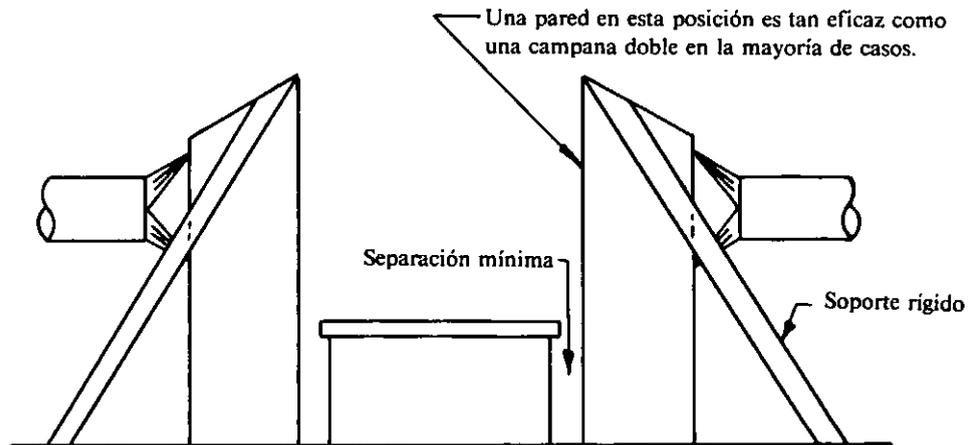
Proporciona mejor control con menos caudal.
 Velocidad en conducto = 18 m/s mínimo.
 Pérdida en la entrada = 0,25 PD
 Ver el esquema VS-112

FUNDICIÓN

AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

PARRILLA DE DESMOLDEO

FECHA	1-64	VS-110
-------	------	--------



CAMPANA LATERAL DOBLE

Proporciones idénticas a las de la campana lateral simple excepto el alero

Dimensionar rendijas para una velocidad de 7,5 a 10,0 m/s

Velocidad en conducto = 20 m/s mínimo

Pérdida en la entrada = $1,78 PD_{rendijas}$ más las de los acoplamientos

Ver el esquema VS-112

FUNDICIÓN

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

PARRILLA DE DESMOLDEO

FECHA

1-82

VS-111

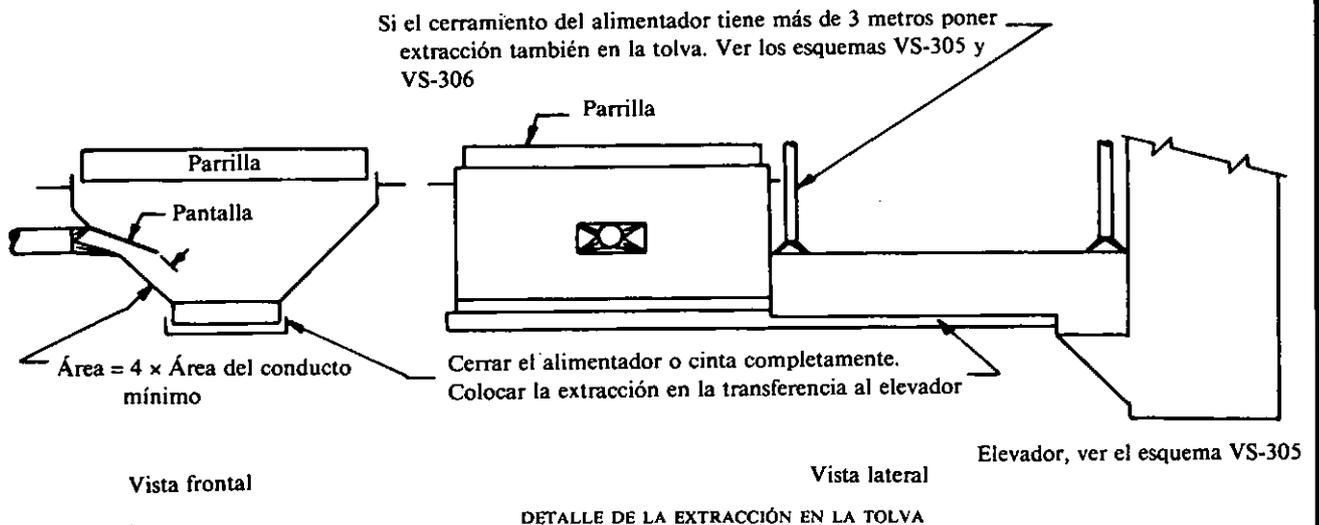
Caudales de extracción, mínimos *

Tipo de campana	Moldes calientes	Moldes frios
Cerramiento **	1 m ³ /s/m ² de abertura Por lo menos 1 m ³ /s/m ² de parrilla	1 m ³ /s/m ² de abertura Por lo menos 0,76 m ³ /s/m ² de parrilla
Cerrados dos laterales y 1/3 del área superior **	1,5 m ³ /s/m ² de parrilla	1,4 m ³ /s/m ² de parrilla
Campana lateral (como la indicada o similar) **	2-2,5 m ³ /s/m ² de parrilla	1,8-2 m ³ /s/m ² de parrilla
Campana con dos laterales **	2 m ³ /s/m ² de parrilla	1,5 m ³ /s/m ² de parrilla

* Elegir los valores superiores cuando

1. Los moldes estén muy calientes
2. La relación arena metal sea baja
3. Existan corrientes de aire transversales

** Las tolvas de las parrillas vibratoras necesitan un caudal de extracción del 10 % del total.



FUNDICIÓN

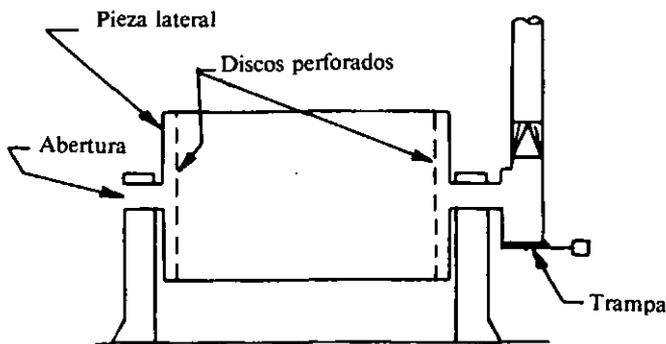
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

PARRILLA DE DESMOLDEO

FECHA

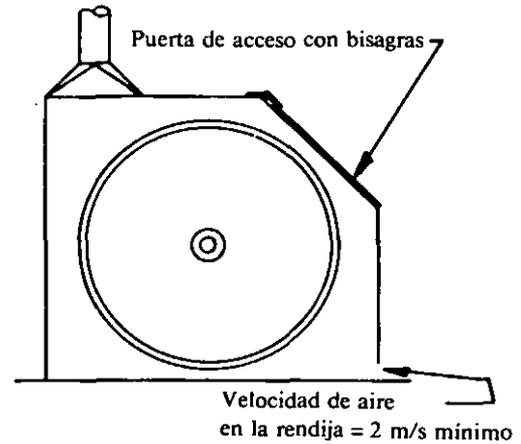
1-82

VS-112



SECCIÓN DE UN TAMBOR DE APOYOS HUECOS

Velocidad en conducto = 25 m/s
Pérdida en la entrada = 83 - 210 mmcd
(según diseño)*



TAMBOR EN CÁMARA (VISTA LATERAL)

Velocidad en conducto = 18 m/s mínimo
Pérdidas en la entrada variables de 0,25 a 0,5 PD
según la pieza de unión

CAUDALES DE EXTRACCIÓN

Tambor cuadrado tamaño del lado (m)	Tambor circular Diám. interior (m)	Caudal m ³ /s **	
		Apoyos	Cámara
	Hasta 0,60	0,21	0,38
Hasta 0,60	0,61 - 0,75	0,32	0,43
0,61 - 0,75	0,76 - 0,90	0,46	0,46
0,76 - 0,90	0,91 - 1,05	0,63	0,63
0,91 - 1,05	1,06 - 1,20	0,83	0,83
1,06 - 1,20	1,21 - 1,35	1,03	1,03
1,21 - 1,35	1,36 - 1,50	1,28	1,28
1,36 - 1,50	1,51 - 1,65	1,55	1,55
1,51 - 1,65	1,66 - 1,80	1,84	1,84
1,66 - 1,80		2,16	2,16

* Los diseños con poca pérdida tienen grandes aberturas para entrada de aire en la pieza lateral.

Los orificios del disco perforado se dimensionan para velocidades de 6 a 9 m/s

** Para tamaños superiores a 1,80 metros incrementar el caudal proporcionalmente.

FUNDICIÓN

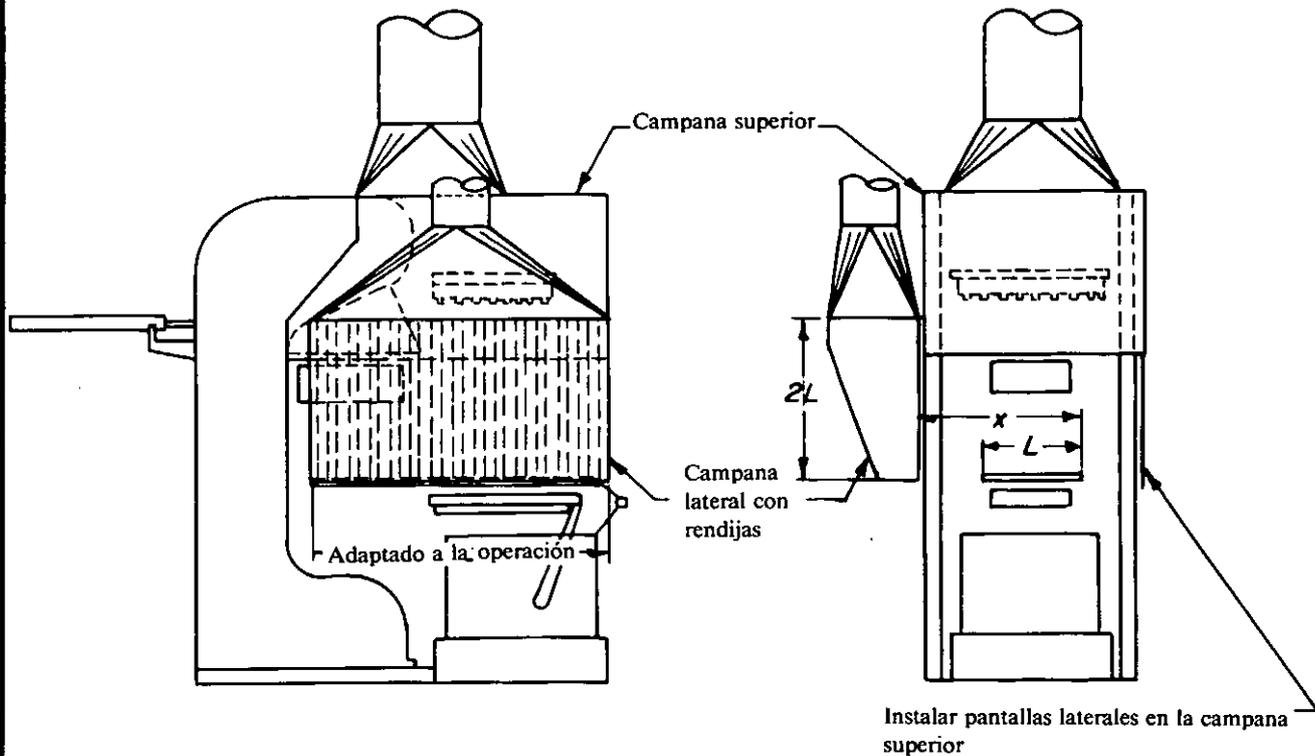
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

TAMBORES DE DESARENADO

FECHA

1-64

VS-113



$Q = 1,27 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de campana - máquina simple
 $0,76 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de campana - máquina doble
 Pérdida en la entrada = $0,25 \text{ PD}$ si la unión al conducto es progresiva

La campana lateral con rendijas es necesaria para captar el humo que se desprende de las piezas calientes que salen de la máquina.
 Velocidad de captura = $0,38 \text{ m/s}$ mínimo
 $Q = 0,375 (10 x^2 + \text{área de la campana})$
 Pérdida en la entrada = $1,78 \text{ PD}_{\text{rendija}} + 0,25 \text{ PD}_{\text{conducto}}$

El transportador o área de enfriamiento precisa ventilación si las piezas son grandes. El transportador o contenedor de rechazos también puede precisar ventilación.

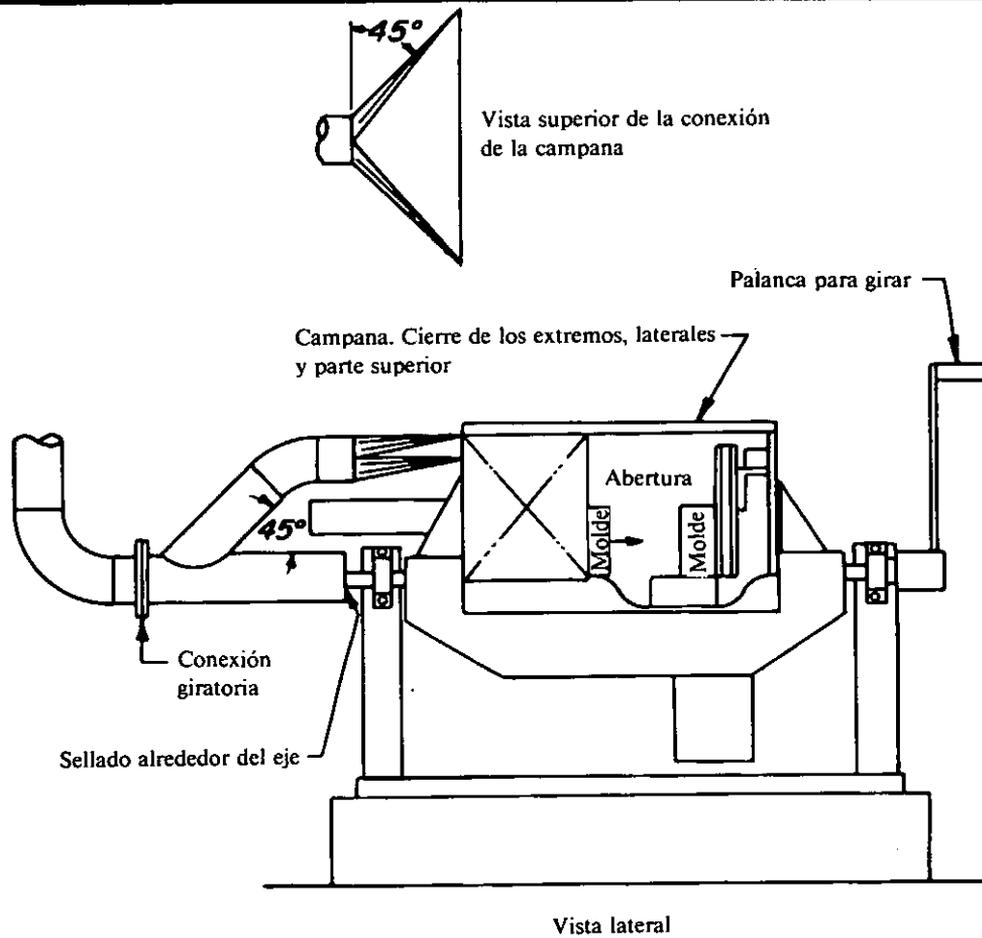
FUNDICIÓN

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

MOLDEO DE NOYOS

FECHA 1-72

VS-114



$Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie abierta
 Velocidad en conducto = 18 m/s mínimo
 Pérdida en la entrada = $0,25 \text{ PD}_{\text{conducto}}$

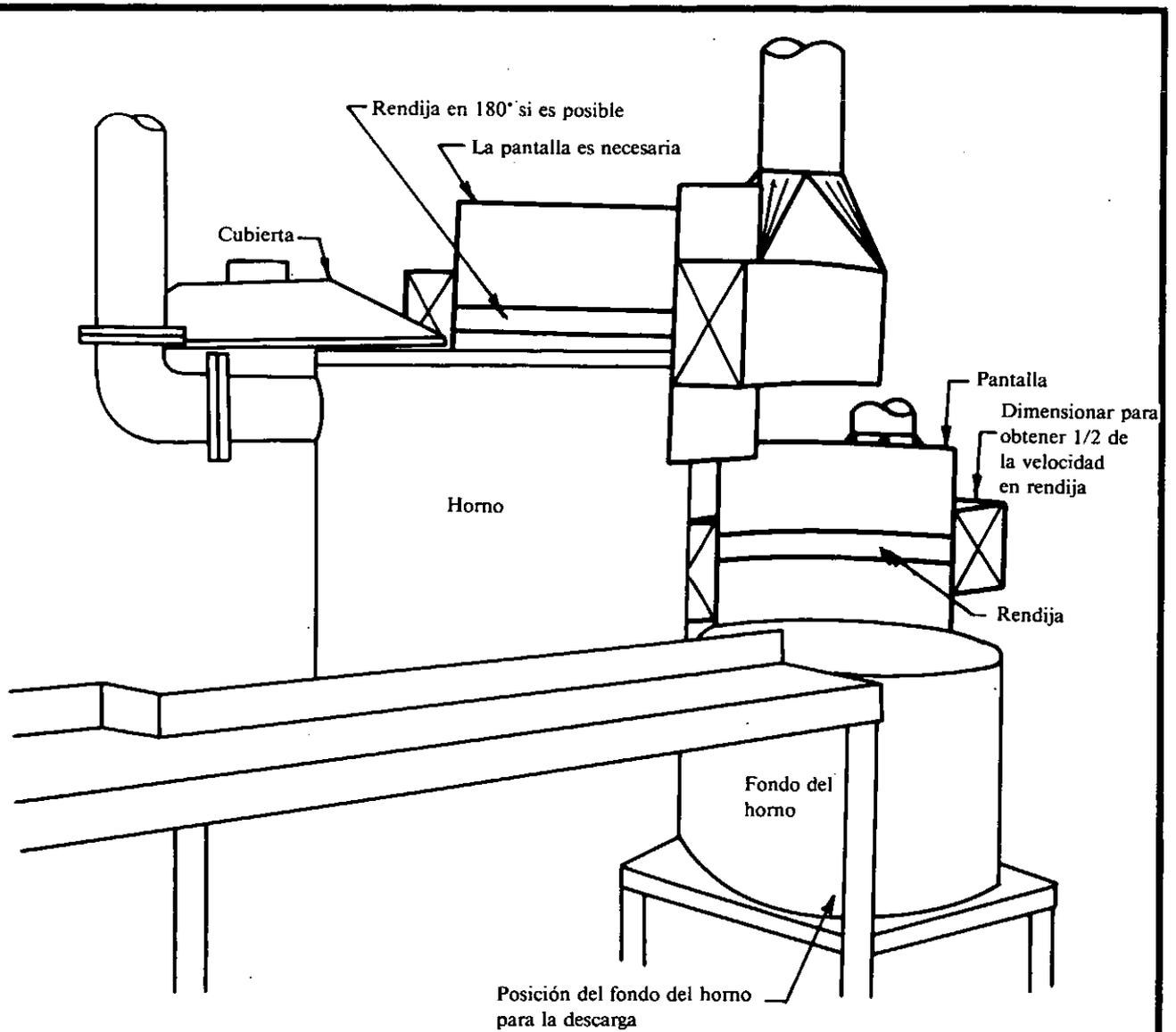
FUNDICIÓN

AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

MÁQUINA DE HACER NOYOS
 DE TIPO GIRATORIO

FECHA 1-70

VS-115



$Q = 0,89 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie del horno instalando rendijas curvas y pantallas.

Velocidad en rendija = 10 m/s

Velocidad en conducto = 18 m/s

Pérdida en la entrada = $1,78 PD_{\text{rend.}} + 0,25 PD_{\text{cond.}}$

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

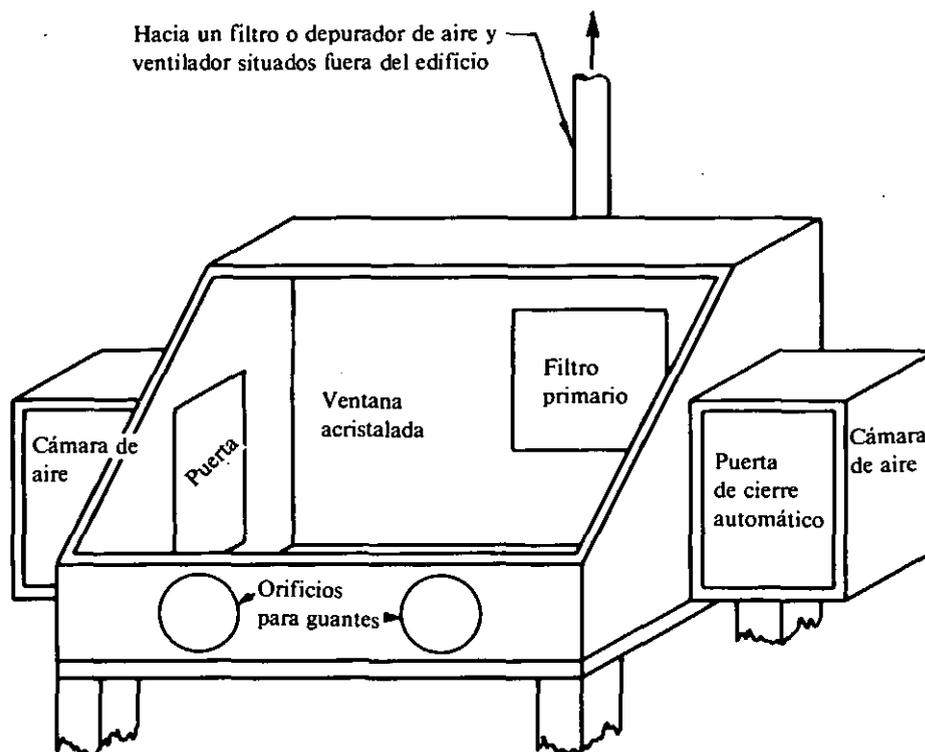
*HORNO DE CRISOL PARA MATERIALES
DE ALTA TOXICIDAD*

MATERIALES ALTA
TOXICIDAD

FECHA

1-64

VS - 201



$Q = 0,25 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie de las puertas abiertas
y 6 mmca de depresión con las puertas cerradas.

Pérdida en la entrada = 0,50 PD

Velocidad en conducto = 10 - 20 m/s

Filtros: 1. Filtro en las puertas de entrada de aire.

2. Filtro primario en la unión de la campana al conducto de extracción.

3. Filtro de limpieza final del aire.

Todos los instrumentos deben estar en el interior de la campana. Debe preverse el control desde el exterior.

Los guantes de goma largos están unidos a los orificios previstos al efecto con juntas estancas.

Para facilitar la descontaminación del sistema se pueden utilizar plásticos troceables en los filtros de aire interiores y de la descarga al exterior.

Se deben instalar filtros de aire en las puertas de entrada del aire necesario para mecheros, etc.

Consultar el Capítulo 4 en lo referente a los filtros.

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

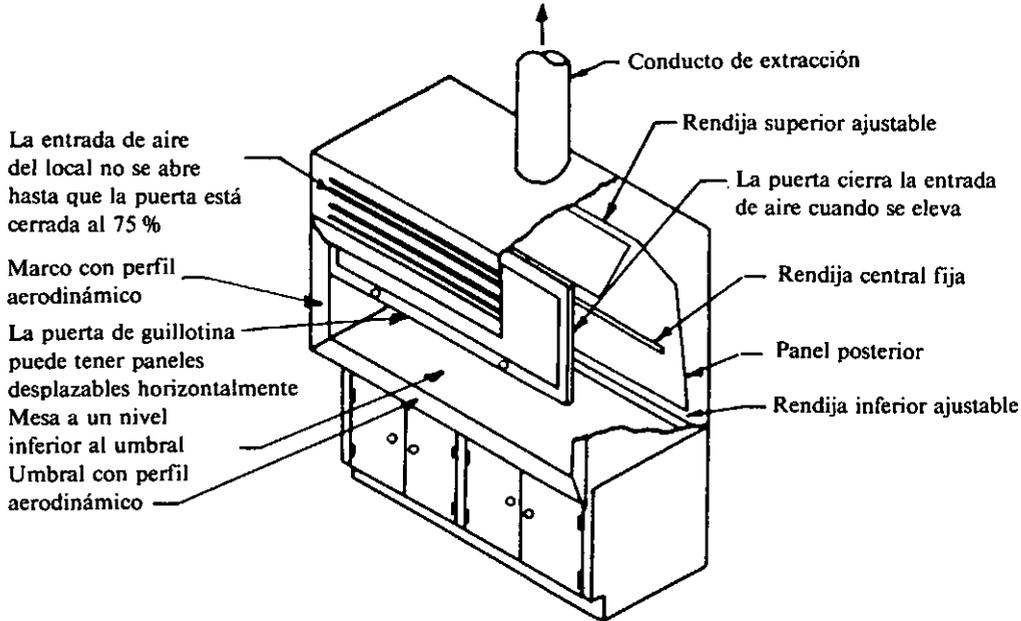
CABINA DE MANIPULACIÓN CON GUANTES
PARA MATERIALES RADIATIVOS O DE
ALTA TOXICIDAD

MATERIALES ALTA
TOXICIDAD

FECHA

1-66

VS-202



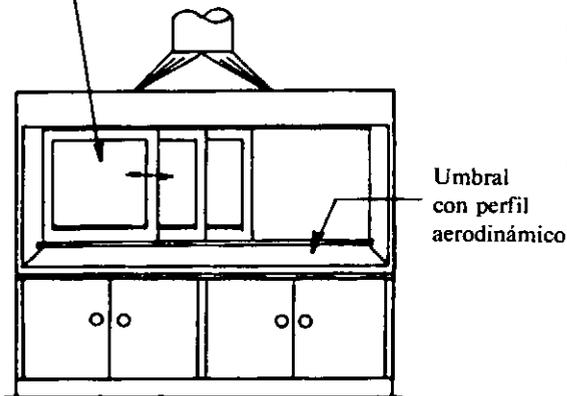
CABINA CON PUERTA DE GUILLOTINA Y MARCO DE PERFIL AERODINÁMICO

$Q = 0,3 - 0,76 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie total abierta en función de la eficacia de la distribución del aire aportado al local
 Pérdida en la entrada = 0,5 PD
 Velocidad en conducto = 5 - 10 m/s según uso

Especificaciones para el diseño:
 Campanas de laboratorio de uso general. Ver VS-205
 Campanas para ácido perclórico. Ver VS-205.1

Las campanas "compensadas" tienen un aporte de aire del exterior en la cara abierta de la campana, su diseño es variable según los proveedores. Ver VS-204.1

Para un apantallamiento seguro, al menos una hoja debe tener una anchura máxima de 500 mm



CABINA CON PUERTAS CORREDERAS Y MARCO DE PERFIL AERODINÁMICO

MATERIALES ALTA TOXICIDAD

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

CABINA DE LABORATORIO

FECHA

1-84

VS-203

DISTRIBUCIÓN DEL AIRE DE APORTE

Durante las operaciones normales en una cabina de gases de laboratorio, el trabajador permanece de pie frente a la cabina y manipula los aparatos situados en su interior. La corriente de aire que entra en la cabina origina torbellinos alrededor de su cuerpo, lo cual puede ser causa de arrastres de los contaminantes del interior de la cabina hacia el cuerpo o la zona respiratoria del trabajador. Cuanto mayor sea la velocidad de entrada mayor será la formación de torbellinos. Por este motivo el uso de velocidades de entrada muy elevadas no da como resultado una protección tan alta como podría suponerse.

Las corrientes de aire en el local tienen un efecto muy importante en el funcionamiento de la cabina. Por ello el diseño del sistema de distribución del aire aportado al local es tan importante como la velocidad de entrada de aire a la cabina para asegurar el correcto funcionamiento de la cabina. Los resultados del proyecto de investigación RP-70 de ASHRAE, elaborado por Caplan y Knutson (Ref. 136) concluyen:

1. Se obtienen concentraciones más bajas en la zona respiratoria con velocidades de entrada de 0,25 m/s y buena distribución del aire de aporte que con 0,76 m/s y una mala distribución del aire. Con un buen sistema de aporte de aire, y liberando un caudal de 8 l/min de un gas trazador en el interior de la cabina, la concentración en la zona respiratoria se puede mantener siempre por debajo de 0,1 ppm y generalmente inferior a 0,01 ppm.

2. La velocidad terminal de los chorros del aire impulsado no debe ser superior a 1/2 a 2/3 de la velocidad de entrada en la cabina; estas velocidades terminales son muy inferiores a las habituales.

3. Un techo de paneles perforados es un sistema de aporte de aire mejor que las rejillas o difusores, los criterios de diseño del sistema son más sencillos y fáciles de aplicar y no es necesario un ajuste delicado de los elementos móviles.

Por los motivos indicados, el aumento de la velocidad de entrada puede ser contraproducente debido a que el aumento del caudal vehiculado a través de la habitación hará más difícil conseguir una distribución del aire de aporte a baja velocidad.

SELECCIÓN DE LA VELOCIDAD DE ENTRADA

La interacción entre la velocidad de entrada y la distribución de aire imposibilita cualquier especificación general para la velocidad. Las velocidades de entrada más elevadas pueden ser un derroche de energía sin lograr una mayor protección para el trabajador o incluso empeorándola. Se puede utilizar el ensayo de rendimiento desarrollado por Caplan y Knutson como especificación. El rendimiento debe ser exigido tanto al fabricante de la cabina como al diseñador del sistema de aporte de aire.

La especificación tiene la forma $\times \times$ AU YYY

donde:

$\times \times$ = caudal de liberación del trazador en la cabina con un difusor especificado. Los caudales son los siguientes:

1 l/min equivale al trasvase repetido de disolventes volátiles de un recipiente a otro.

4 l/min es un valor intermedio entre 1 y 8 l/min.

8 l/min equivale a agua hirviendo violentamente en una placa calefactora de 500 vatios.

(se pueden definir otros caudales de emisión para casos particulares).

YYY = Nivel de control, ppm, en la zona respiratoria del trabajador.

AU = "Tal como se usa" en el laboratorio. "AM" indicará "Tal como se ensaya" posiblemente en la sala de ensayo del fabricante.

MATERIALES ALTA
TOXICIDAD

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

DATOS PARA CABINAS
DE LABORATORIO

FECHA

1-82

VS-204

Una cabina de laboratorio bien diseñada, y equilibrada, puede lograr un nivel de control $<0,1$ ppm si la distribución del aire de aporte es correcta. En consecuencia, parece adecuado exigir un requisito "AM" $<0,1$ ppm. El requisito "AU" depende del diseño del sistema de suministro de aire y de la toxicidad de los materiales manipulados en la cabina. La especificación "AU" debe ser estudiada atendiendo a las necesidades del laboratorio.

En el proyecto de nuevos edificios, frecuentemente es necesario estimar el coste del acondicionamiento de aire en una fase muy temprana del mismo, antes de que se conozcan detalles de los diseños y especificaciones de los equipos. Para estas primeras estimaciones se pueden utilizar los datos siguientes.

Situación	$m^3/s/m^2$ abertura cabina
1. Paneles de techo colocados correctamente con una velocidad media en el panel $<0,2$ m/s. (137). Cabinas con puertas deslizantes horizontales. Sin equipos en su interior a una distancia inferior a 30 cm de su cara frontal. Cabinas alejadas de las puertas y pasos de circulación.*	0,3
2. Igual que el 1 anterior, algo de circulación frente a la cabina. Sin equipos en su interior a una distancia inferior a 15 cm de su cara frontal. Cabinas alejadas de las puertas y pasos de circulación.*	0,4
3. Paneles de techo colocados correctamente con una velocidad media en el panel $<0,3$ m/s (137), o difusores de techo bien situados; sin difusores en las proximidades de la cabina, el cuadrante dirigido hacia la cabina cerrado, velocidad terminal del chorro $<0,3$ m/s. Sin equipos en la cabina a una distancia inferior a 15 cm de su cara frontal. Cabinas alejadas de puertas y pasos de circulación.*	0,4
4. Igual que el 3 anterior; algo de circulación frente a la cabina. Sin equipos en su interior a una distancia inferior a 15 cm de su cara frontal.	0,5

Rejillas de pared. Admisibles, pero no recomendables para la planificación de nuevas instalaciones.

* Las cabinas cerca de las puertas son aceptables si: 1) existe otra salida de seguridad en el local, 2) la circulación frente a la cabina es pequeña, y 3) la puerta está habitualmente abierta.

CABINAS CON APORTE DE AIRE AUXILIAR

Las cabinas con aporte de aire auxiliar son de diseños registrados y no es posible hacer un análisis cuantitativo aquí. Algunos diseños ocasionan un arrastre de los contaminantes desde la cabina hacia el local; otros son muy efectivos. Los ensayos de rendimiento se pueden utilizar, y se han utilizado, para mostrar el nivel de control alcanzado por un diseño dado. Las cabinas con aporte de aire auxiliar bien diseñadas son tan efectivas como cualquier otra en lo que respecta al control de la contaminación.

Algunas cabinas con aire auxiliar, que introducen aire sin tratar, o parcialmente tratado a baja velocidad, pueden alterar el acondicionamiento del local si el aire aportado está a una temperatura superior a $10^\circ C$ sobre la del local. Este comportamiento puede observarse con penachos de humo, pero es de difícil cuantificación y no existe un ensayo cuantitativo cuya validez esté demostrada.

Si el ambiente del laboratorio se debe mantener en unas condiciones dadas de temperatura y humedad (y en ocasiones de limpieza), el uso de cabinas con aporte de aire auxiliar puede ser antieconómico, o de peores resultados energéticos, con respecto a las cabinas normales con un buen diseño del aporte de aire al local.

**MATERIALES ALTA
TOXICIDAD**

**AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

**DATOS PARA CABINAS
DE LABORATORIO**

FECHA

VS-204.1

CABINAS DE LABORATORIO DE USO GENERAL

- A. Procurar una extracción de aire distribuida uniformemente en toda la cabina. Ajustar las pantallas y los caudales para obtener una variación inferior al 10 % en las medidas puntuales de velocidad en la cara frontal de la cabina con las puertas completamente abiertas.
- B. Situar las cabinas lejos de los pasillos con mucha circulación y puertas de acceso. Las cabinas cerca de las puertas son aceptables si: 1) Existe otra salida de seguridad en el local, 2) La circulación frente a la cabina es baja, y 3) La puerta está normalmente abierta.
- C. Utilizar materiales resistentes a la corrosión atendiendo al uso que se va a dar a la cabina.
- D. Instalar depuración en las descargas del aire si es necesario, y una altura adecuada de la chimenea para minimizar las reentradas de contaminantes y cumplir las normas anticontaminación.
- E. Evitar los cantos vivos en marcos y umbrales. Las entradas a la cabina deben tener los bordes redondeados. Un perfil aerodinámico en el umbral es importante.
- F. Instalar filtros para materiales radiactivos si superan las cantidades "exentas".
- G. Las aberturas de by-pass en las cabinas son convenientes para evitar una excesiva velocidad de entrada cuando la puerta de la cabina está parcialmente cerrada. La abertura debe estar apantallada, como se indica en VS-203 para evitar salpicaduras en caso de explosión en la cabina.
- H. Procurar la introducción de aire atemperado o acondicionado al local. El caudal de aire de aporte debe seleccionarse para mantener el equilibrio con los espacios adyacentes al laboratorio. Ver VS-204.
 - I. Para reducir los volúmenes de aire a extraer, considerar la posibilidad de instalar extracciones localizadas en vez de cabinas de laboratorio para operaciones fijas.
- J. Con puertas correderas horizontales el consumo de aire es menor; el umbral con perfil aerodinámico es necesario.
- K. Las cabinas deben tener la superficie de trabajo deprimida y el umbral con perfil aerodinámico.

**MATERIALES ALTA
TOXICIDAD**

**AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

*CABINAS DE LABORATORIO
DE USO GENERAL*

FECHA

-86

VS-205

CABINAS PARA ÁCIDO PERCLÓRICO

El ácido perclórico es extremadamente peligroso debido a su fuerte carácter oxidante. Se pueden originar reacciones explosivas cuando el ácido reacciona con sustancias orgánicas.

1. No utilizar ácido perclórico en cabinas diseñadas para otros usos. Identificar las cabinas para ácido perclórico con señales de peligro de gran tamaño.
2. Procurar los caudales de extracción y de suministro de aire de acuerdo con VS-204.
3. Utilizar extracción localizada en el interior de la cabina para minimizar las condensaciones de vapor.
4. Situar todos los controles de las instalaciones en el exterior.
5. Los materiales de construcción de la cabina y de los conductos deben ser no reactivos, resistentes a los ácidos y impermeables. EVITAR LOS MATERIALES ORGÁNICOS a menos que se tenga certeza de que son seguros. El material recomendado es acero inoxidable del tipo 316 con juntas soldadas. También son aceptables el cloruro de polivinilo sin plastificantes o un revestimiento cerámico inorgánico como la porcelana.
6. La facilidad de limpieza es fundamental. Emplear acero inoxidable de construcción enteramente soldado y con los bordes accesibles redondeados.
7. La superficie de trabajo debe ser impermeable al agua con un zócalo de más de 12 mm en la parte frontal y laterales y continuo en la parte posterior para recoger los vertidos de agua.
8. Diseñar sistemas de recogida de escurridos de agua en la cabina y en los conductos. La limpieza a fondo del ácido perclórico de todas las superficies del sistema de extracción debe programarse con una frecuencia diaria o mayor.
9. Cada cabina de ácido perclórico debe tener un sistema de extracción individual. Los tramos de conducto horizontal deben tener pendiente para drenaje. Evitar los giros bruscos.
10. Construir la cabina y el sistema de conductos de forma que sea fácil una inspección visual.
11. Cuando sea necesario, instalar un depurador húmedo de alta eficacia (superior al 80 %) de diseño especial para ácido perclórico. Situarlo lo más próximo posible a la cabina para minimizar la acumulación de ácido en los conductos.
12. El ventilador debe ser metálico resistente al ácido, o metálico protegido con un recubrimiento inorgánico, o un eyector de aire.
13. Lubricar el ventilador con una grasa de tipo fluorocarbonada.
14. Situar el ventilador en el exterior del edificio.
15. La descarga de aire debe colocarse muy alejada, preferentemente con un conducto de descarga vertical que se extienda por encima de la zona de torbellinos creada por el edificio. Ver las Figuras 5-25 y 5-26.

**MATERIALES ALTA
TOXICIDAD**

**AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

*DATOS PARA CABINAS DE
ÁCIDO PERCLÓRICO*

FECHA 1-86

VS-205.1

NORMAS DE TRABAJO EN CABINAS DE LABORATORIO

Ninguna cabina de laboratorio con gran superficie frontal abierta, baja velocidad de entrada y una persona frente a ella puede proporcionar una seguridad completa en todas las circunstancias que se pueden producir en la cabina, ni frente a contaminantes con un TLV en la zona baja de ppb. Para las exposiciones más comunes, una cabina bien diseñada, en un local bien ventilado, proporciona una protección adecuada. Sin embargo es necesario seguir ciertas normas de trabajo para obtener el mejor rendimiento de la cabina. Las normas de trabajo que se dan a continuación son las más comunes; en algunas circunstancias pueden ser necesarias normas de trabajo más exigentes.

1. Realizar todas las operaciones que pueden generar una contaminación del aire por encima del TLV en el interior de la cabina.
2. Mantener todos los aparatos por lo menos a una distancia de 15 cm del frente de la cabina. Una línea trazada sobre la superficie de trabajo es un buen recordatorio.
3. No introducir la cabeza en la cabina cuando se estén generando contaminantes.
4. No utilizar la cabina como desagüe, excepto para cantidades pequeñas de líquidos volátiles.
5. No guardar productos químicos o aparatos en las cabinas. Guardar los productos químicos peligrosos en armarios de seguridad adecuados.
6. Mantener las puertas de la cabina cerradas siempre que sea posible.
7. No colocar aparatos o recipientes frente a las rendijas de la cabina de forma que puedan obstruirlas.
8. Evitar el paso de personas frente a la cabina.
9. Mantener las puertas del laboratorio cerradas. (Excepción: Algunos diseños de laboratorio exigen que las puertas permanezcan abiertas.)
10. Retirar las puertas correderas de la cabina sólo cuando sea necesario para montar un aparato en el interior; colocar las puertas en su lugar antes de iniciar la operación.
11. No situar tomas de corriente eléctrica y otros generadores de chispa en el interior de la cabina cuando se manejen líquidos o gases inflamables. No se permiten las tomas de corriente fijas en el interior de las cabinas.
12. Si existe posibilidad de explosión o proyecciones hay que instalar una barrera adecuada.
13. Procurar el mantenimiento adecuado de los sistemas de extracción de aire de la cabina y de suministro de aire al local. Instalar medidores de la presión estática en la cabina, en los filtros del sistema de extracción, o cualquier otro sistema indicador de que el caudal en el circuito de extracción es el adecuado.
14. Si la puerta de la cabina debe permanecer parcialmente cerrada durante el funcionamiento, la cabina debe disponer de una señal indicándolo, y la marca de cierre parcial debe estar claramente señalada.

**MATERIALES ALTA
TOXICIDAD**

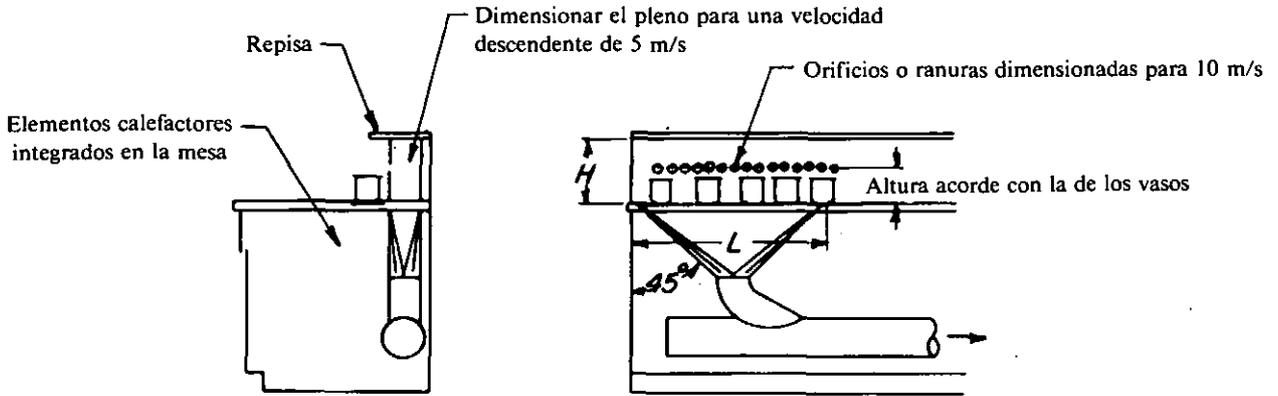
**AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

***NORMAS DE TRABAJO PARA
CABINAS DE LABORATORIO***

FECHA

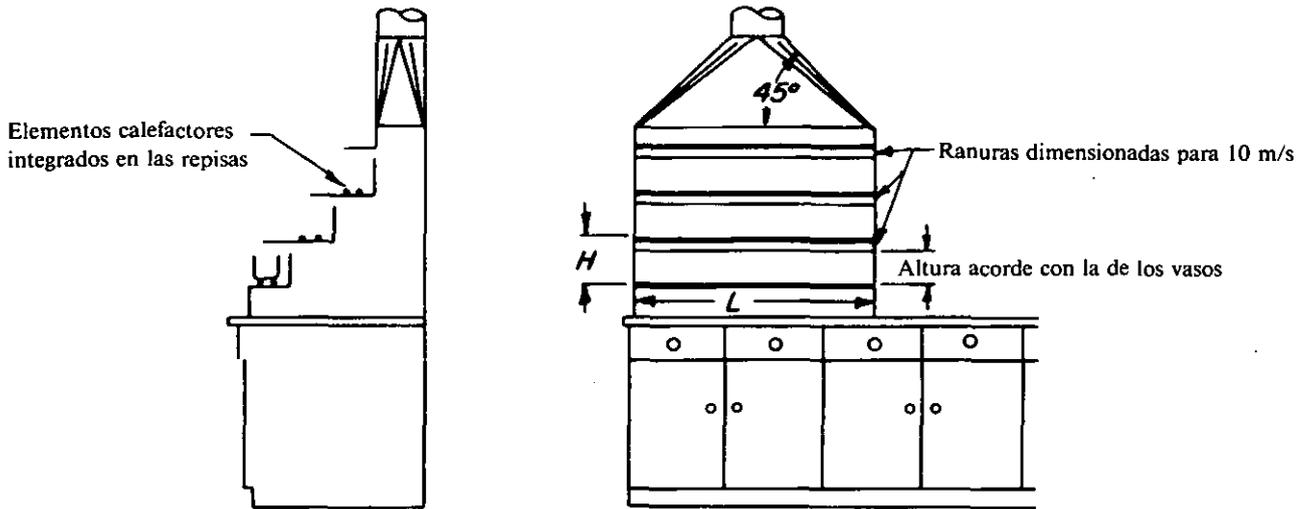
1-86

VS-205.2



MESA PARA EVAPORACIÓN

$Q = 0,03 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ lineal de campana, o $0,25\text{HL}$
 Velocidad en conducto = 10 m/s
 Pérdida en la entrada = $1,78 \text{ PD}_{\text{rendija}} + 0,25 \text{ PD}_{\text{conducto}}$



CAMPANA PARA EVAPORACIÓN

$Q = 0,03 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ lineal de campana, o $0,25\text{HL}$ para cada repisa
 Velocidad en conducto = 10 m/s
 Pérdida en la entrada = $1,78 \text{ PD}_{\text{rendija}} + 0,25 \text{ PD}_{\text{conducto}}$

MATERIALES ALTA TOXICIDAD

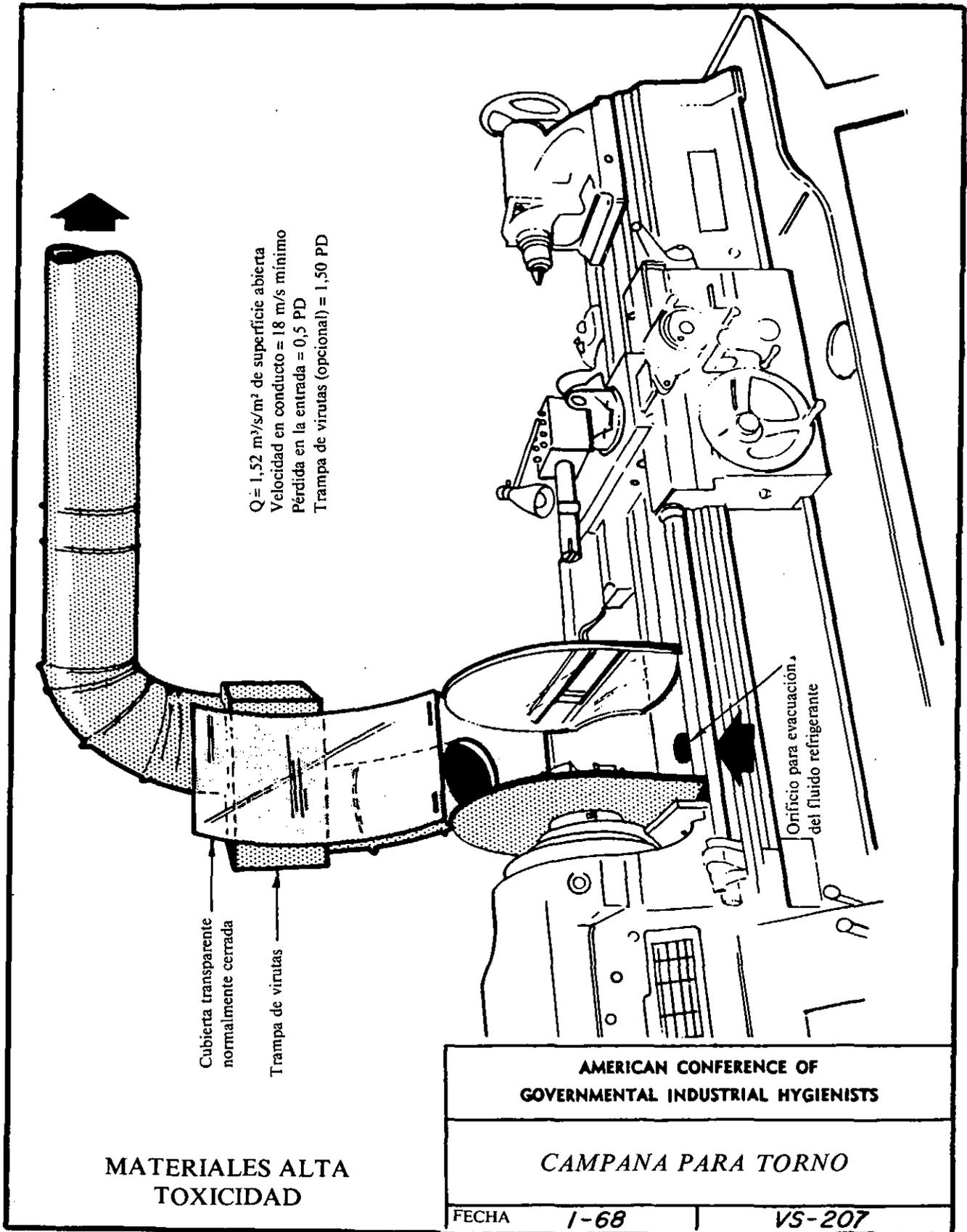
Referencia 95

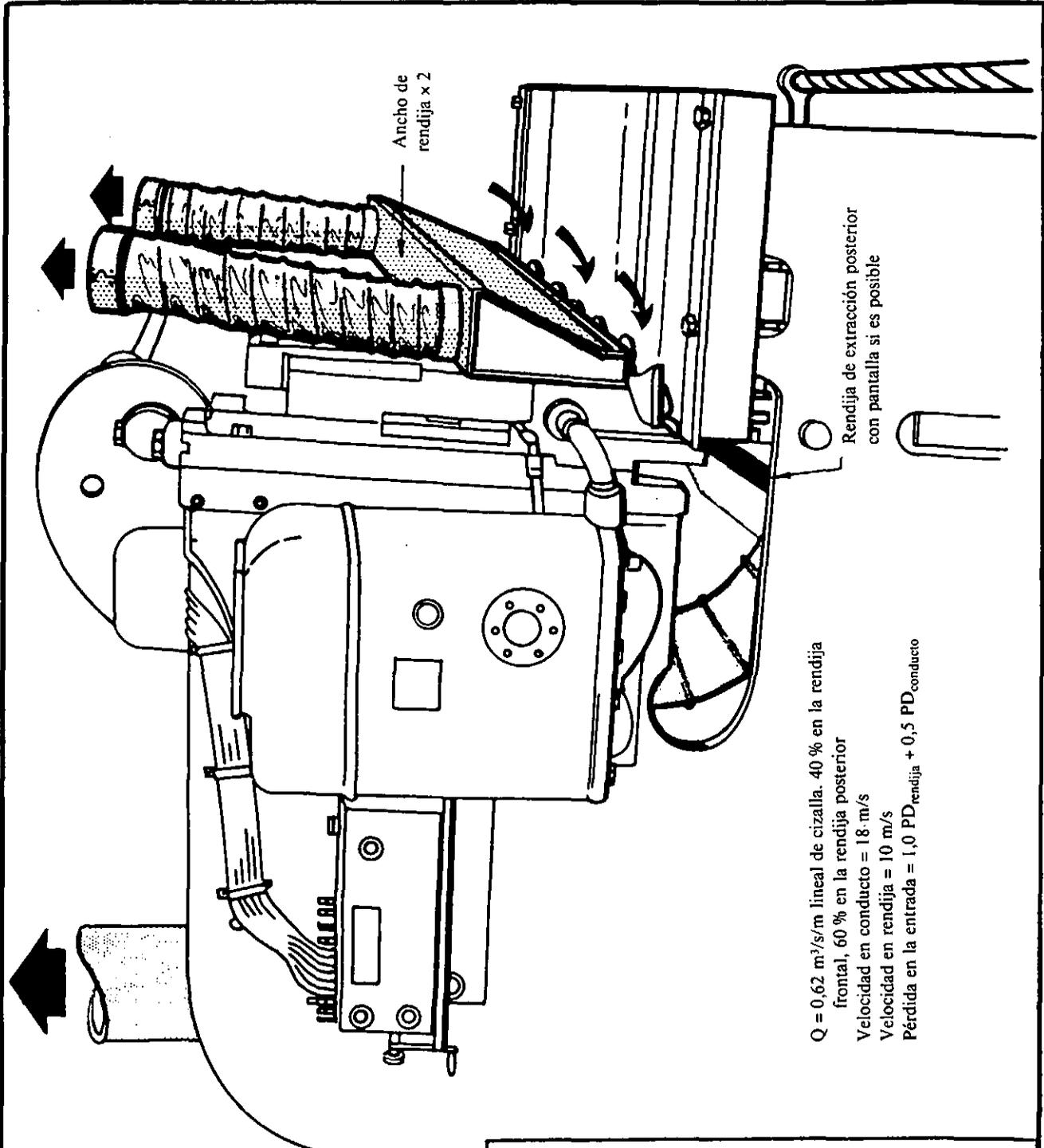
AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

CAMPANAS DE LABORATORIO DE DISEÑO ESPECIAL

FECHA 1-68

VS-206

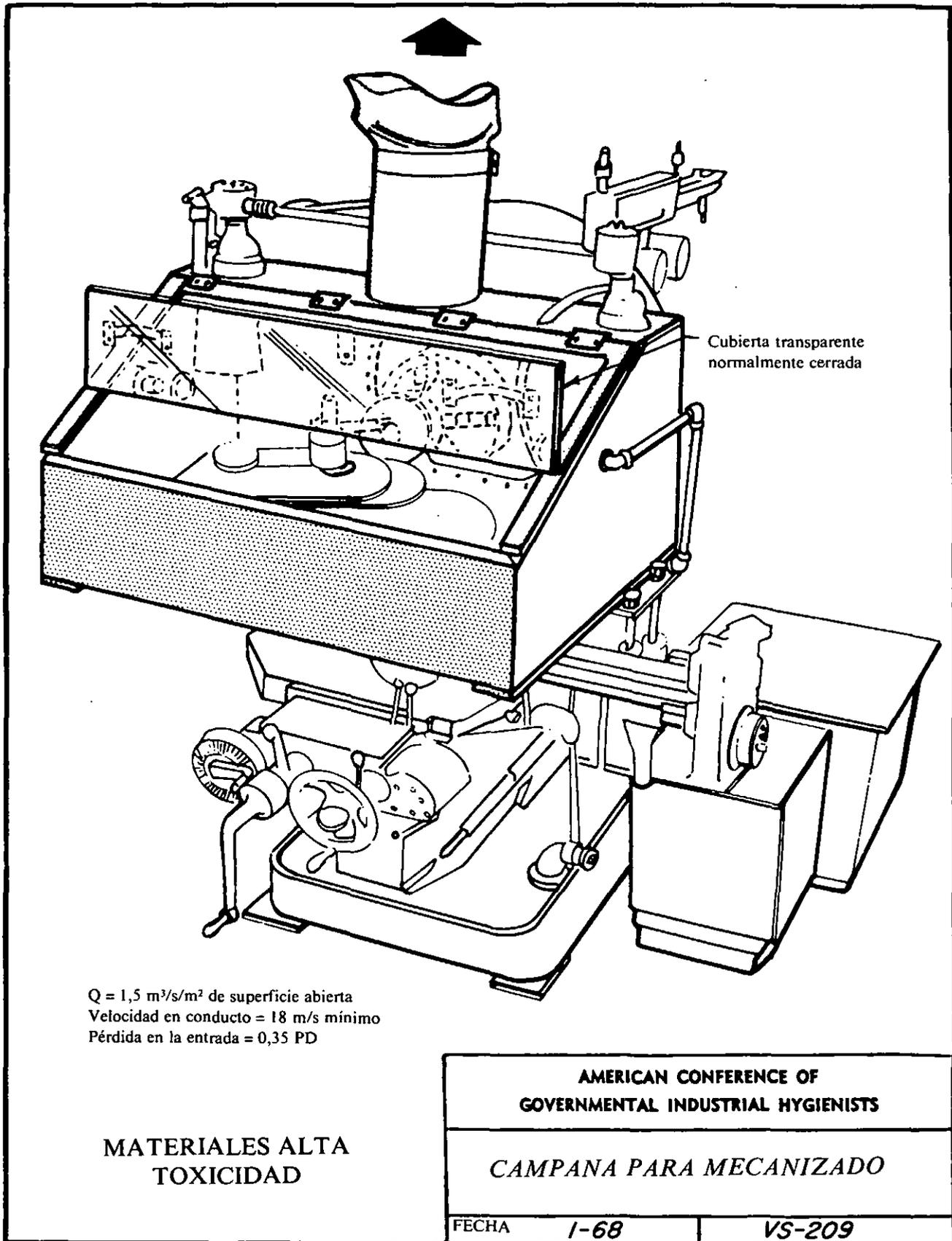




$Q = 0,62 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ lineal de cizalla. 40 % en la rendija frontal, 60 % en la rendija posterior
Velocidad en conducto = 18 m/s
Velocidad en rendija = 10 m/s
Pérdida en la entrada = 1,0 PD_{rendija} + 0,5 PD_{conducto}

MATERIALES ALTA TOXICIDAD

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS	
CIZALLA PARA METALES	
FECHA	1-68 VS-208



Cubierta transparente
normalmente cerrada

$Q = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie abierta
Velocidad en conducto = 18 m/s mínimo
Pérdida en la entrada = 0,35 PD

**MATERIALES ALTA
TOXICIDAD**

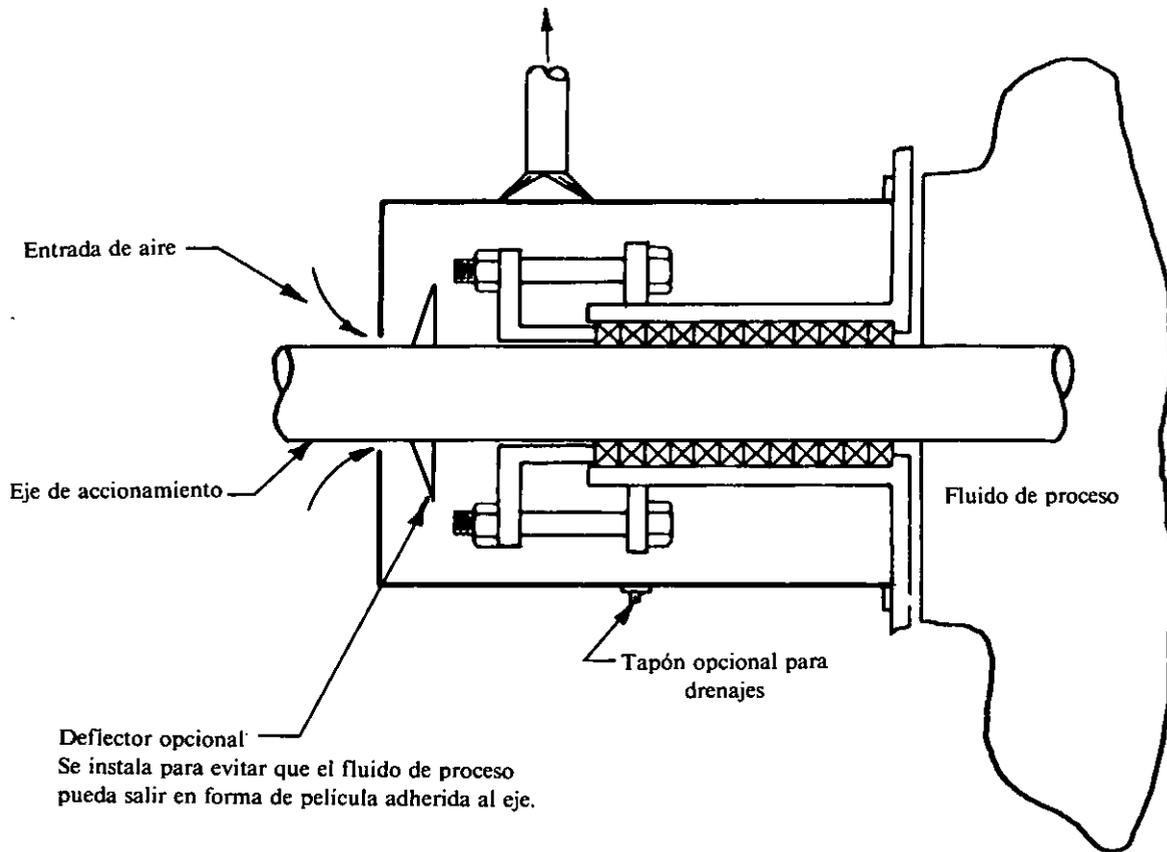
**AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

CAMPANA PARA MECANIZADO

FECHA

1-68

VS-209



$Q = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie abierta, mínimo
(normalmente 17-68 m^3/h)

Nota: Se debe introducir aire en cantidad suficiente para diluir los gases o vapores inflamables hasta el 25 % del LII. Ver la sección 2

Velocidad en conducto = 10 m/s

Pérdida en la entrada = $1,78 PD_{\text{rendija}} + 0,25 PD_{\text{conducto}}$

MATERIALES ALTA
TOXICIDAD

Referencia 129

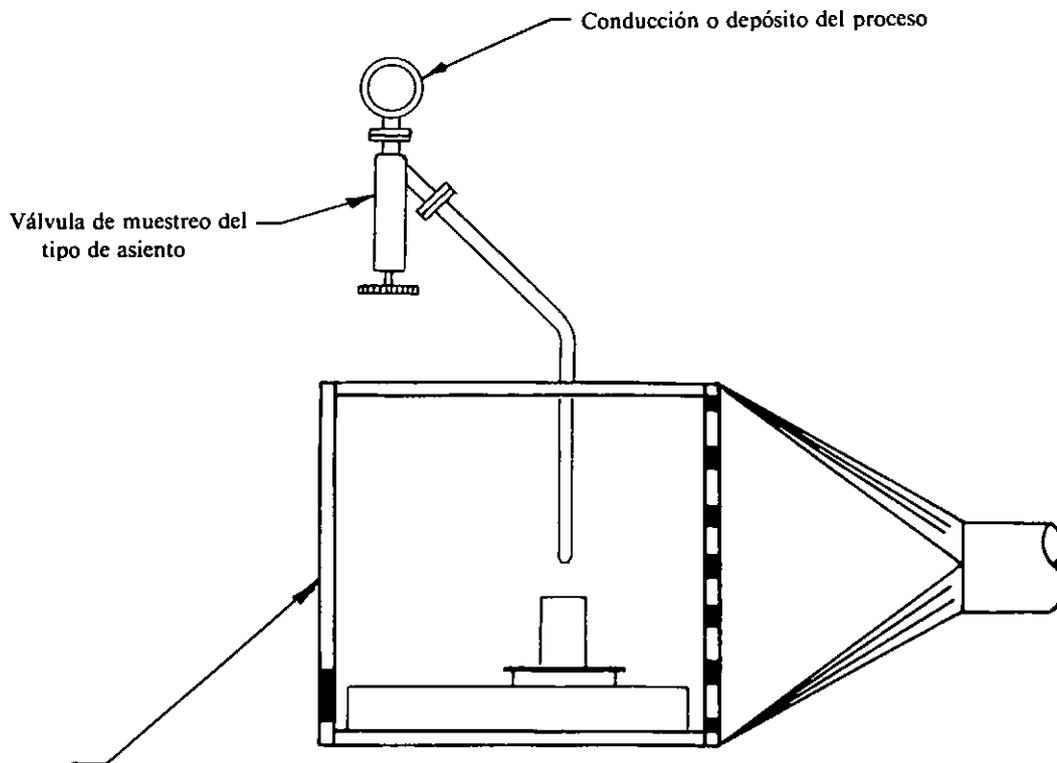
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

CERRAMIENTO PARA EMPAQUETADURAS
DE EJES

FECHA

1-78

VS-210



Es conveniente un enclavamiento que impida la extracción de una muestra si la puerta no está cerrada.

$Q = 0,64 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ superficie abierta (superficie de la puerta) mínimo

Nota: Se debe introducir suficiente cantidad de aire cuando la puerta está cerrada para diluir los gases o vapores inflamables hasta el 25 % del LII. Ver Capítulo 2

Velocidad en conducto = 10 m/s

Pérdida en la entrada = $1,78 PD_{\text{rendija}} + 0,50 PD_{\text{conducto}}$

**MATERIALES ALTA
TOXICIDAD**

**AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

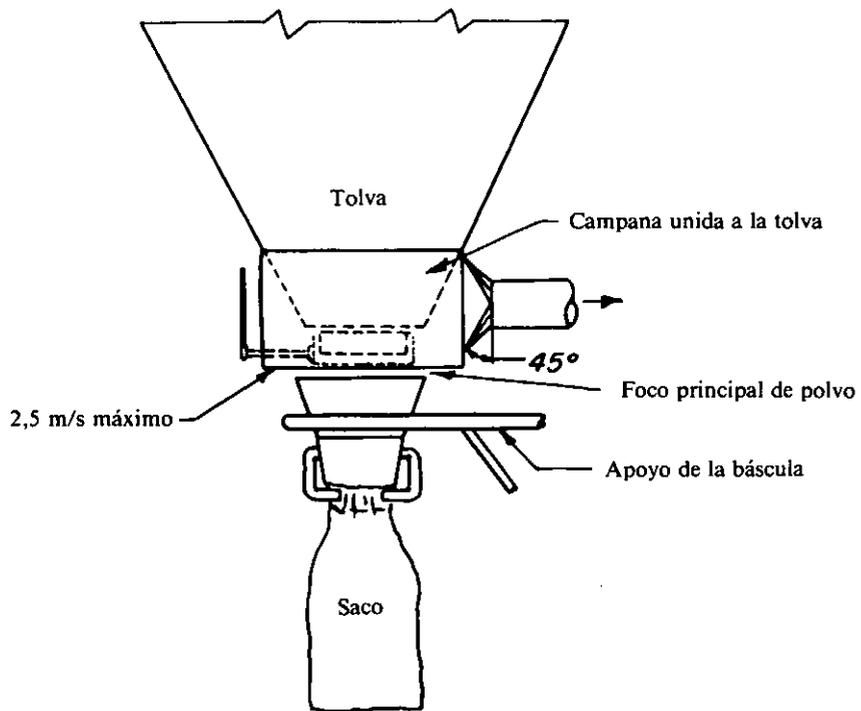
PUNTO DE TOMA DE MUESTRAS

Referencia 129

FECHA

1-80

VS-211



$Q = 0,19 - 0,24 \text{ m}^3/\text{s}$ - polvo no tóxico
 $0,47 - 0,70 \text{ m}^3/\text{s}$ - polvo tóxico
Velocidad en conducto = 18 m/s mínimo
Pérdida en la entrada = 0,25 PD

MANUTENCIÓN
DE MATERIALES

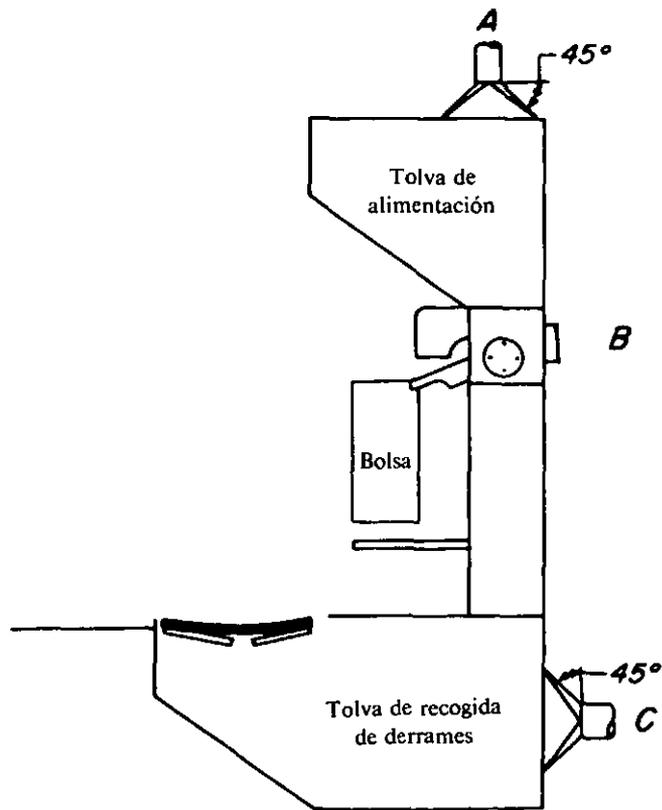
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

LLENADO DE SACOS

FECHA

1-64

VS-301



$Q = 0,24 \text{ m}^3/\text{s}$ en cada estación de llenado
 $= 0,24 \text{ m}^3/\text{s}$ en la tolva de alimentación
 $= 0,45 \text{ m}^3/\text{s}$ en la tolva de derrames
 Velocidad en conducto = 18 m/s mínimo
 Pérdida en la entrada = 0,25 PD en conexiones A y C
 $= 1,00 \text{ PD}$ en la conexión B

MANUTENCIÓN
DE MATERIALES

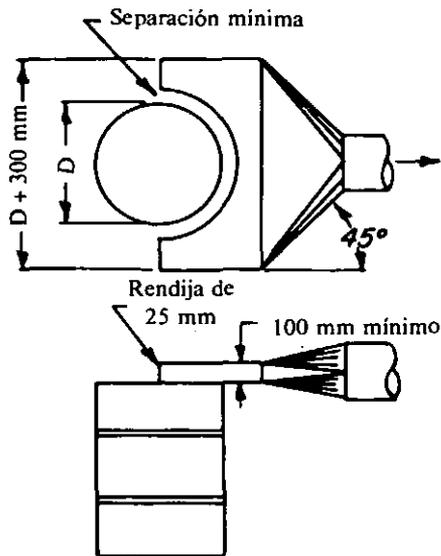
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

LLENADORA DE BOLSAS

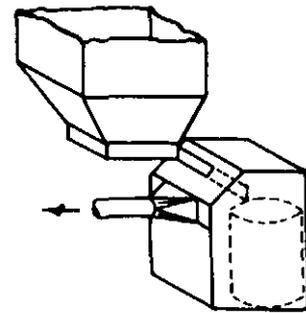
FECHA

1-64

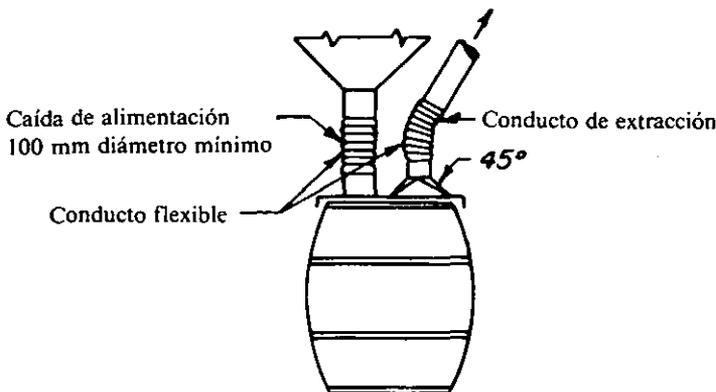
VS-302



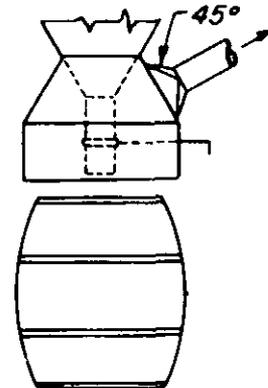
$Q = 0,51 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie del bidón como mínimo
 Velocidad en conducto = 18 m/s mínimo
 Pérdida en la entrada = $0,25 \text{ PD}_{\text{conducto}} + 1,78 \text{ PD}_{\text{rendija}}$
 Carga manual



$Q = 0,76 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie frontal abierta
 Velocidad en conducto = 18 m/s mínimo
 Pérdida en la entrada = $0,25 \text{ PD}$ con pieza de unión de 45°



$Q = 0,08 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ diámetro del bidón para polvo pesado
 $= 0,23 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ diámetro del bidón para polvo ligero
 Velocidad en conducto = 18 m/s mínimo
 Pérdida en la entrada = $0,25 \text{ PD}$



$Q = 0,14 - 0,19 \text{ m}^3/\text{s}$
 Velocidad en conducto = 18 m/s mínimo
 Pérdida en la entrada = $0,25 \text{ PD}$

MANUTENCIÓN
 DE MATERIALES

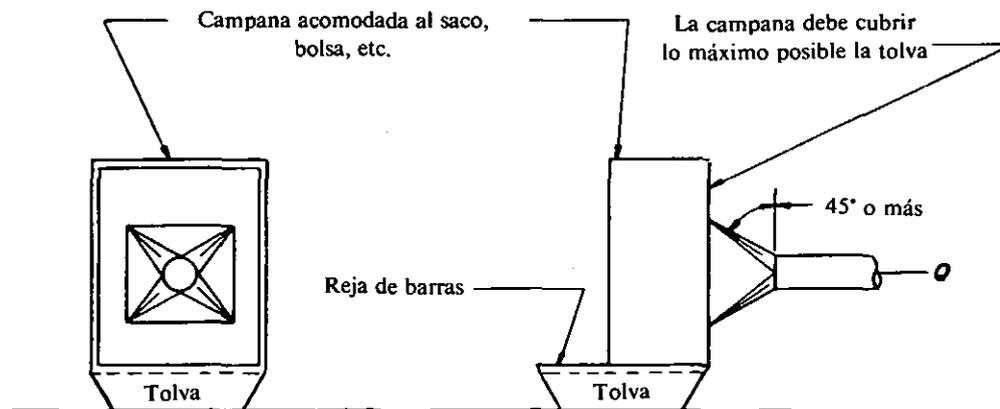
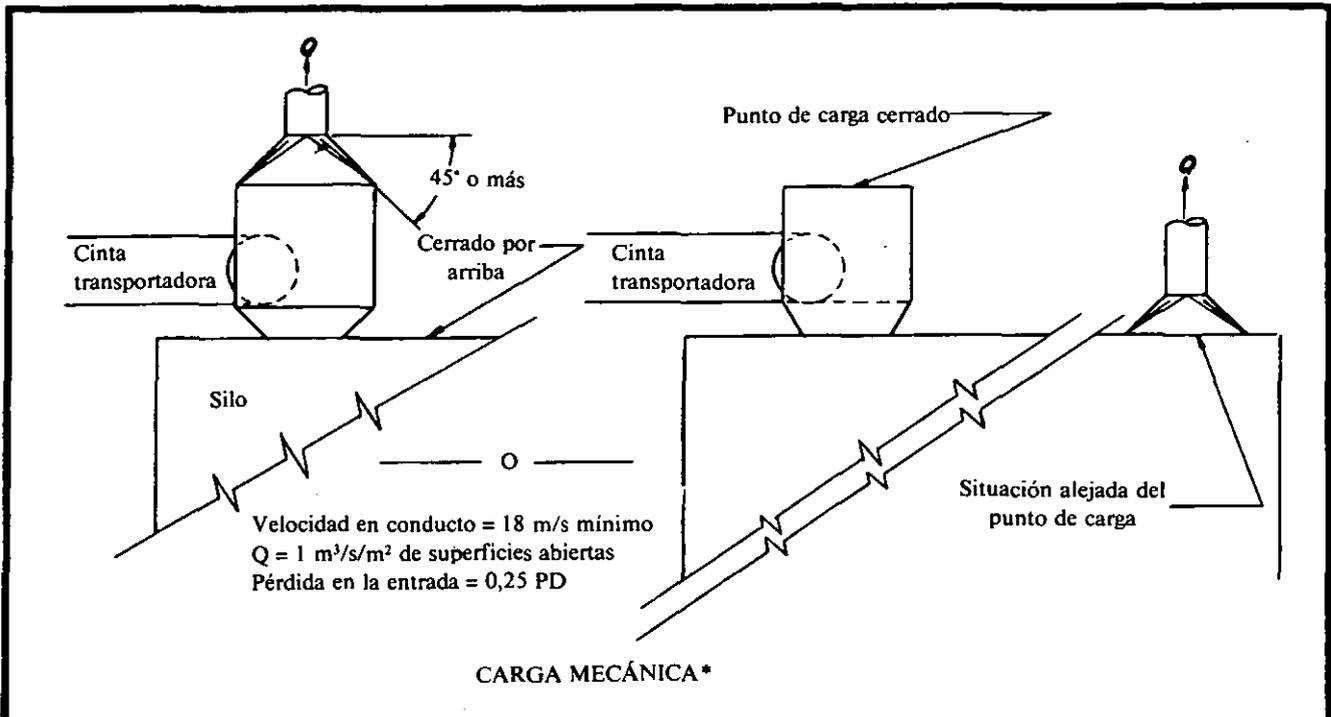
AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

LLENADO DE BIDONES

FECHA

1-64

VS-303



Velocidad en conducto = 18 m/s
 $Q = 0,76 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de frontal
 Pérdida en la entrada = 0,25 PD

CARGA MANUAL

* VELOCIDAD DE LA CINTA	CAUDAL
menos de 1 m/s	0,54 m ³ /s/m de anchura de la cinta no menos de 0,23 m ³ /s/m de abertura
más de 1 m/s	0,77 m ³ /s/m de anchura de la cinta no menos de 0,31 m ³ /s/m de abertura

AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

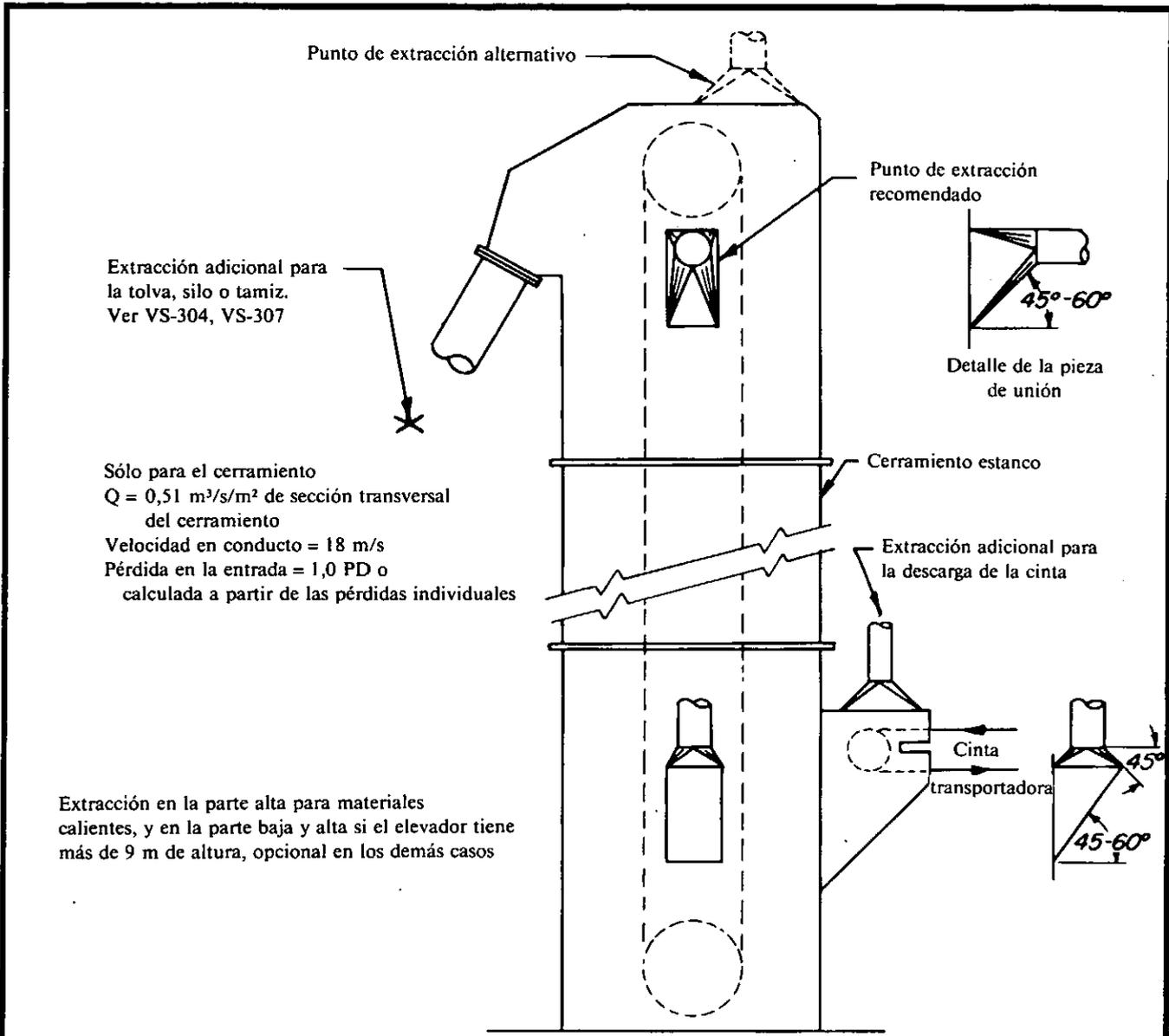
EXTRACCIÓN EN SILOS Y TOLVAS

MANUTENCIÓN DE MATERIALES

FECHA

1-72

VS-304



Extracción adicional para la tolva, silo o tamiz. Ver VS-304, VS-307

Sólo para el cerramiento
 $Q = 0,51 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de sección transversal del cerramiento
 Velocidad en conducto = 18 m/s
 Pérdida en la entrada = 1,0 PD o calculada a partir de las pérdidas individuales

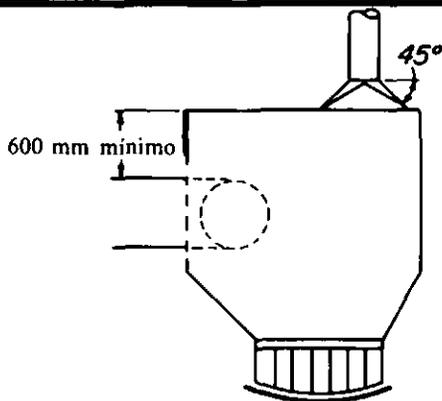
Extracción en la parte alta para materiales calientes, y en la parte baja y alta si el elevador tiene más de 9 m de altura, opcional en los demás casos

VELOCIDAD DE LA CINTA
 menos de 1 m/s —————
 más de 1 m/s —————

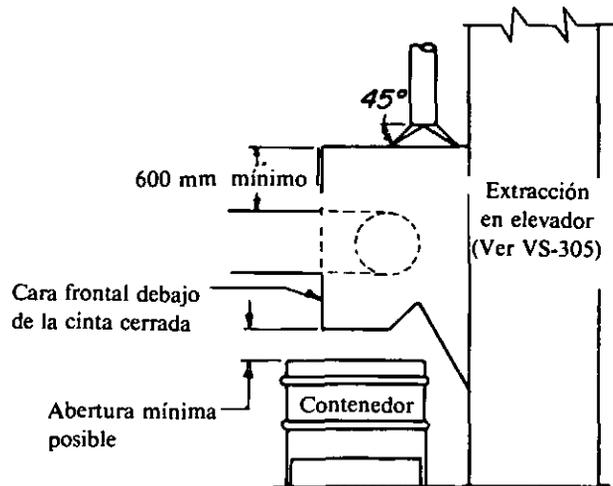
CAUDAL
 0,54 m³/s/m de ancho de cinta. No menos de 0,23 m³/s/m de abertura
 0,77 m³/s/m de ancho de cinta. No menos de 0,31 m³/s/m de abertura

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS	
<i>EXTRACCIÓN PARA ELEVADOR DE CANGILONES</i>	
FECHA	1-66 VS-305

MANUTENCIÓN
DE MATERIALES



1. Transferencia entre cintas con menos de 1 m de caída. Poda caídas mayores instalar una extracción adicional en la cinta inferior. Ver n.º 3 abajo.



2. Transferencia de cinta a elevador con separador magnético.

DATOS PARA DISEÑO

Puntos de transferencia:

Cerramientos para lograr una velocidad de aire entre 0,76 y 1 m/s en todas las aberturas

Caudal mínimo = 0,54 m³/s/m de anchura de la cinta para velocidades de cinta inferiores a 1 m/s
 = 0,77 m³/s/m de anchura de la cinta para velocidades de cinta superiores a 1 m/s y para separadores magnéticos

Velocidad en conducto = 18 m/s mínimo

Pérdida en la entrada = 0,25 PD

Cintas transportadoras:

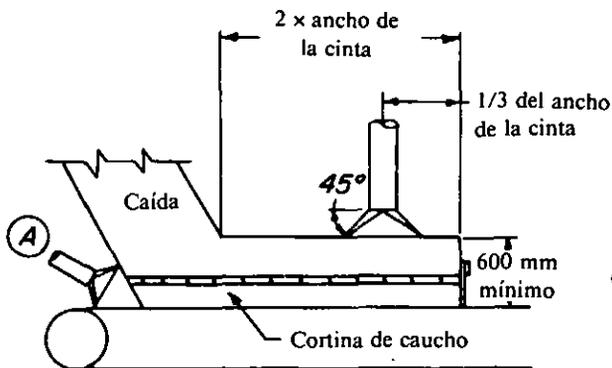
Cubrir la cinta entre los puntos de transferencia

Extracción en los puntos de transferencia

Extracción adicional de 0,54 m³/s/m de anchura de cinta con separación de 9 metros. Utilizar piezas de unión de 45°

Pérdida en la entrada = 0,25 PD

Nota: Los materiales secos o muy pulvigenos pueden precisar caudales de extracción entre 1,5 y 2 veces los indicados.



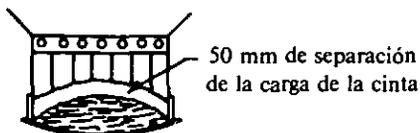
3. Transferencia entre transportadores de más de 1 m de caída.

Extracción adicional en A para materiales pulverulentos con los caudales:

Ancho de la cinta de

300 a 900 mm, Q = 0,33 m³/s

más de 900 mm, Q = 0,47 m³/s



Detalle de la abertura de la cinta

MANUTENCIÓN
DE MATERIALES

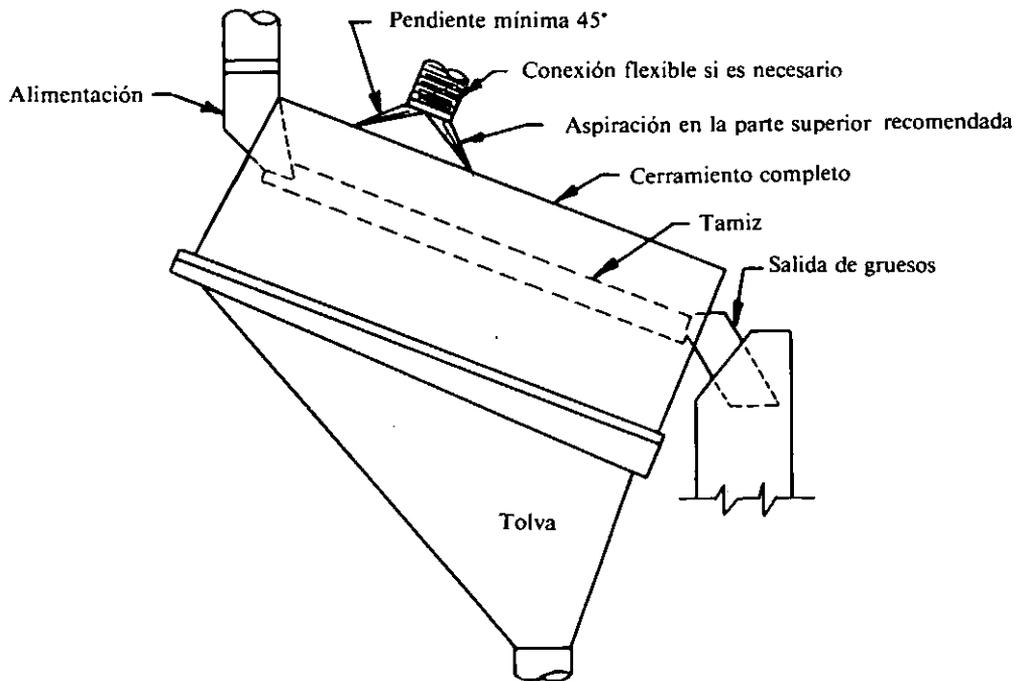
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

EXTRACCIÓN EN CINTA
TRANSPORTADORA

FECHA

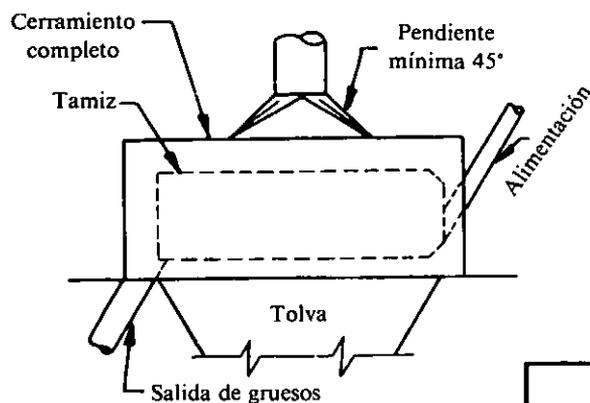
1-72

VS-306



TAMIZ DE MALLA PLANA

$Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de aberturas, pero no menos de $0,25 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie del tamiz. No es preciso incrementar para tamices múltiples
 Velocidad en conducto = 18 m/s
 Pérdida en la entrada = 0,50 PD



TAMIZ CILÍNDRICO

$Q = 0,51 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de sección circular del tamiz, por lo menos $2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de aberturas en el cerramiento
 Velocidad en conducto = 18 m/s
 Pérdida en la entrada = 0,50 PD

MANUTENCIÓN DE MATERIALES

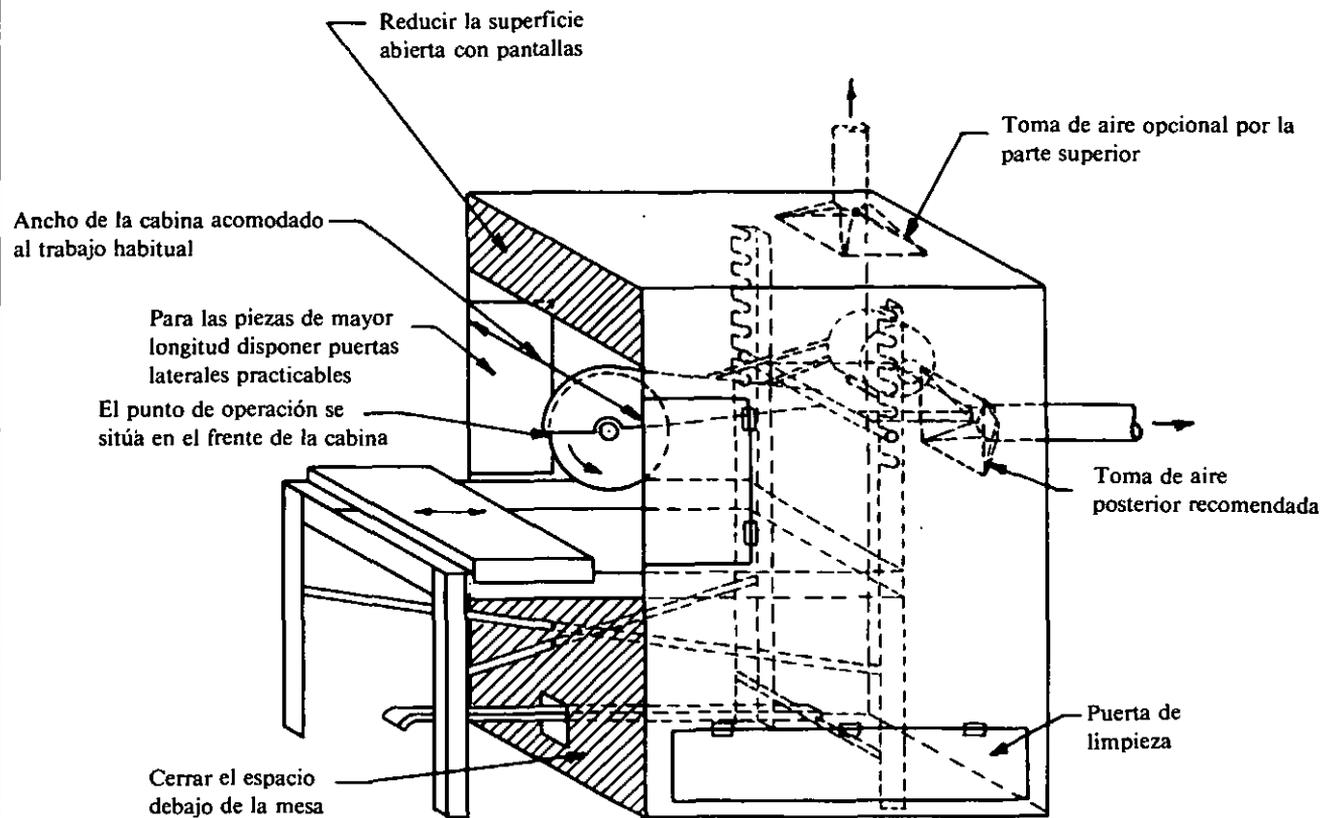
AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

TAMICES

FECHA

1-64

VS-307



$Q = 1,27 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie abierta frontal
 Velocidad en conducto = 18 m/s
 Pérdida en la entrada = 0,50 PD sin pieza de transición
 0,25 PD con pieza de transición

TRABAJO DE METALES

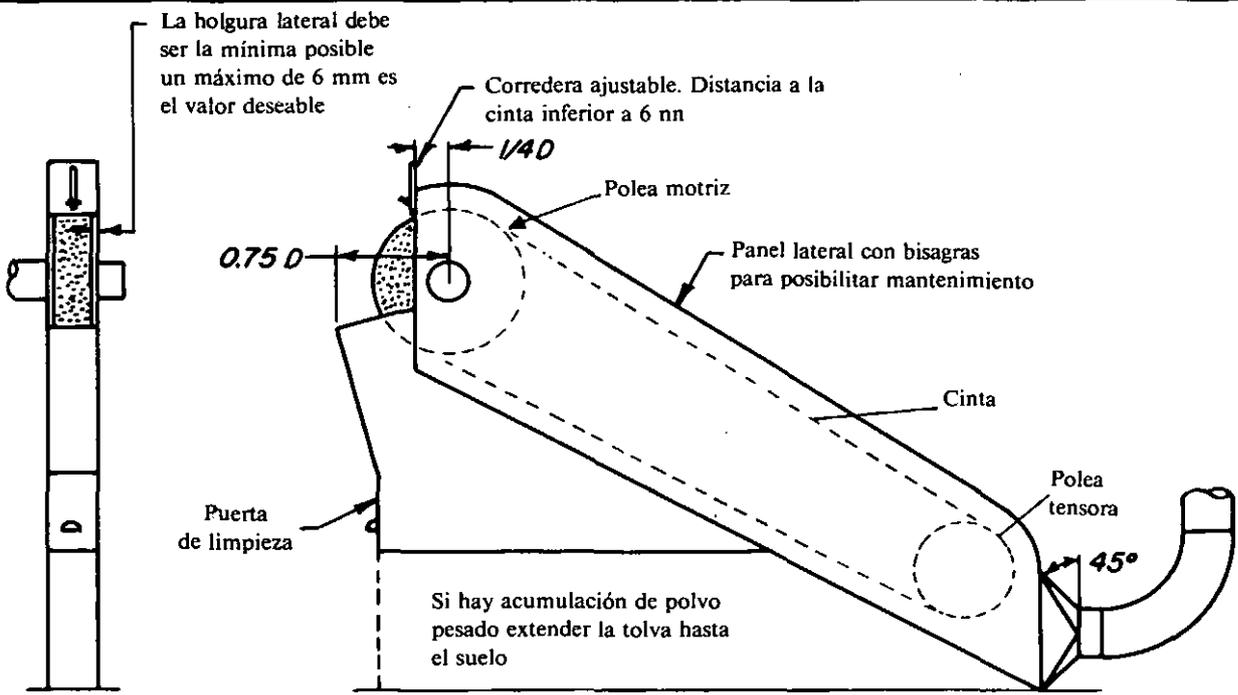
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

EXTRACCIÓN PARA TRONZADORA
DE DISCO

FECHA

1-78

VS-401



Anchura de la cinta mm	Caudal de extracción m³/s	Caudal de extracción m³/s
	Buen cerramiento*	Cerramiento escaso
40	0,10	0,14
50	0,18	0,29
75	0,24	0,35
100	0,29	0,41
125	0,41	0,57
150	0,57	0,74

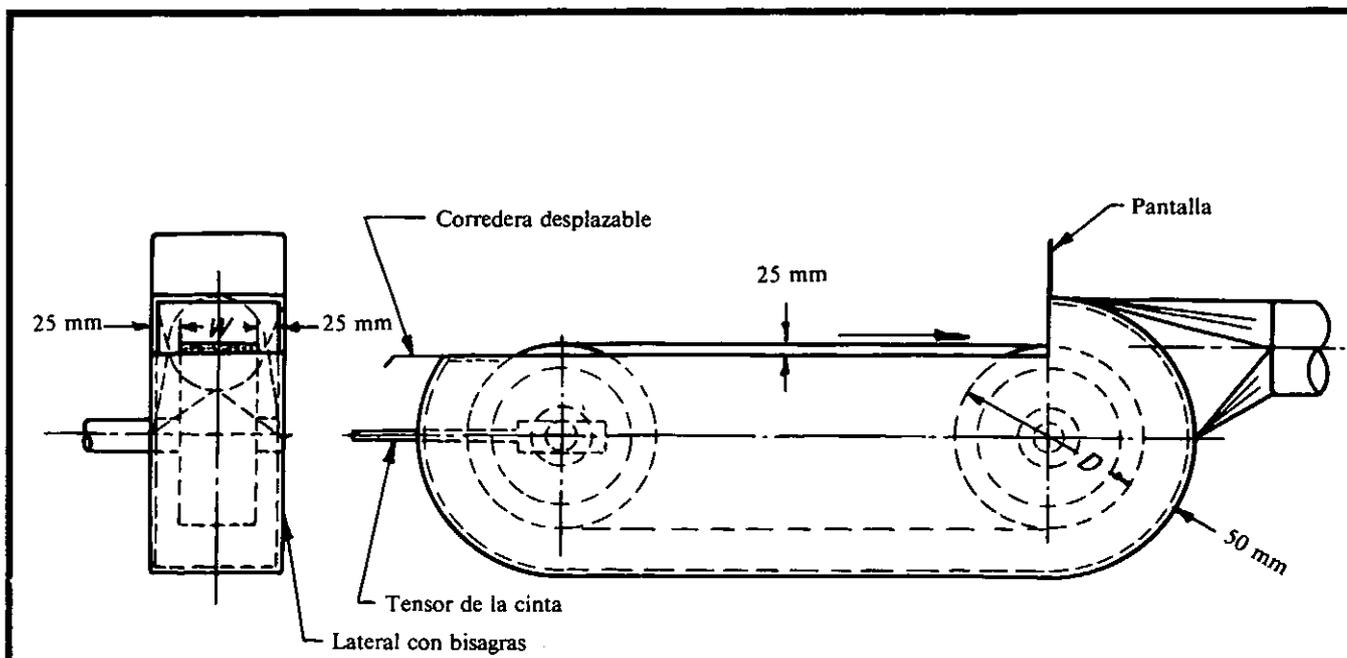
* Campana como la indicada. No más del 25% de la polea expuesta.

Pérdida en la entrada = 0,40 PD
 Velocidad en conducto = 18 m/s mínimo

Nota: Para titanio y magnesio suprimir la tolva y utilizar el caudal necesario para obtener una velocidad de 25 m/s en la sección recta del cerramiento.

TRABAJO DE METALES

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS	
<i>MÁQUINA DE PULIR CON POLEA TENSORA EN EL PIE</i>	
FECHA	1-74 VS-402



Ancho de la cinta, mm	Caudal de extracción, m ³ /s
Hasta 75	0,10
75 a 125	0,14
125 a 180	0,18
180 a 230	0,24
230 a 280	0,29
280 a 330	0,35

Velocidad mínima en conducto = 18 m/s

Pérdida en la entrada = 0,65 PD para unión sin pieza de transición

0,45 PD para unión con pieza de transición

TRABAJO DE METALES

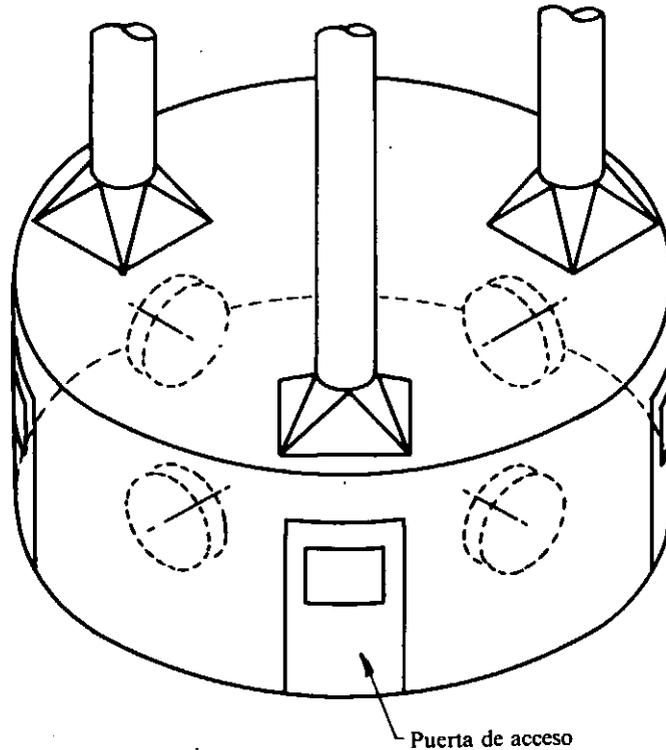
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

PULIDORA DE CINTA

FIGURA

1-82

VS-403



$Q = 0,24 \text{ m}^3/\text{s}/\text{rueda}$, mínimo

No menos de $1,27 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ del total de superficie abierta

Velocidad en conducto = 18 m/s mínimo

Pérdida en la entrada = $1,78 PD_{\text{rendijas}} + 0,25 PD_{\text{conducto}}$

Utilizar amperímetros para controlar la presión de las ruedas

En las máquinas pequeñas, 2 ó 3 ejes, se puede utilizar una sola toma de aire. Es conveniente la instalación de varias tomas de aire. Instalar rociadores automáticos u otro sistema de protección contra incendios. Consultar las normas contra incendios

TRABAJO DE METALES

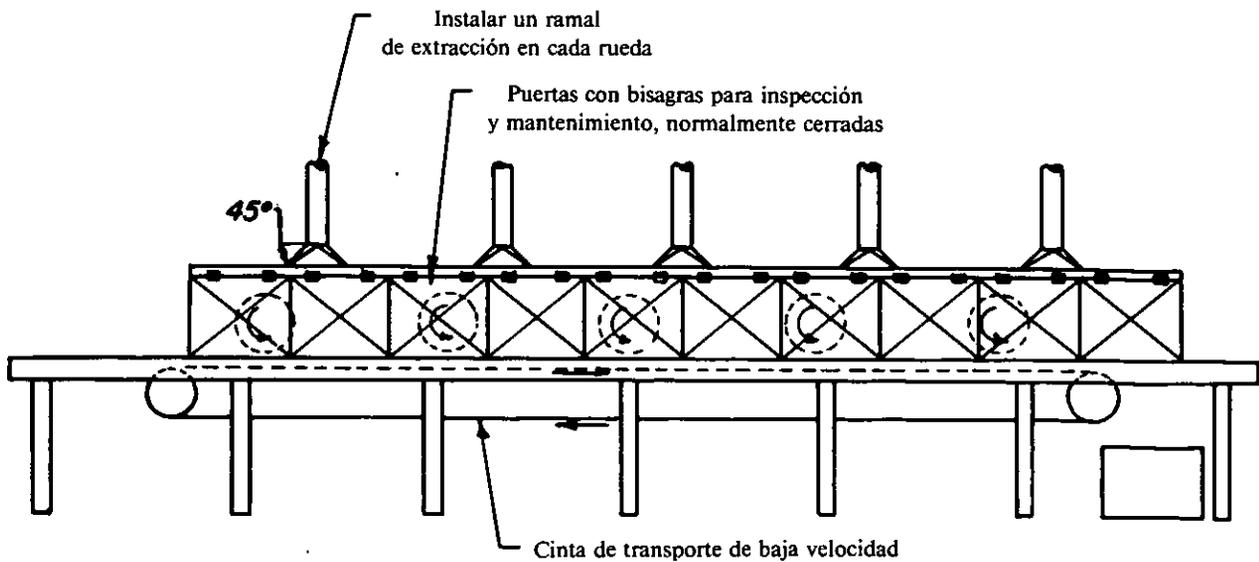
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

PULIDO CIRCULAR AUTOMÁTICO

FECHA

1-64

VS-404



$Q = 0,24 \text{ m}^3/\text{s}/\text{rueda}$, mínimo

No menos de $1,27 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ del total de superficie abierta

Velocidad en conducto = 23 m/s mínimo

Pérdida en la entrada = $1,78 PD_{\text{rendija}} + 0,25 PD_{\text{conducto}}$

Utilizar amperímetros para controlar la presión de las ruedas

Ajustes de las ruedas situadas en la parte posterior por el exterior del cerramiento

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

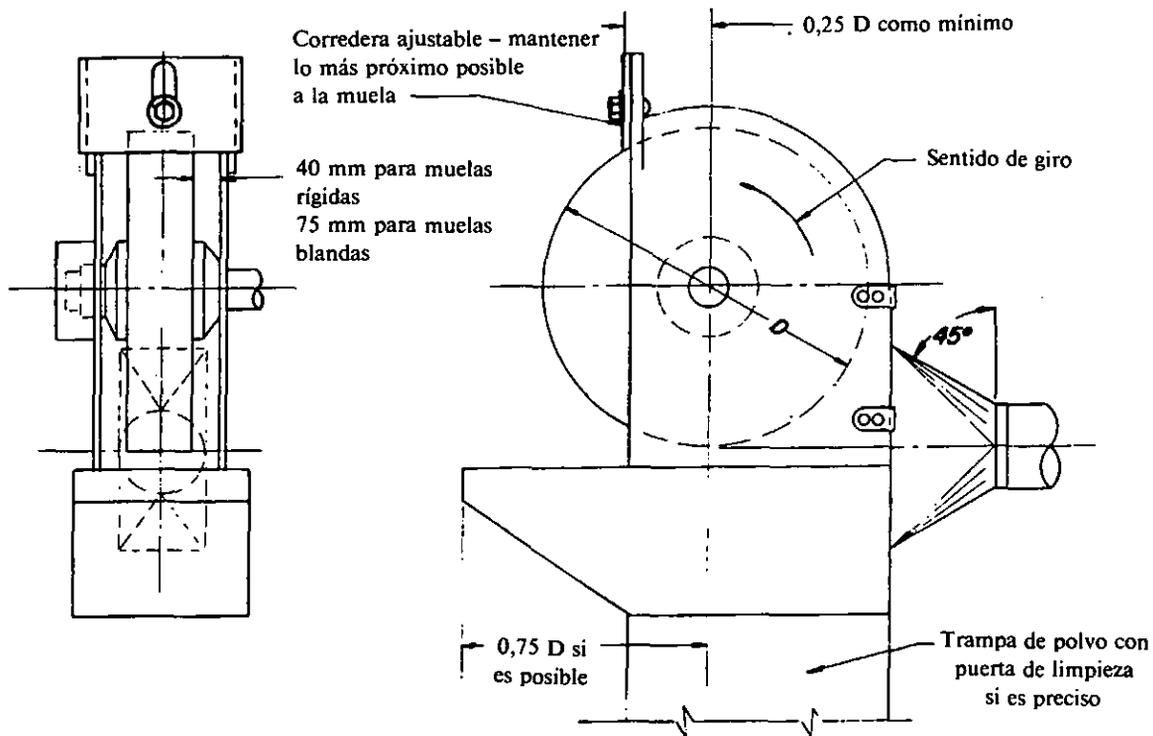
PULIDO LINEAL AUTOMÁTICO

TRABAJO DE METALES

FECHA

1-68

VS-405



Velocidad mínima en conducto = 18 m/s

Pérdida en la entrada = 0,65 PD para unión sin pieza de transición
 0,40 PD para unión con pieza de transición

Diám. de la muela mm	Ancho de la muela* mm	Caudal de extracción m³/s	
		Buen cerramiento	Cerramiento escaso
hasta 230	50	0,14	0,19
más de 230 hasta 405	75	0,24	0,29
más de 405 hasta 480	100	0,29	0,35
más de 480 hasta 610	125	0,35	0,57
más de 610 hasta 760	150	0,50	0,71
más de 760 hasta 915	150	0,57	0,94

* Si la muela es muy ancha utilizar su anchura para determinar el caudal de extracción.

TRABAJO DE METALES

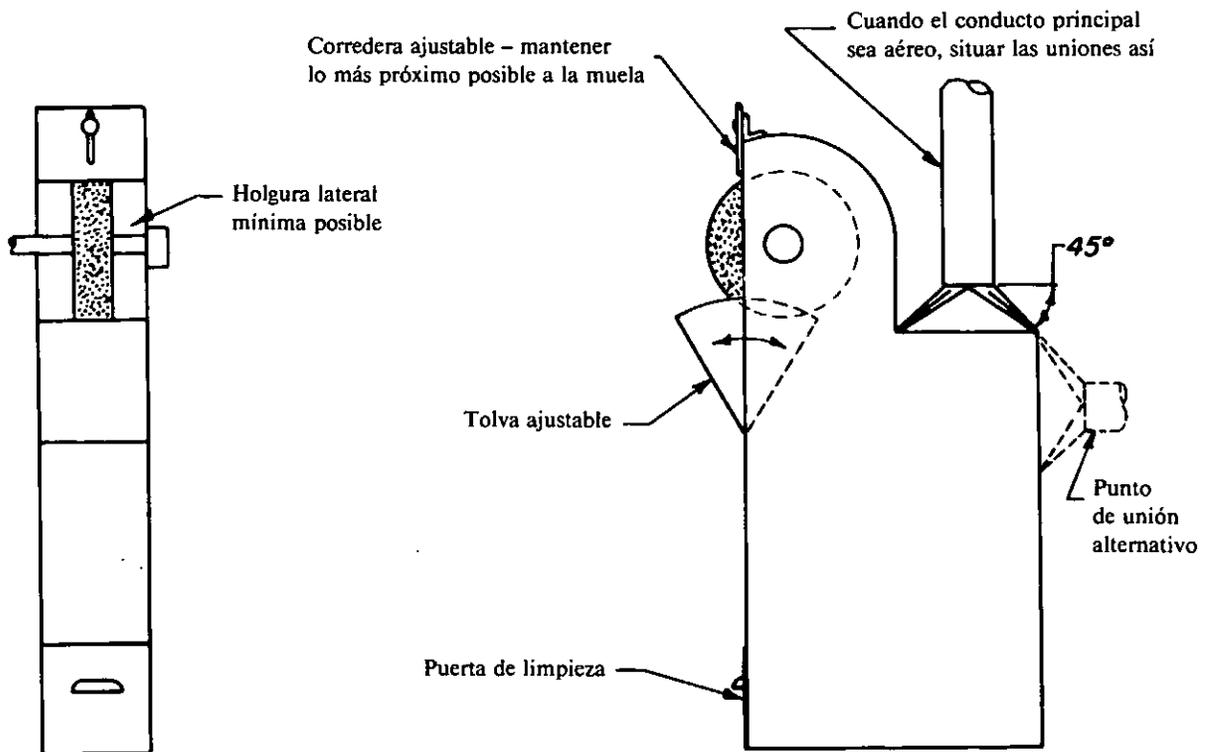
AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

PULIDO Y ABRILLANTADO

FECHA

1-82

VS-406



<i>Diám. de la muela mm</i>	<i>Ancho de la muela mm</i>	<i>Caudal de extracción m³/s</i>
hasta 230	50	0,19
más de 230 hasta 405	75	0,29
más de 405 hasta 480	100	0,35
más de 480 hasta 610	125	0,57
más de 610 hasta 760	150	0,71
más de 760 hasta 915	150	0,90

NOTA: Para muelas más anchas que las indicadas, incrementar el caudal proporcionalmente a la anchura.

Velocidad en conducto = 23 m/s mínimo.

Pérdida en la entrada = 0,40 PD

TRABAJO DE METALES

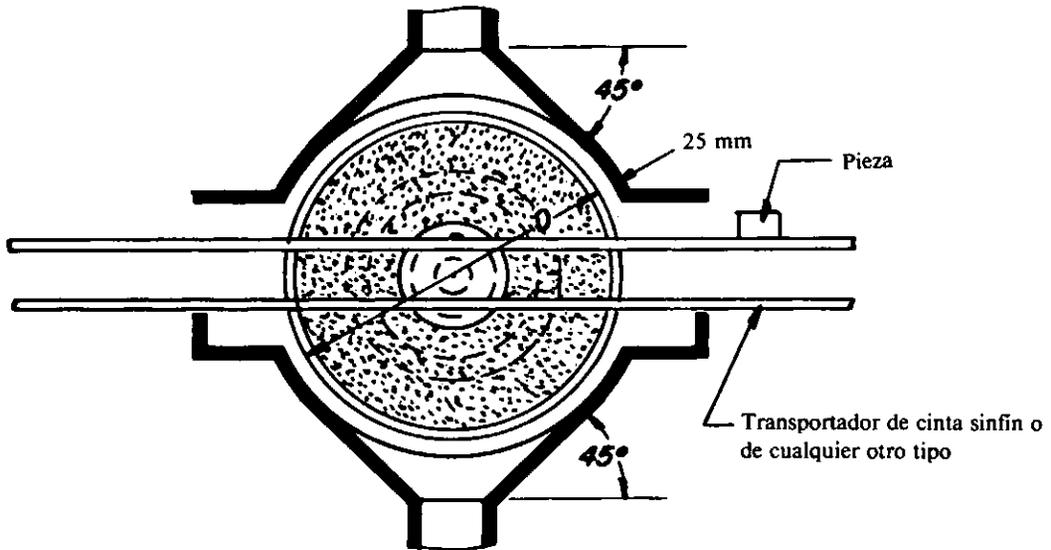
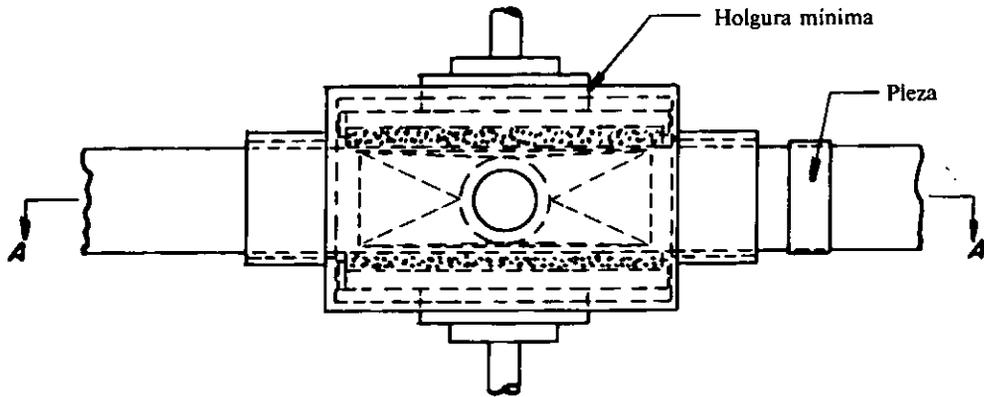
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

PULIDORA DE PEDESTAL

FECHA

1-74

VS-407



Vista A-A

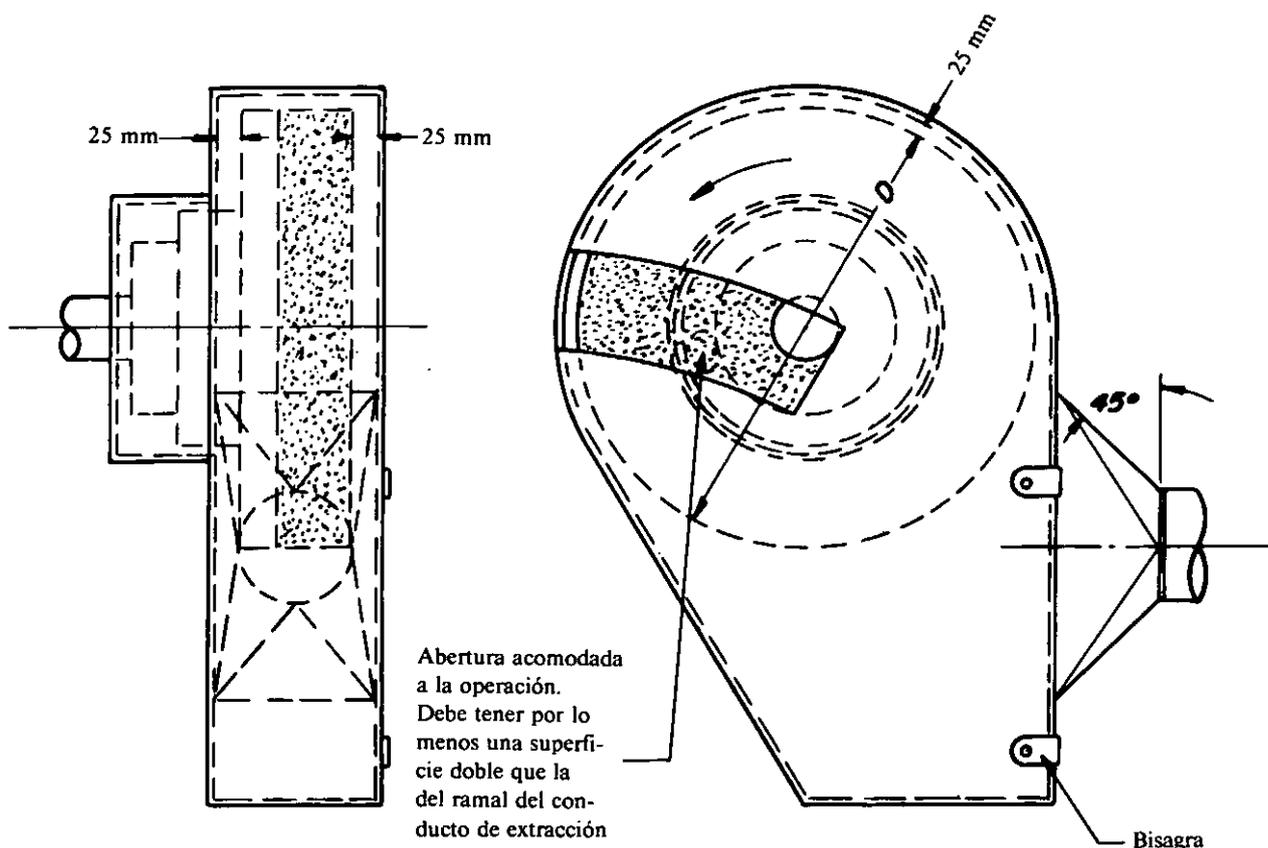
Diámetro del disco mm	Caudal de extracción m ³ /s
hasta 480	0,29
más de 480 hasta 635	0,42
más de 635 hasta 760	0,57
más de 760 hasta 1.350	0,94
más de 1.350 hasta 1.800	2,96

NOTA: En la práctica es aceptable el cerramiento completo de los discos utilizando el propio cerramiento de la máquina y extraer el aire del interior.

Velocidad mínima en conducto =
 23 m/s para rectificadores gruesos
 18 m/s para rectificadores ligeros
 Pérdida en la entrada = 0,65 PD para unión sin
 pieza de transición
 = 0,45 PD para unión con pieza de transi-
 ción

TRABAJO DE METALES

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS	
AMOLADORA DE DISCO DOBLE DE EJE HORIZONTAL	
FECHA	1-82 VS-408



<i>Diámetro del disco, mm</i>	<i>Caudal de extracción, m³/s</i>
hasta 305	0,100
más de 305 hasta 480	0,19
más de 480 hasta 760	0,29
más de 760 hasta 915	0,42

Velocidad mínima en el conducto = 23 m/s para rectificadores gruesos,
18 m/s para rectificadores ligeros

Pérdida en la entrada

= 0,65 PD para unión sin pieza de transición

= 0,45 PD para unión con pieza de transición

NOTA: Si la mejor campana posible no constituye un buen cerramiento, incrementar el caudal de extracción proporcionalmente

TRABAJO DE METALES

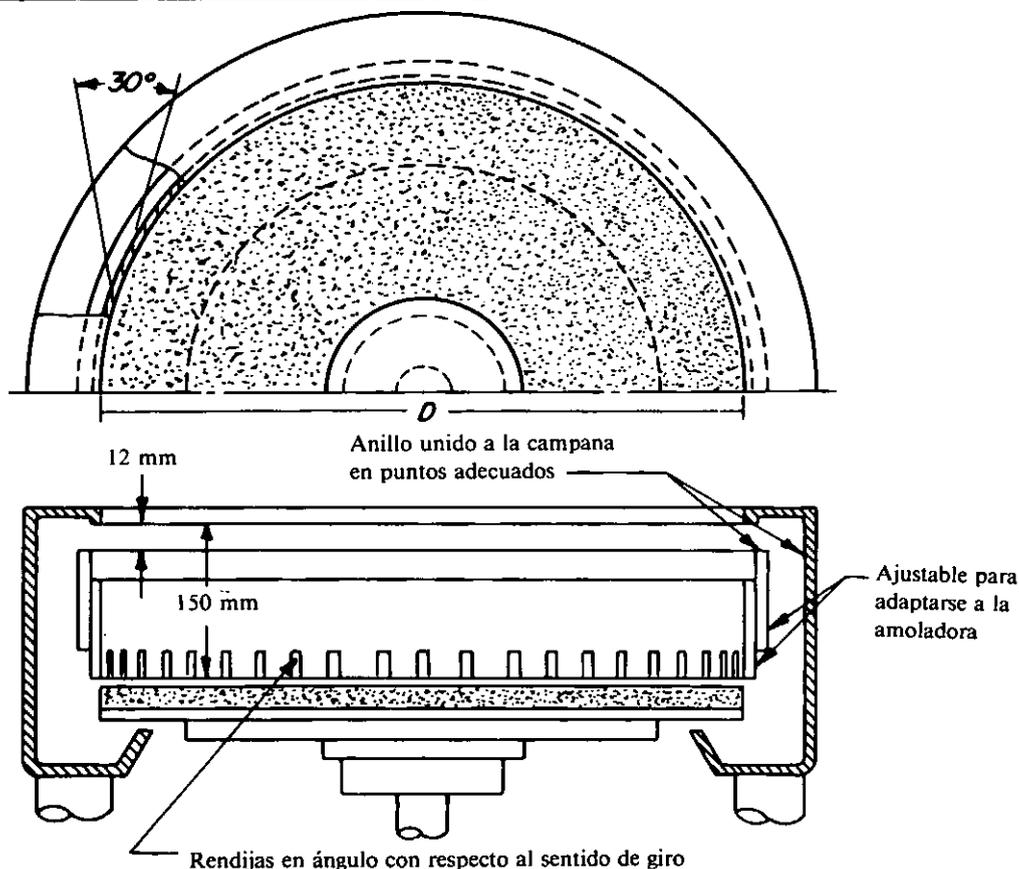
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

AMOLADORA DE DISCO
DE EJE HORIZONTAL

FECHA

1-82

VS-409



Diámetro del disco mm	50 % o más de disco cubierto		Disco descubierto	
	N.º *	Caudal m³/s	N.º *	Caudal m³/s
hasta 500	1	0,24	2	0,37
más de 500 hasta 760	2	0,37	2	0,70
más de 760 hasta 1.350	2	0,83	4	1,66
más de 1.350 hasta 1.830	2	1,48	5	2,83

* Número de tomas de aire en el perímetro de la campana; salvo que se prevea una distribución del caudal por otros medios.

Velocidad en rendija = 10 m/s

Velocidad mínima en conducto =

23 m/s para rectificadores gruesos

18 m/s para rectificadores ligeros

Pérdida en la entrada = $1,0 PD_{rendija} + 0,5 PD_{conducto}$

TRABAJO DE METALES

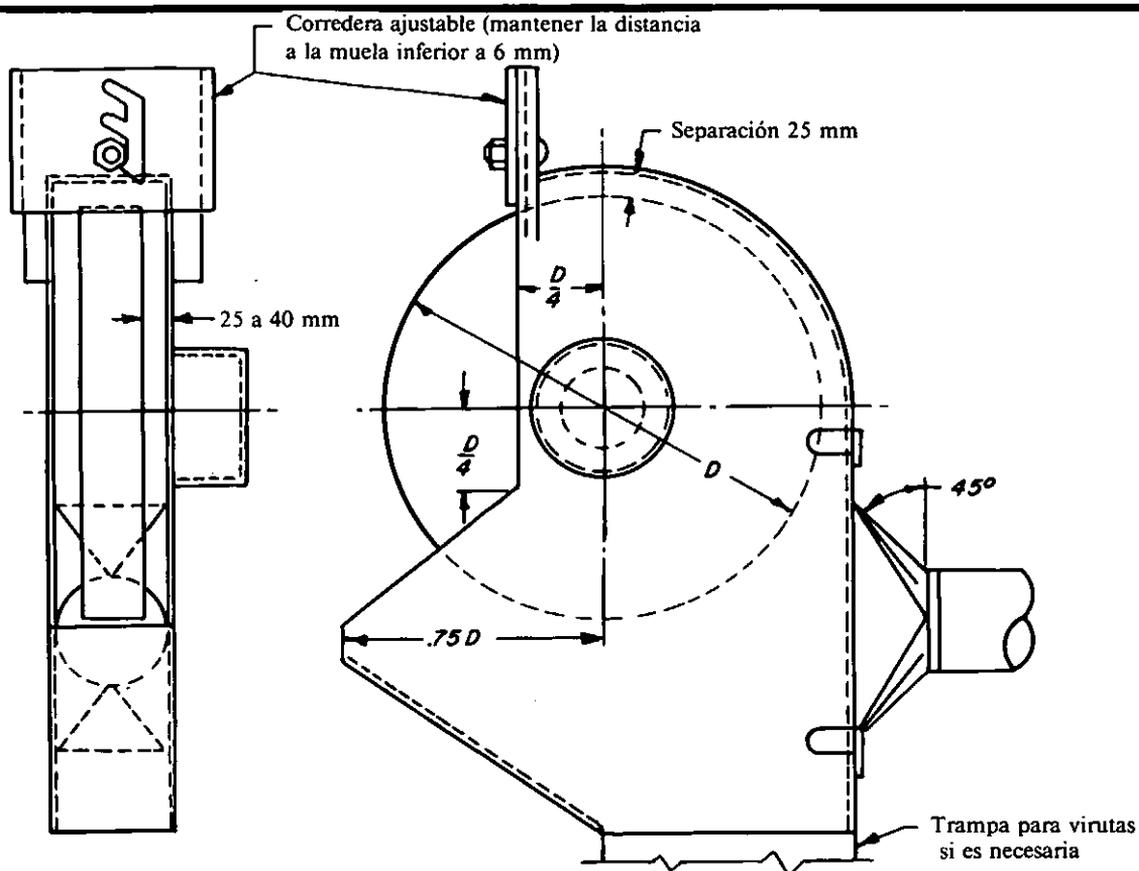
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

AMOLADORA DE DISCO
DE EJE VERTICAL

FECHA

1-82

VS-410



Diámetro de la muela mm	Ancho muela mm	Caudal de extracción m ³ /s	
		Buen cerramiento *	Cerramiento escaso
hasta 125	25	0,10	0,10
más de 125 hasta 250	40	0,10	0,14
más de 250 hasta 355	50	0,14	0,24
más de 355 hasta 405	50	0,18	0,29
más de 405 hasta 510	75	0,24	0,35
más de 510 hasta 610	100	0,29	0,41
más de 610 hasta 760	125	0,41	0,57
más de 760 hasta 915	150	0,57	0,74

* No más del 25 % de muela descubierta.

Velocidad mínima en conducto =

23 m/s para rebarbados gruesos

18 m/s para rebarbados ligeros.

Pérdida en la entrada =

0,65 PD para unión sin pieza de transición

0,40 PD para unión con pieza de transición.

TRABAJO DE METALES

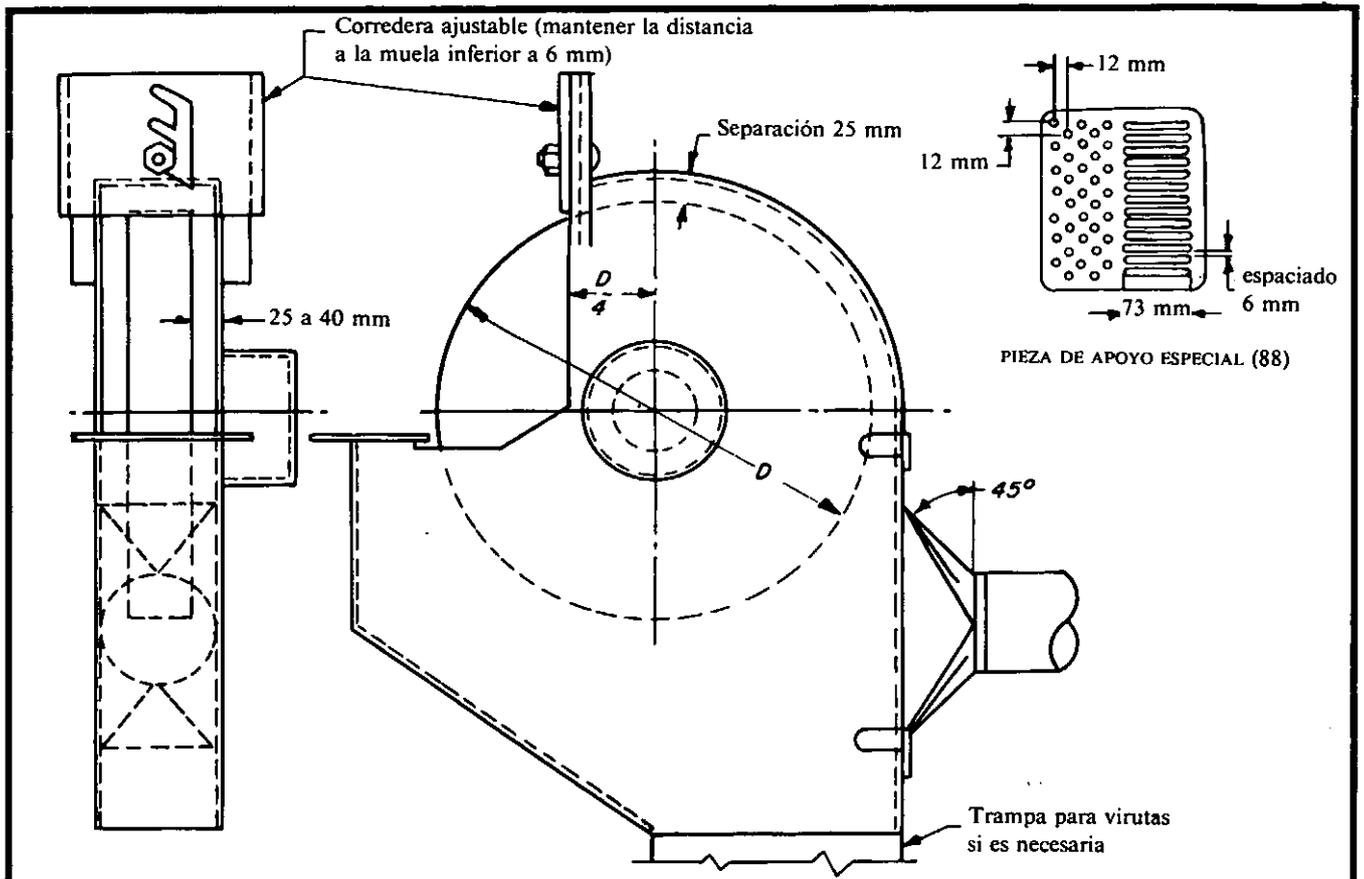
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

CAMPANA PARA AMOLADORA
VELOCIDAD PERIFÉRICA INFERIOR A 33 m/s

FECHA

1-82

VS-411



Diámetro de la muela mm	Ancho muela mm	Caudal de extracción m ³ /s	
		Buen cerramiento *	Cerramiento escaso
hasta 125	25	0,10	0,18
más de 125 hasta 250	40	0,18	0,29
más de 250 hasta 355	50	0,24	0,35
más de 355 hasta 405	50	0,29	0,41
más de 405 hasta 510	75	0,35	0,49
más de 510 hasta 610	100	0,41	0,57
más de 610 hasta 760	125	0,57	0,74
más de 760 hasta 915	150	0,74	0,94

* Campana y pieza de apoyo como las indicadas.

Velocidad mínima en conducto =

23 m/s para rebardados gruesos

18 m/s para rebardados ligeros.

Pérdida en la entrada =

0,65 PD para unión sin pieza de transición

0,40 PD para unión con pieza de transición.

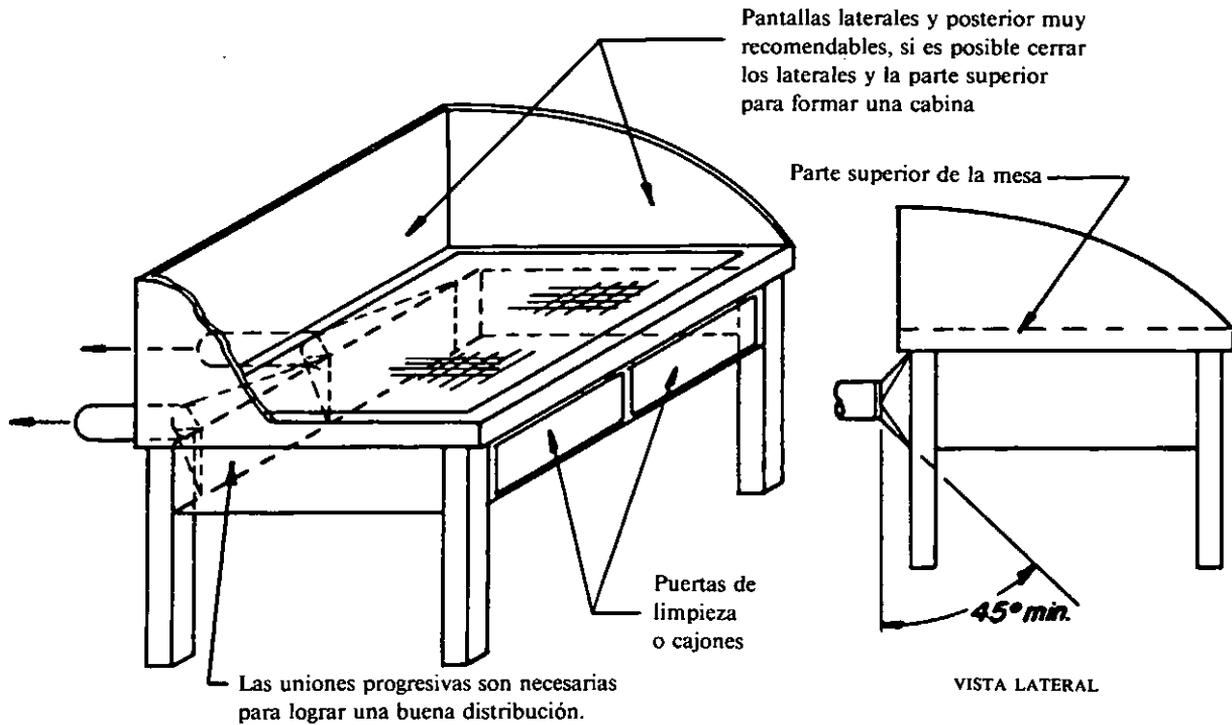
TRABAJO DE METALES

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

CAMPANA PARA AMOLADORA
VELOCIDAD PERIFÉRICA SUPERIOR A 33 m/s

FECHA 1-82

VS-411.1



$Q = 0,75-1,25 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie de mesa
 Velocidad mínima en conducto = 18 m/s
 Pérdida en la entrada = 0,25 PD para uniones progresivas

Amolado en cabina, velocidad necesaria en la abertura frontal 0,5 m/s
 Para rejillas en el suelo: $Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie de trabajo
 Tener en cuenta la distribución homogénea y la limpieza

TRABAJO DE METALES

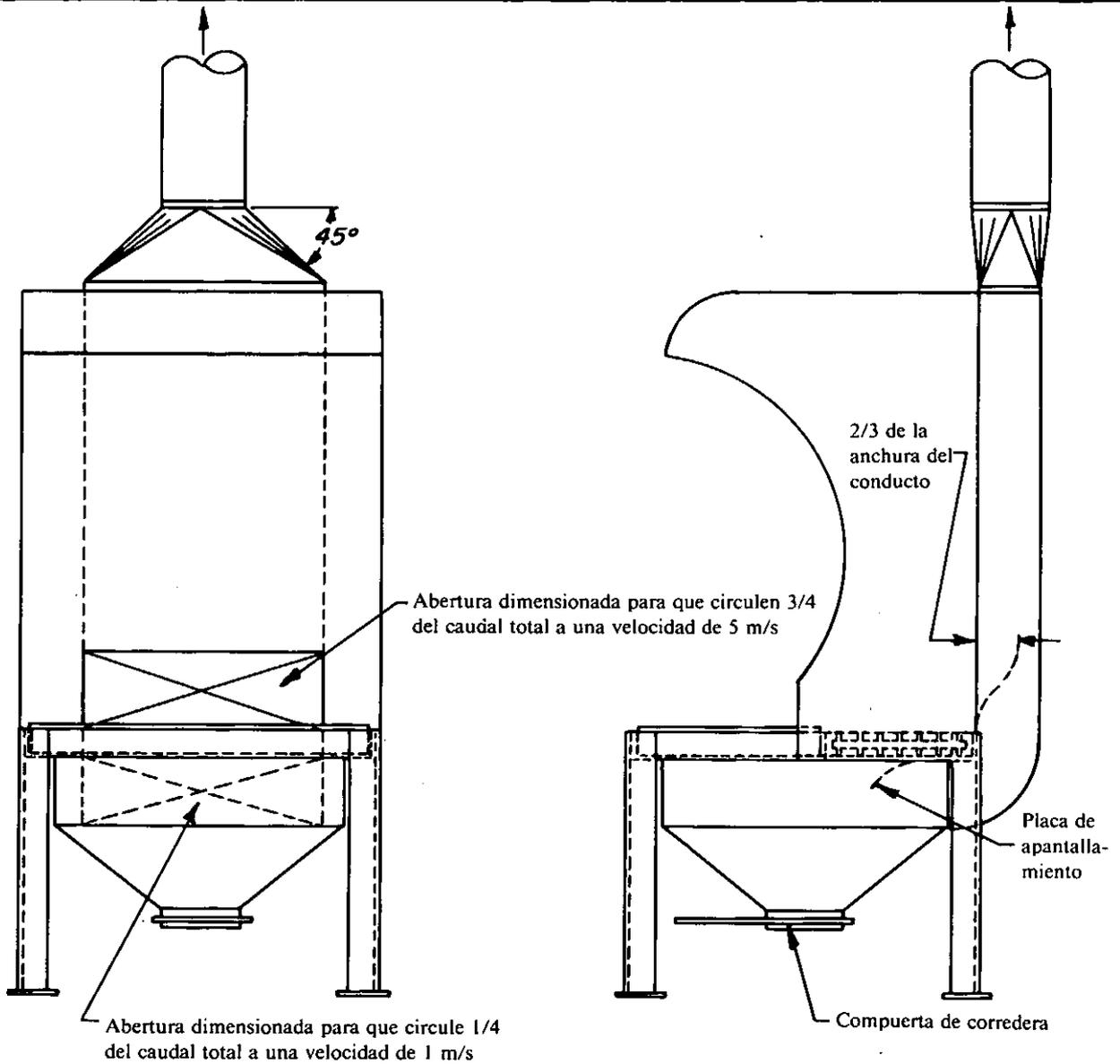
**AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

MESA DE AMOLADO MANUAL

FECHA

1-64

VS-412



$Q = 0,75 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie frontal de la cabina
 Velocidad en conducto = 18 m/s
 Pérdida en la entrada = 0,25 PD

TRABAJO DE METALES

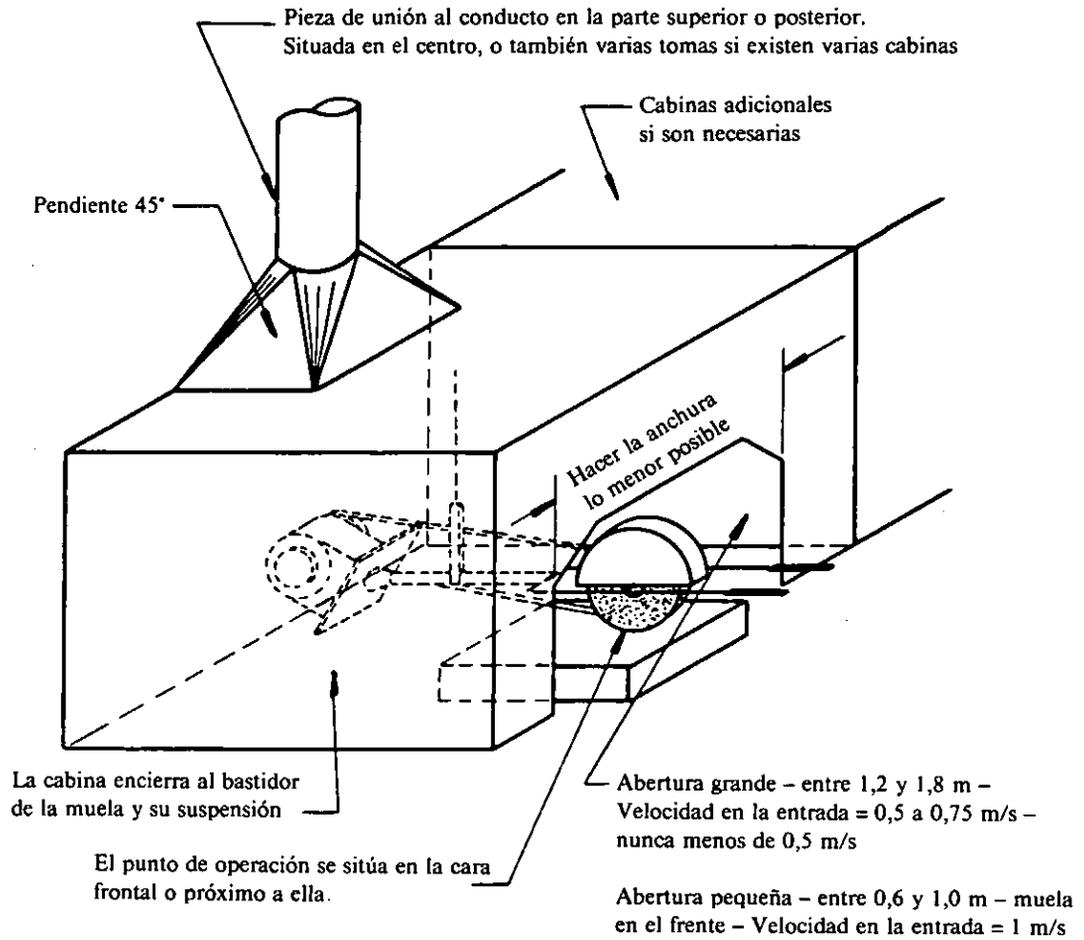
**AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

*MESA PARA CINCELADO Y AMOLADO
 MANUAL*

FECHA

1-66

VS-413



Velocidad mínima en conducto = 15 m/s
Pérdida en la entrada = 0,5 PD en el conducto

NOTA: Las pequeñas campanas de extracción montadas detrás de la muela pueden capturar el chorro de chispas, pero generalmente no son eficaces para captar el polvo fino

TRABAJO DE METALES

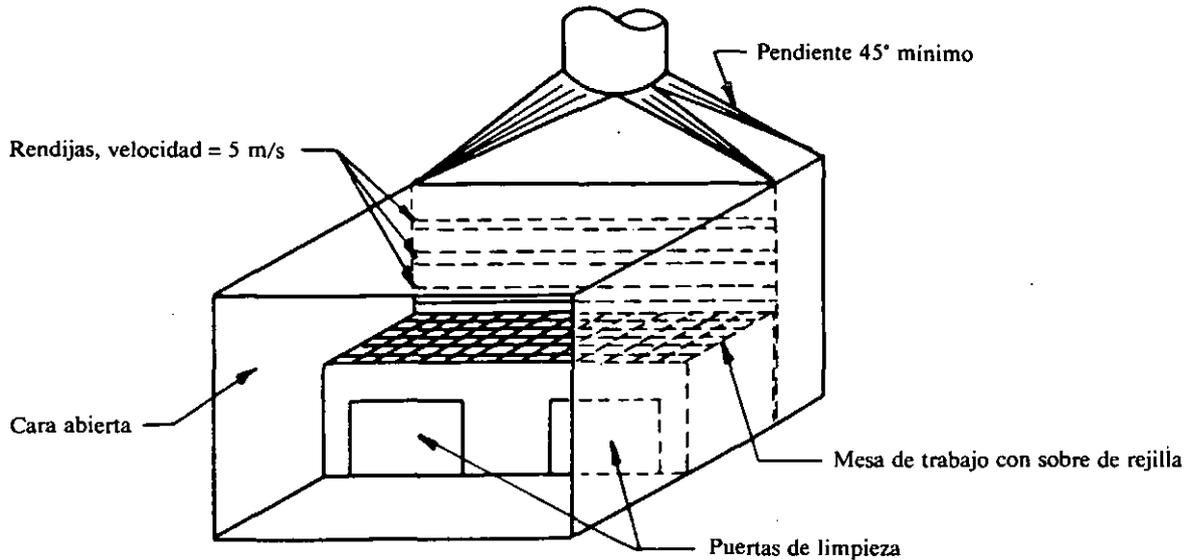
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

MUELA BASCULANTE

FECHA

1-78

VS-414

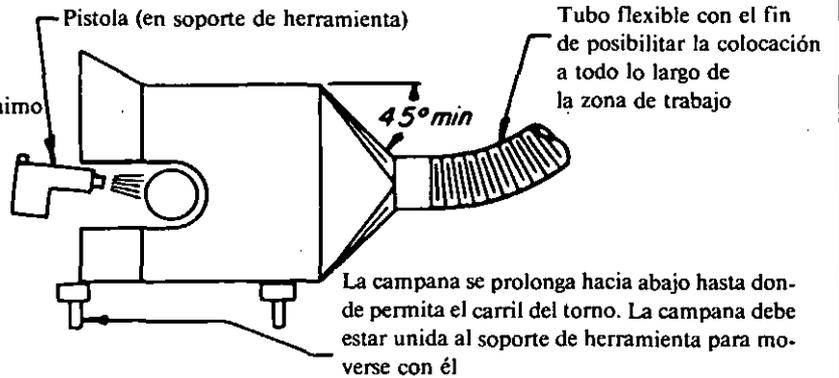
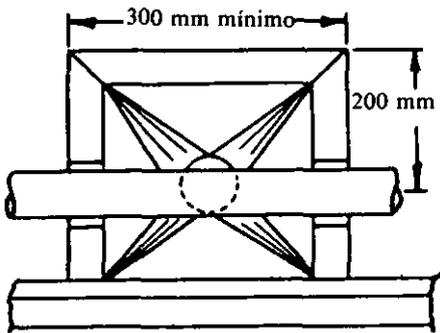


CABINA DE METALIZADO

No tóxico: $Q = 0,63 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie frontal

Tóxico: Utilizar equipo homologado de protección personal con suministro de aire
 $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie frontal

Velocidad en conducto = 15 m/s mínimo
 Pérdida en la entrada = $1,78 PD_{\text{rendija}} + 0,25 PD_{\text{conducto}}$
 Tornos pequeños, etc., se pueden instalar en la cabina



CAMPANA LOCALIZADA

NOTA: Las campanas localizadas no son adecuadas en la proyección de metales tóxicos

$Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie frontal
 Velocidad en conducto = 18 m/s mínimo
 Pérdida en la entrada = 0,25 PD

TRABAJO DE METALES

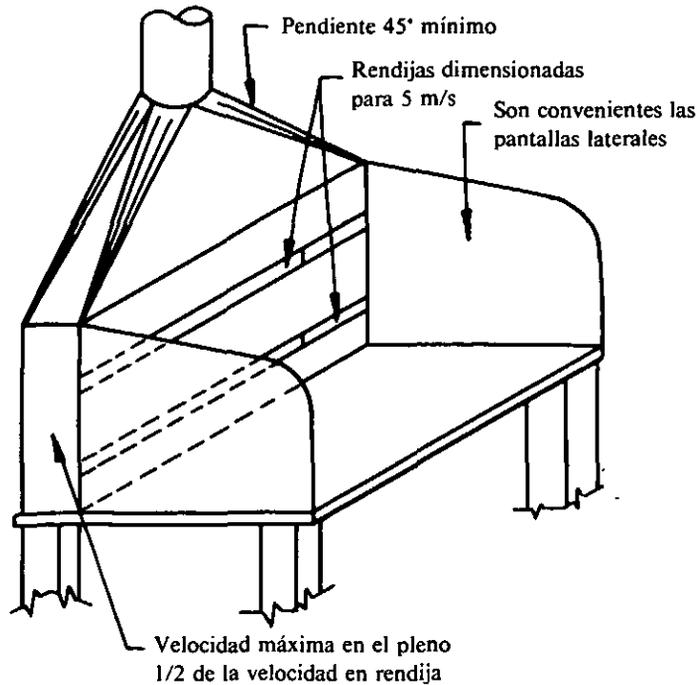
AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

METALIZADO POR PROYECCIÓN

FECHA

1-84

VS-415



$Q = 0,54 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ longitud de mesa
 Longitud de la campana = la necesaria de acuerdo con la operación
 Anchura de la mesa = 600 mm máximo
 Velocidad en conducto = 5-15 m/s
 Pérdida en la entrada = $1,78 PD_{\text{rendija}} + 0,25 PD_{\text{conducto}}$

VENTILACIÓN GENERAL, cuando no es posible la extracción localizada:

Electrodo, diám.	$\text{m}^3/\text{s}/\text{soldador}^*$
4 mm	0,47
5 mm	0,71
6 mm	1,65
10 mm	2,12

o bien

- A. En zonas despejadas, en las que los humos de soldadura pueden ascender alejándose de la zona respiratoria:
 Caudal $\text{m}^3/\text{s} = 0,83 \times \text{kg/h}$ de electrodo consumido
- B. En zonas confinadas o en posiciones, en las que los humos de soldadura no se alejan fácilmente de la zona respiratoria:
 Caudal $\text{m}^3/\text{s} = 1,66 \times \text{kg/h}$ de electrodo consumido

* Si los materiales son tóxicos se necesitarán caudales mayores y el trabajador puede precisar equipo de protección personal de vías respiratorias

OTROS TIPOS DE CAMPANAS

Extracción localizada: Ver VS-416.1

Cabinas: Para diseño ver VS-415, VS-604

$Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie frontal abierta

TRABAJO DE METALES

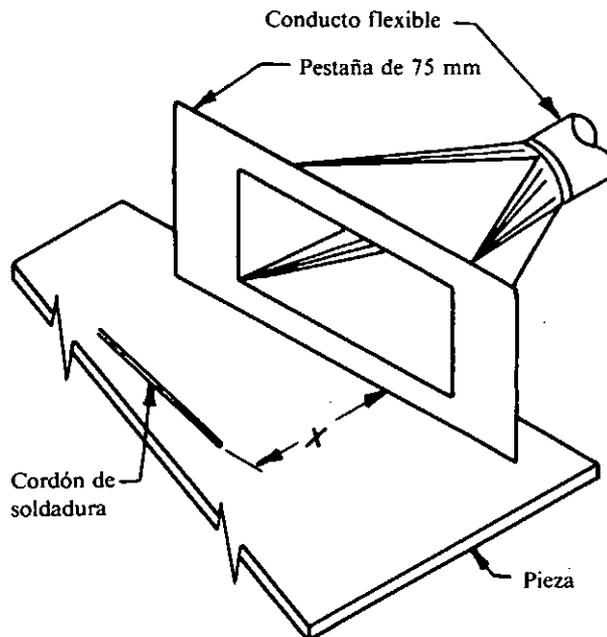
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

MESA DE SOLDADURA

FECHA

1-76

VS-416



CAMPANA MÓVIL

<i>X, mm</i>	<i>Conducto simple m³/s</i>	<i>Con pestaña o pieza cónica m³/s</i>
Hasta 150	0,16	0,12
150 - 225	0,35	0,26
225 - 300	0,63	0,47

Velocidad en la cara abierta = 7,5 m/s

Velocidad en conducto = 15 m/s

Pérdida en la entrada conducto simple = 0,93 PD_{conducto}

Pérdida en la entrada con pantalla o cono = 0,25 PD_{conducto}

VENTILACIÓN GENERAL, cuando no es posible la extracción localizada:

<i>Electrodo, diám.</i>	<i>m³/s/soldador *</i>
4 mm	0,47
5 mm	0,71
6 mm	1,65
10 mm	2,11

o bien

- A. En zonas despejadas, en las que los humos de soldadura pueden ascender alejándose de la zona respiratoria:
Caudal m³/s = 0,83 × Kg/h de electrodo consumido
- B. En zonas confinadas o en posiciones, en las que los humos de soldadura no se aleja fácilmente de la zona respiratoria:
Caudal m³/s = 1,66 × Kg/h de electrodo consumido

* Si los materiales son tóxicos se necesitarán caudales mayores y el trabajador puede precisar equipo de protección personal de vías respiratorias.

OTROS TIPOS DE CAMPANAS

Mesa de soldadura: Ver VS-416

Cabinas: Para diseño ver VS-415, VS-604

Q = 0,5 m³/s/m² de superficie frontal abierta
"Corte de granito" VS-909

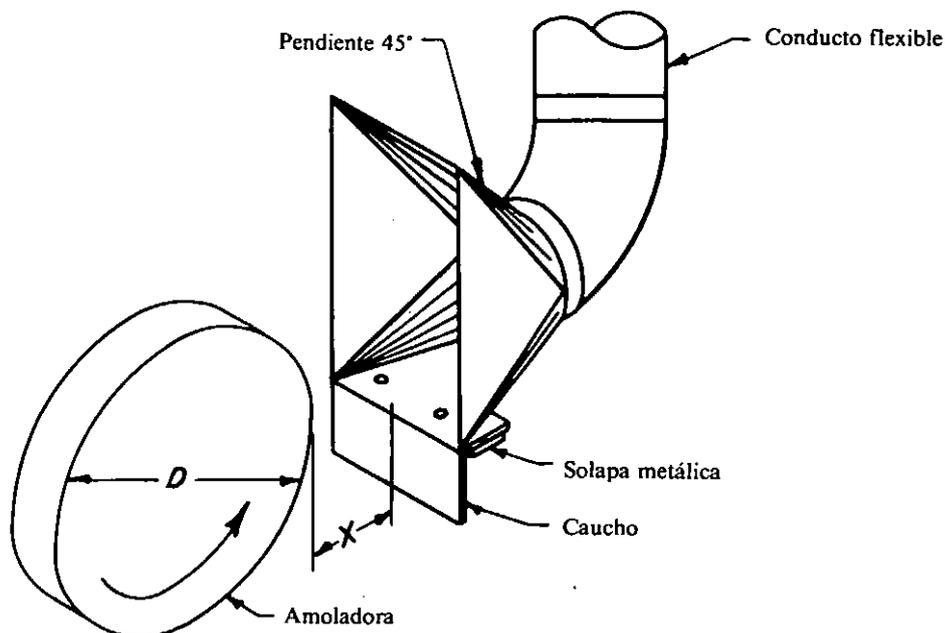
TRABAJO DE METALES

**AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

*EXTRACCIÓN LOCALIZADA PORTÁTIL
PARA SOLDADURA*

FECHA **1-78**

VS-416.1



Ejemplo para

$X = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$

$A = 75 \times 120 \text{ mm} = 0,009 \text{ m}^2$

$V_s, \text{ m/s}$	$Q, \text{ m}^3/\text{s}$
5	0,024
10	0,047
15	0,071
20	0,094
25	0,118
30	0,141
35	0,165
40	0,188
45	0,212
50	0,235

$$Q = 0,0432 V_s (10 X^2 + A)$$

Pérdida en la entrada = 0,25 PD

Velocidad en conducto = 18 m/s mínimo

X = Distancia de la campana a la muela en metros (medida desde el centro del plano de la campana hasta el punto más próximo de la superficie de la muela)

A = Superficie de la campana (m^2)

V_s = Velocidad tangencial de la muela (m/s)

$$= 3,1416 \times \text{rpm}/60 \times D$$

D = Diámetro en metros

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

AMOLADORA

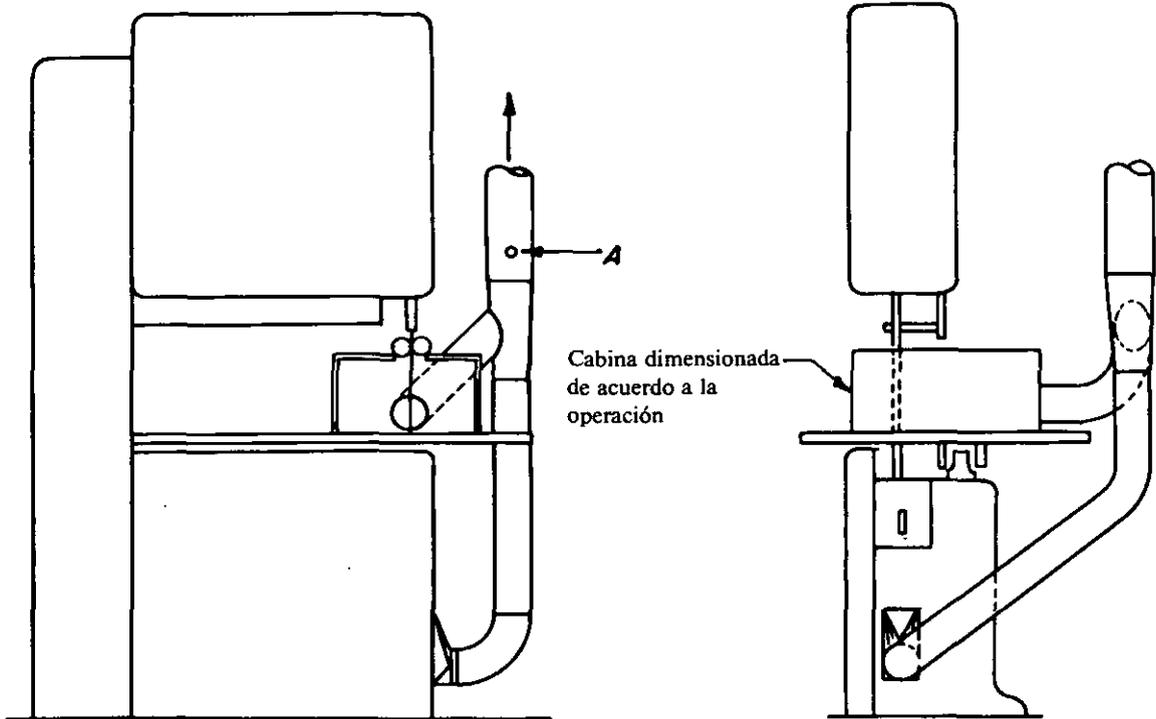
TRABAJO DE METALES

(Ref. 123)

FECHA

1-76

VS-417



Q, en la cabina = 1,140 m³/s/m² de superficie abierta
Q, en el pie = 0,165 m³/s
Velocidad en conducto = 20 m/s
Pérdida en la entrada = 1,75 PD en el montante (punto A)

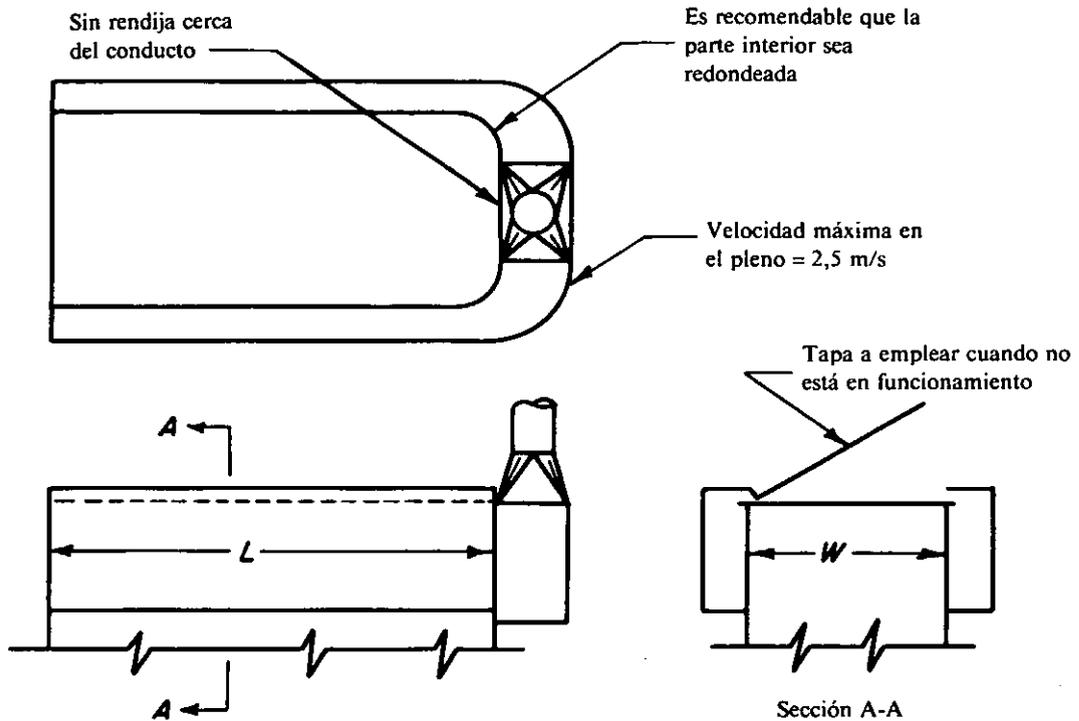
TRABAJO DE METALES

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

SIERRA DE CINTA

FECHA 1-70

VS-418



$$Q = 0,25 LW \text{ m}^3/\text{s} \text{ (L y W en m)}$$

Velocidad en la rendija = 5 m/s máximo

$$\text{Pérdida en la entrada} = 1,78 PD_{\text{rendija}} + 0,25 PD_{\text{conducto}}$$

$$\text{Velocidad en el conducto} = 12,5-15 \text{ m/s}$$

Hay que tener también en cuenta:

1. Si la unidad es calentada por combustión, hay que instalar un conducto de salida separado para los humos.
2. Para las operaciones de limpieza debe emplearse una máscara con aporte de aire.
3. Para las unidades enterradas, el foso debe disponer de ventilación mecánica.
4. Para otras precauciones complementarias ver VS-501.1.

NOTA: Para las piezas que no puedan extraerse secas disponga una rejilla con aspiración hacia abajo;

$$Q = 0,25 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2 \text{ de superficie de rejilla.}$$

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

CUBAS DE DESENGRASE
CON DISOLVENTES

FECHA

1-78

VS-501

La expresión "desengrase en fase vapor" se refiere a las operaciones de limpieza en las que se emplean, a ebullición, tricloroetileno, percloroetileno, cloruro de metileno, freones u otros hidrocarburos halogenados. La limpieza se consigue mediante la condensación del vapor del disolvente en contacto con la superficie de la pieza, lo que produce una acción continua de enjuague. La acción de limpiado se detiene cuando la temperatura de la pieza se iguala a la del vapor que la rodea. Puesto que los hidrocarburos halogenados son en buena medida similares en lo que se refiere a sus propiedades físicas y químicas, y a sus características de toxicidad, deben tenerse en cuenta las siguientes precauciones comunes a todos ellos a fin de evitar los posibles riesgos para la salud o la seguridad:

1. Las cubas de desengrase deben equiparse con un condensador o un termostato de nivel del vapor a fin de evitar que la distancia entre el nivel máximo del vapor y la boca de la cuba sea inferior a la mitad de la anchura de la cuba o a 90 cm en el caso de que esta cantidad sea inferior a la primera.
2. En los casos en los que la condensación se realice mediante agua, la temperatura de entrada de ésta no deberá ser inferior a 27 °C ni la de salida superior a 43 °C.
3. Las cubas de desengrase deben equiparse con un termostato que controle la temperatura del líquido en ebullición, a fin de controlar el flujo de evaporación del mismo, y con un sistema de control de seguridad a una altura adecuada por encima del nivel habitual del vapor, para evitar que éste escape en caso de mal funcionamiento.
4. Las cubas o tanques con una superficie de vapor superior a 0,35 m² deben disponer, cerca del fondo, de una puerta de limpieza adecuadamente estanca.
5. La pieza debe introducirse y extraerse lentamente, a una velocidad no superior a 5 cm/s, a fin de evitar las perturbaciones repentinas del nivel del vapor.
6. DEBE PONERSE ATENCIÓN EN EVITAR QUE, DEBIDO A LA FORMA DE LA PIEZA, ÉSTA NO ARRASTRE DISOLVENTE LÍQUIDO. No deben superarse las cargas máximas de trabajo, que vienen determinadas por el flujo de transferencia de calor (superficie de intercambio y calor específico).
7. Cuando para calentar el disolvente se emplea gas natural o una llama directa, debe ponerse atención en impedir que los vapores de disolvente se mezclen con el aire de combustión. *
8. Los elementos calefactores deben diseñarse y mantenerse de manera que su temperatura superficial no produzca la descomposición * del disolvente o genere una excesiva cantidad de vapores.
9. Las cubas de desengrase deben ubicarse de forma que el vapor no alcance o pueda ser arrastrado hacia lugares donde se realicen operaciones de soldadura oxiacetilénica o eléctrica, tratamientos térmicos a temperatura elevada, combustiones abiertas o existan motores eléctricos abiertos.
10. Cuando se empleen métodos de proyección del disolvente u otros similares, la cuba debe apantallarse o encerrarse lo suficiente, a fin de evitar la dispersión de los vapores por la parte superior de la cuba.
11. En las proximidades de la cuba debe instalarse un lavajos de emergencia, para su empleo en caso de que se produjera un contacto accidental del ojo con el líquido desengrasante.

* Los arcos eléctricos, las llamas abiertas y las superficies muy calientes provocan la descomposición térmica de los hidrocarburos halogenados dando sustancias tóxicas y corrosivas (tales como los ácidos fluorhídrico y clorhídrico). En ciertas condiciones puede formarse fosgeno.

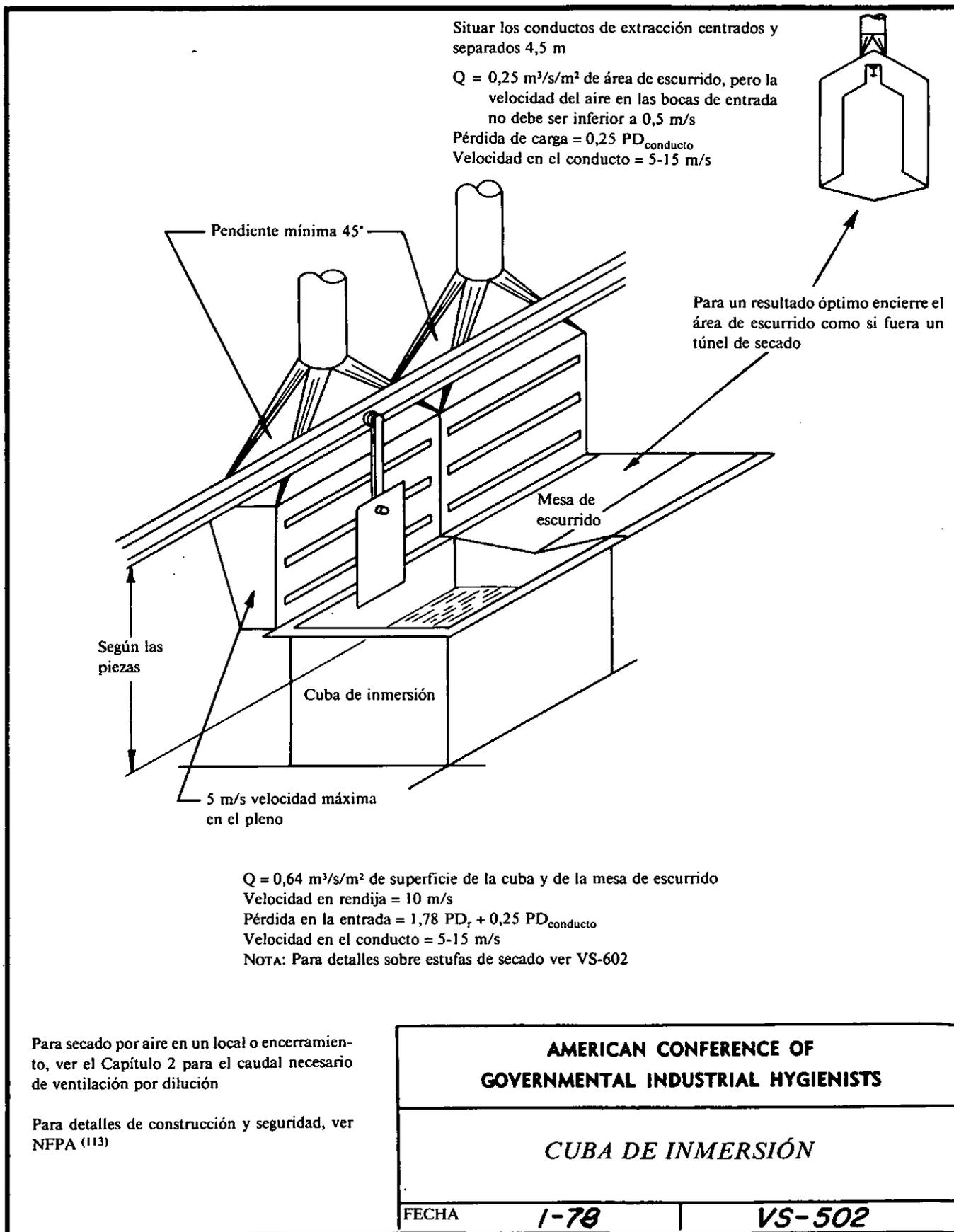
**AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

DESENGRASE EN FASE VAPOR

FECHA

1-78

VS - 501.1



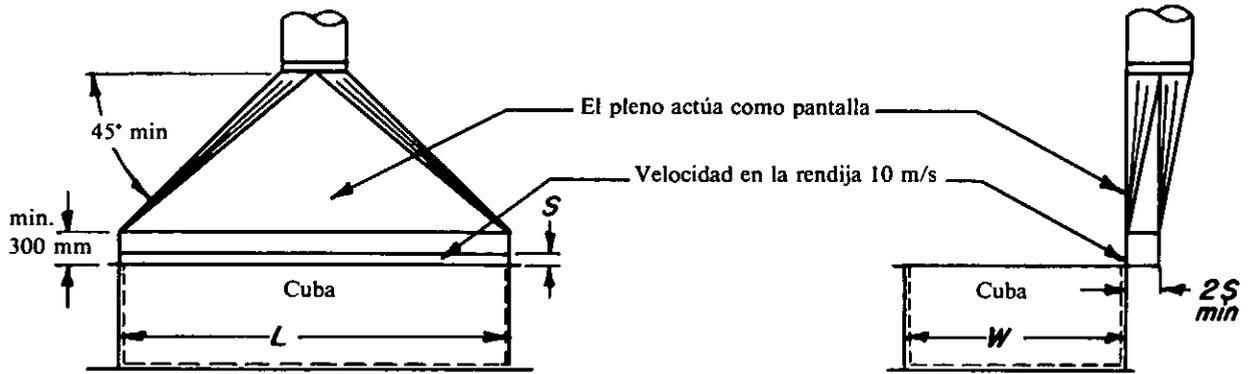
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

CUBA DE INMERSIÓN

FECHA

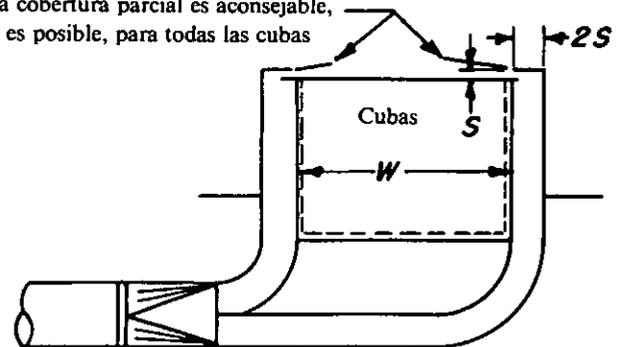
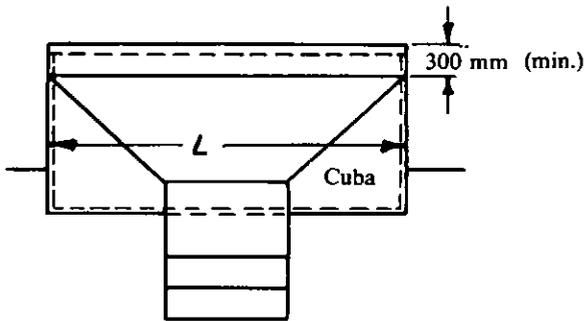
1-78

VS-502

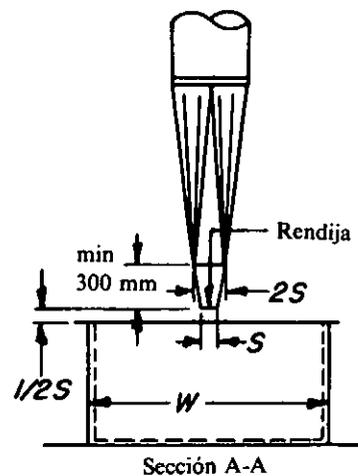
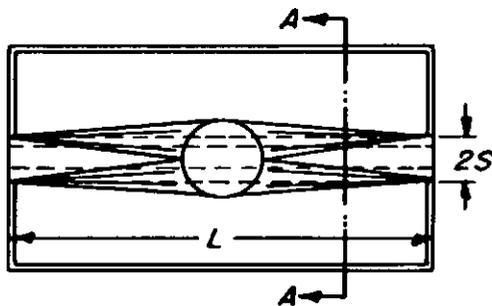


A. PLENO HACIA ARRIBA

La cobertura parcial es aconsejable, si es posible, para todas las cubas



B. PLENO HACIA ABAJO



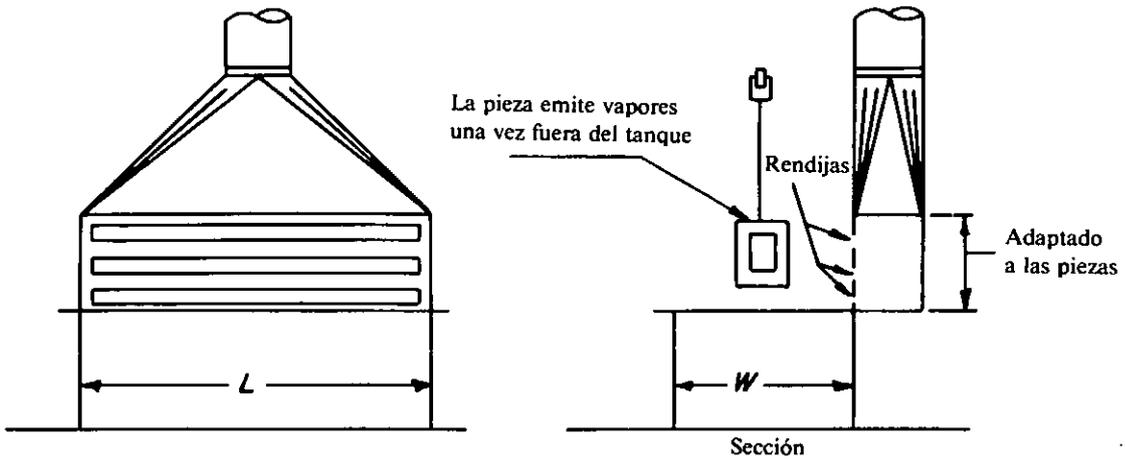
C. RENDIJA CENTRAL

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

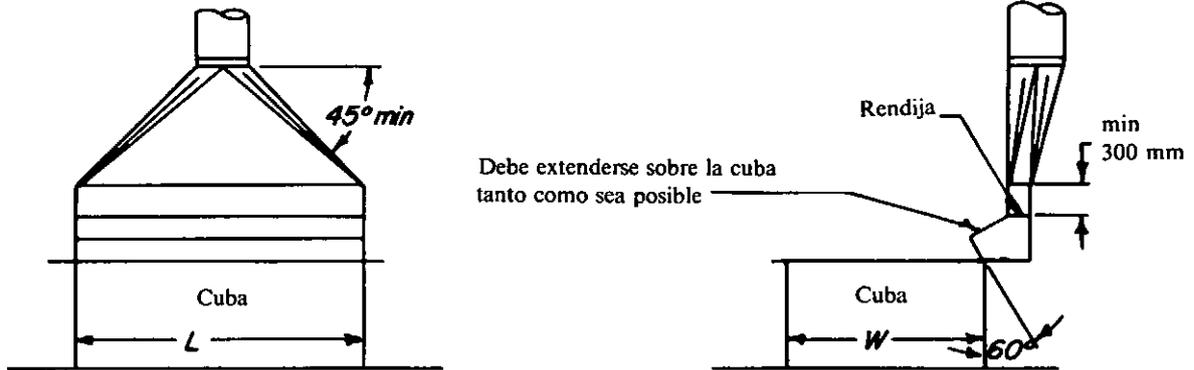
CUBAS ABIERTAS

FECHA 1-88

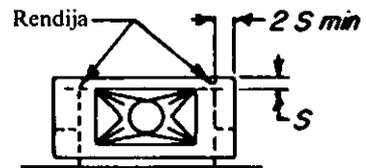
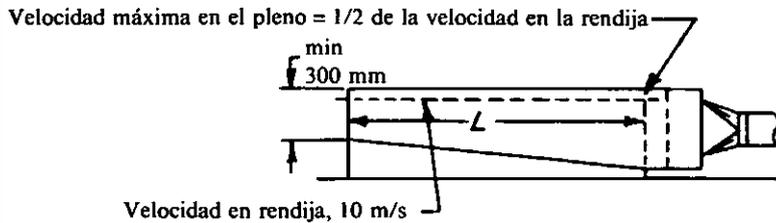
FIGURA VS-503



D. CUBA DE DECAPADO



E. SEMI-LATERAL



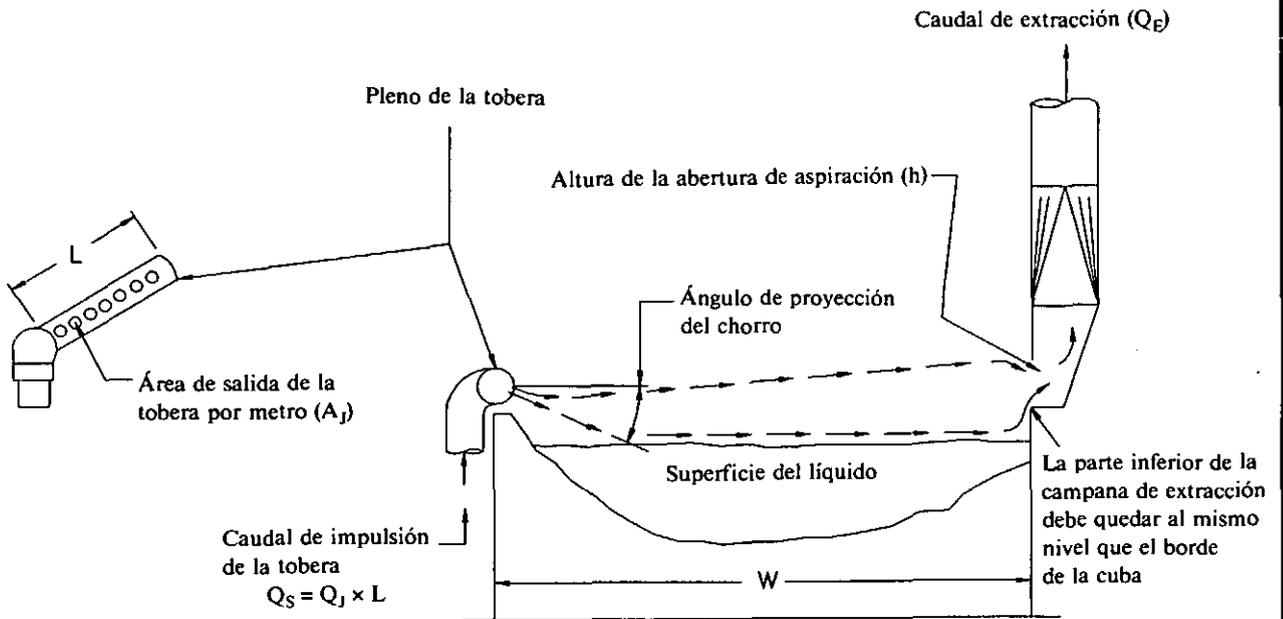
F. CONDUCTO EN UN EXTREMO

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

CUBAS ABIERTAS

FECHA 1-88

FIGURA VS-503.1



- Aberturas de la tobera - 3 a 6 mm si son rendijas, o 6 mm de diámetro si son orificios, separados de 20 a 50 mm
- Pleno de la tobera - Circular, rectangular o cuadrado: su sección recta debe ser al menos tres veces el área total de salida de la tobera
- Ángulo de proyección del chorro - De cero a 20 grados hacia abajo
- Caudal de impulsión - $Q_j = 0,68 \sqrt{A_j}$ m³/s por metro de longitud del pleno
- Caudal de extracción - $Q_E = 0,38$ m³/s por m² de superficie de la cuba
- Altura de la boca de extracción - $h = 0,14 W$
- Dimensiones de la boca - L = longitud de la cuba
W = anchura de la cuba

Método de diseño: Seleccione las dimensiones de la tobera según las indicaciones dadas y calcule entonces el caudal de impulsión

Referencias 141, 142

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

*DISEÑO DE SISTEMAS DE
IMPULSIÓN-EXTRACCIÓN. DATOS
PARA ANCHURAS HASTA 3 METROS*

FECHA 1-88

FIGURA VS-504

En la ventilación por impulsión-extracción, una tobera impulsa un chorro de aire a través de la superficie de la cuba dirigiéndola hacia una campana de extracción. La efectividad de un chorro de impulsión es función de su cantidad de movimiento, que depende a su vez del producto del caudal proporcionado por la tobera (Q_j) y de la velocidad de salida en la misma (V_j). Para un chorro empleado para cubas abiertas como los que se utilizan en tratamientos superficiales, el caudal de impulsión puede determinarse a partir de la fórmula:

$$Q_j = 0,68 \sqrt{A_j}$$

donde:

Q_j = caudal de impulsión, m^3/s por metro de longitud del pleno de impulsión

A_j = área de salida de la tobera, m^2 por metro de longitud del pleno de impulsión

Empleando este método, primero se elige un diseño de la tobera y a continuación se determina el área (A_j).

El pleno de impulsión puede ser de sección circular, rectangular o cuadrada. Los orificios de impulsión pueden ser circulares, de 6 mm de diámetro separados entre 3 y 8 diámetros, o consistir en una rendija de anchura entre 3 y 6 mm.

Es importante que el flujo de aire se distribuya uniformemente a lo largo de la longitud del pleno. Para lograrlo, el área total de salida no debe ser superior a un tercio de la sección recta del pleno. Cuando resulte práctico es recomendable emplear plenos de impulsión múltiples.

La tobera de impulsión debe situarse tan cerca del borde de la cuba como sea posible, a fin de minimizar la altura sobre la superficie del líquido. El eje de la tobera puede inclinarse hacia abajo un máximo de 20° a fin de permitir al chorro salvar los posibles obstáculos que puedan existir en su camino, y permitirle que circule lo más cerca posible de la superficie del líquido. Es fundamental que no existan orificios libres entre la tobera y el borde de la cuba.

Para la captación del chorro de impulsión es adecuado emplear un caudal de aspiración de 0,38 m^3/s por m^2 de superficie de la cuba.^(141, 142) La abertura de la boca de extracción (h) debe ser 0,14 veces la distancia desde la tobera de impulsión a la campana (0,14W). Si se emplean rendijas múltiples deben situarse dentro de la altura de 0,14W. Siempre que sea posible deberán emplearse pantallas deflectoras. La campana de extracción debe estar situada en el lateral de la cuba, sin dejar entre ambos ningún espacio.

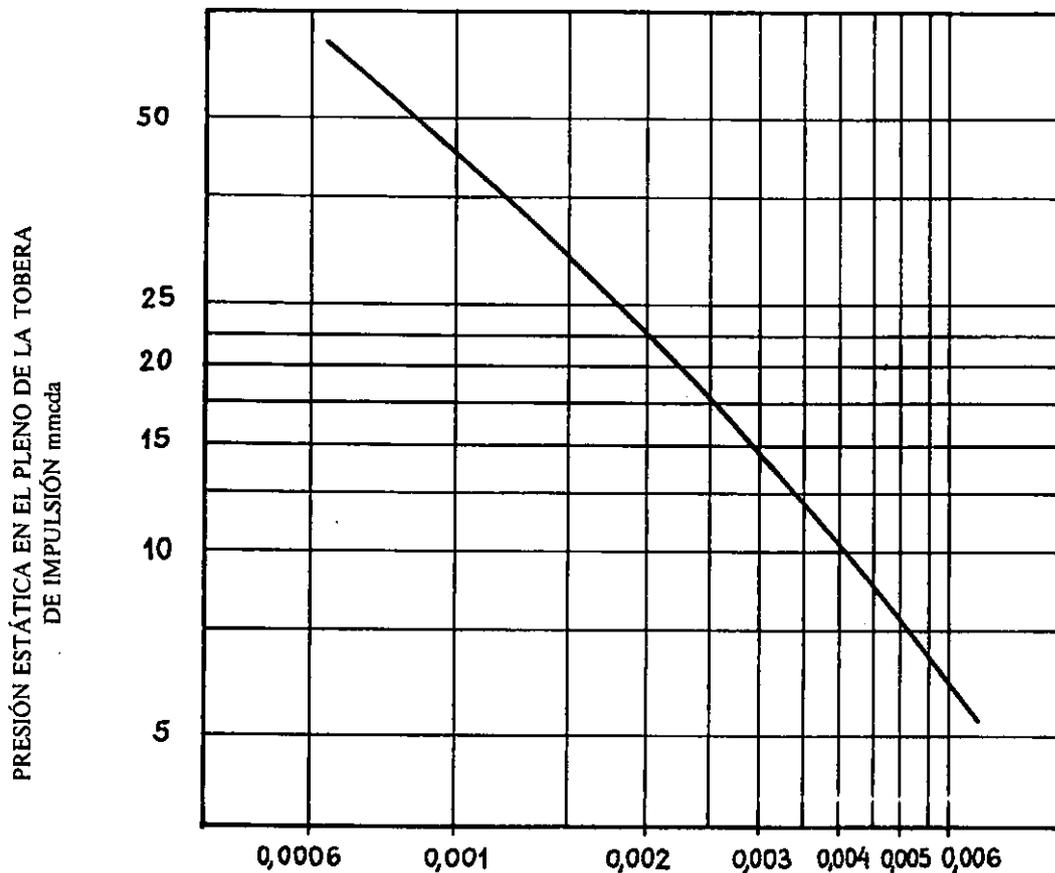
En el diseño y ubicación de una cuba abierta interviene un gran número de variables. En algunos casos, como consecuencia de la forma de la cuba, su ubicación en el local, la existencia de corrientes de aire, etc., puede ser necesario modificar los caudales de impulsión y/o extracción a fin de lograr un control eficaz. Las corrientes de aire transversales superiores a 0,4 m/s, o las cubas de anchura igual o superior a 2,5 m pueden exigir caudales más altos que los calculados. Para tener en cuenta la posible necesidad de efectuar estos ajustes, el diseño incluirá la posibilidad de modificar los caudales en $\pm 20\%$, siempre que ello sea posible. Tras su instalación, los sistemas de impulsión-extracción pueden evaluarse visualmente mediante el empleo de un gas trazador.

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

CAMPANAS DE IMPULSIÓN-EXTRACCIÓN
DATOS DE DISEÑO

FECHA 1-88

FIGURA VS-504.1



ÁREA DE SALIDA DE LA TOBERA (A_x) - m²/m longitud del pleno de impulsión

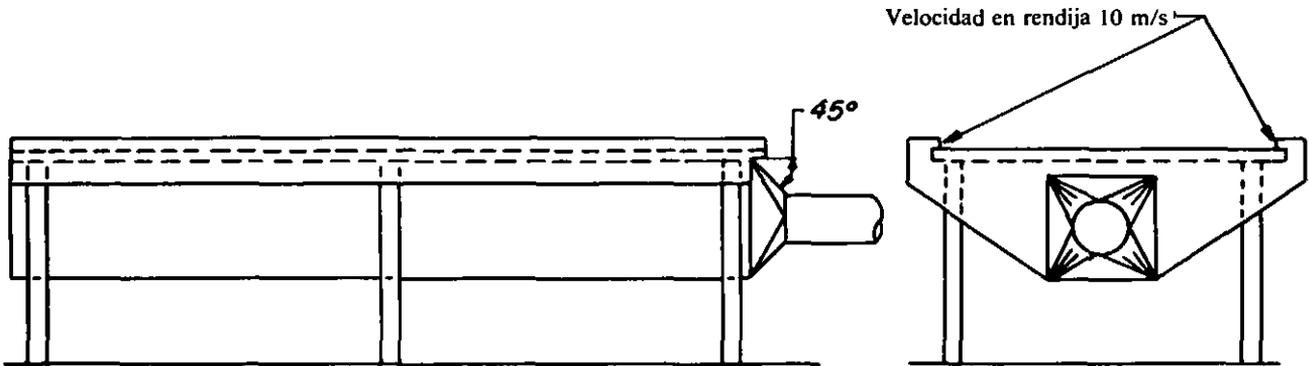
CAUDAL DE IMPULSIÓN DE LA TOBERA = $0,7\sqrt{A_x}$, m³/s/m de longitud PARA TOBERAS CON RENDIJAS DE 3 A 6 mm DE ANCHURA U ORIFICIOS DE 6 mm DE DIÁMETRO SEPARADOS ENTRE SÍ DE 3 A 8 DIÁMETROS

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

TOBERA DE IMPULSIÓN
PRESIÓN EN EL PLENO

FECHA 1-88

FIGURA VS-504.2



$Q = 0,25 - 0,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie de mesa

Velocidad en el conducto = 12,5 a 15 m/s

Pérdida en la entrada = $1,78 PD_{\text{rendija}} + 0,25 PD_{\text{conducto}}$

Nota: Ver "Cubas abiertas", VS-503 y VS-504 para otros

diseños de rendija adecuados. Los caudales de aire pueden calcularse sobre la base de la dilución del contaminante si se dispone de datos suficientes.

Velocidad máxima en el pleno = 1/2 de la velocidad en rendija.

Para una buena distribución es fundamental que se disponga de un pleno grande.

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

MESA CON RENDIJAS

FECHA

1-70

VS-505

DATOS DE DISEÑO PARA CUBAS ABIERTAS

- A. Velocidad en el conducto = cualquiera. Ver Capítulo 3.
- B. Pérdida de carga a la entrada = 1,78 PD más la pérdida en la entrada al conducto.
- C. Velocidad máxima en el pleno = 1/2 de la velocidad en la rendija. Ver Capítulo 3.
- D. Velocidad en la rendija = 10 m/s a menos que se logre una distribución uniforme mediante una adaptación de salida adecuada.
- E. Diseñe el pleno suficientemente amplio en el lado estrecho.
- F. Si la longitud de la cuba (L) supera 2 m es aconsejable emplear varias salidas de aire separadas.
Si la longitud de la cuba (L) es igual o superior a 3 m es necesario emplear varias salidas de aire separadas.
- G. La anchura de la cuba (W) indica la anchura efectiva sobre la que la campana debe aspirar el aire (es decir, cuando la boca de la campana está más allá del borde de la cuba, la distancia entre este borde y la boca debe ser considerada como anchura).
Cuando W = 50 cm, es adecuado emplear una sola rendija lateral.
Cuando W = 50 a 90 cm, es aconsejable emplear dos rendijas.
Cuando W = 90 a 120 cm, es necesario emplear dos rendijas, a menos que el resto de las condiciones sean óptimas.
Cuando W = 120 cm o más, normalmente no es práctico el empleo de extracción localizada, siendo preferible el encerramiento.
No debe ventilarse una cuba cuya relación W/L es superior a 2 a lo largo de su lado mayor, no siendo aconsejable hacerlo cuando W/L es mayor de la unidad.
- H. El nivel del líquido no debe estar a menos de 15 cm de la boca de la cuba.
- I. Las campanas tipos A, C, D y E son preferibles, pues el pleno actúa como deflector de las corrientes de aire del local.
- J. Siempre que sea posible disponga encerramientos o tapas practicables en las cubas.
- K. Emplee conductos con registros de limpieza, drenajes y recubrimientos resistentes a la corrosión cuando sea necesario. Emplee una conexión flexible a la entrada del ventilador.
- L. Instale pantallas para reducir las corrientes de aire transversales. Si ello no es posible, aumente la velocidad de control empleando el análisis vectorial. Una pantalla es una placa vertical de igual longitud que la cuba y cuya altura es igual a la anchura de la cuba. Cuando la campana de extracción se encuentra en un lado de la cuba que está inmediatamente al lado de una pared, ésta constituye un apantallamiento perfecto.

Cálculo del caudal en condiciones favorables (sin corrientes de aire transversales, aire de sustitución adecuado y bien distribuido).

TABLA 10.5-1 Determinación del Grado de Peligrosidad

Grado de peligrosidad	Criterio de evaluación		Punto de inflamación (ver Apénd. B)
	Gases y vapores (ver Apénd. A)	Nieblas (ver Apénd. A)	
A	0 - 10 ppm	0 - 0,1 mg/m ³	-
B	11 - 100 ppm	0,11 - 1 mg/m ³	< 40 °C
C	101 - 500 ppm	1,1 - 10 mg/m ³	40 - 90 °C
D	> 500 ppm	> 10 mg/m ³	> 90 °C

TABLA 10.5-2 Determinación del índice de desprendimiento de gases, vapores y nieblas

Índice de desprendimiento	Temperatura del líquido °C	Grados por debajo del punto de ebullición °C	Evaporación relativa * (tiempo para evaporación 100 %)	Desprendimiento de contaminantes **
1	> 90	0 - 10	Rápida (0-3 horas)	Alto
2	65 - 90	11 - 25	Medía (3-12 horas)	Medio
3	35 - 65	26 - 50	Lenta (12-50 horas)	Bajo
4	< 35	> 50	Inap. (> 50 horas)	Inap.

* Tiempo de secado (ver Apéndice B). < 5 - Rápido; 5-15 - Medio; 15-75 - Lento; > 75 - Inapreciable.

** El nivel de desprendimiento depende de la velocidad de la reacción química o electroquímica y por tanto es función del material tratado y de la solución contenida en la cuba, y tiende a incrementarse con, 1) la cantidad de material a tratar que se encuentra en la cuba en un momento dado, 2) la concentración de la solución, 3) la temperatura de la solución, y 4) la densidad de corriente aplicada a las piezas en el caso de cubas electroquímicas.

1. Determine el grado de peligrosidad a partir de la Tabla 10.5-1 empleando la información de las tablas de valores TLV, punto de inflamación y tiempo de secado de disolventes de los Apéndices A y B y la Tabla 10.5-6.
2. Determine el índice de desprendimiento mediante la Tabla 10.5-2 utilizando el valor resultante más elevado (ver Tabla 10.5-6).
3. Seleccione en la Tabla 10.5-3 la velocidad mínima de control en función del grado de peligrosidad, el índice de desprendimiento y el diseño de la campana (ver en la Tabla 10.5-5 algunos procesos típicos).
4. En la Tabla 10.5-4 seleccione el caudal específico en función de las dimensiones y la ubicación de la cuba.
5. Multiplique el resultado obtenido por la superficie de la boca de la cuba para obtener el caudal de extracción.

EJEMPLO

Sea una cuba de cromado con las siguientes características:

- Dimensiones 1,8 x 0,7 m.
- Gran producción de cromado decorativo.
- Situado en el centro del local.
- Sin corrientes de aire transversales

TABLA 10.5-3 Velocidad mínima de control (m/s) para ubicaciones sin corrientes de aire

Clase (ver Tablas 10.5-1 y 2)	Cabina		Extracción lateral (ver VS-503/ 504) (Nota 1)	Campanas elevadas ver Fig. 3.8 y VS-903	
	Un lateral abierto	Dos laterales abiertos		Tres laterales abiertos	Cuatro laterales abiertos
A-1 y A-2 (Nota 2)	0,5	0,75	0,75	No emplear	No emplear
A-3 (Nota 2), B-1, B-2 y C-1	0,375	0,5	0,5	0,625	0,875
B-3, C-2 y D-1 (Nota 3)	0,325	0,45	0,375	0,5	0,75
A-4 (Nota 2) C-3 y D-2 (Nota 3)	0,25	0,375	0,25	0,375	0,625
B-4, C-4, D-3 (Nota 3) y D-4 – Es suficiente con una ventilación general adecuada (ver Capítulo 2).					
NOTAS: 1. Emplee la relación anchura/longitud para calcular el caudal; ver la Tabla 10.5-4 para el cálculo. 2. No emplee campanas elevadas cuando el grado de peligrosidad sea A. 3. Cuando se desee un control completo del agua caliente, trátase como de clase inmediata superior.					

- a. Campana. Ver VS-503. Se emplea el diseño A en el lado largo. La campana actúa como pantalla.
 $W = 0,7$; $L = 1,8$; $W/L = 0,39$
- b. Componente – Ácido crómico
 Grado de peligrosidad: A (de la Tabla 10.5-1; del Apéndice A: TLV = $0,05 \text{ mg/m}^3$; del Apéndice A: punto de inflamación = despreciable).
 Índice de desprendimiento: 1 (de la Tabla 10.5-2; de la Tabla 10.5-6: Desprendimiento = elevado).
 Clase: A-1
 Velocidad de control: $0,75 \text{ m/s}$ (de la Tabla 10.5-3)
 Caudal específico mínimo = $1,15 \text{ m}^3/\text{s/m}^2$ (de la Tabla 10.5-4); cuba apantallada, $W/L = 0,39$
 Caudal mínimo de extracción = $1,15 \times 1,26 = 1,45 \text{ m}^3/\text{s}$

- c. Diseño de la campana
 Velocidad de diseño en la rendija = 10 m/s
 $A = \text{Área de rendija} = Q/V = 1,45 \text{ m}^3/\text{s} / 10 \text{ m/s} = 0,145 \text{ m}^2$
 Anchura de la rendija = $A/L = 0,145 / 1,8 = 0,08 \text{ m}$
 Profundidad del pleno = $2 \times \text{Anchura de rendija} = 0,16 \text{ m}$
 Área del conducto = $Q/V = 1,45 / 12,5 = 0,116 \text{ m}^2$
 Se emplea un conducto de 400 mm de diámetro
 Velocidad final en el conducto = $Q/A = 1,45 / 0,1257 = 11,5 \text{ m/s}$
 Presión estática en la campana = Pérdida de carga + Aceleración = $1,78 \text{ PD}_r + 0,25 \text{ PD}_c + 1,0 \text{ Aceleración}$ (ver Capítulo 3) = $(1,78 \times 6,2) + (0,25 \times 8,1) + 1 \times 8,1 = 11 + 2 + 8,1$
 Presión estática en la campana = $21,1 \text{ mmcd}$

TABLA 10.5-4 Caudal mínimo, m^3/s por metro cuadrado de área de superficie abierta de la cuba, para extracción lateral

Velocidad mínima de control, m/s (de la Tabla 10.5-3)	$\text{m}^3/\text{s/m}^2$ para mantener la velocidad de control mínima necesaria para distintos valores de la relación anchura/longitud de la cuba (W/L)				
	0,0 – 0,9	0,1 – 0,24	0,25 – 0,49	0,5 – 0,99	1,0 – 2,0 Nota 2
Valores aplicables cuando la cuba se halla junto a una pared o existe una superficie que lo apantalla (ver Nota 1 al pie, y Nota L, página 10-70). Ver VS-503 y VS-503.1 D y E					
0,25	0,25	0,3	0,375	0,45	0,5
0,375	0,375	0,45	0,55	0,65	0,75
0,5	0,5	0,625	0,75	0,875	1
0,75	0,75	0,95	1,15	(1,25) Nota 3	(1,25) Nota 3
Valores aplicables cuando la cuba se encuentra en el centro del local y sin apantallar (ver Nota 1). Ver VS-503 B y VS-503.1 F.					
0,25	0,375	0,45	0,5	0,55	0,625
0,375	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95
0,5	0,75	0,875	1,0	1,15	1,25
0,75	1,15	(1,25) Nota 3	(1,25) Nota 3	(1,25) Nota 3	(1,25) Nota 3

- NOTAS: 1. Cuando la cuba dispone de una rendija a cada lado, la relación anchura/longitud se calcula empleando como valor de la anchura la mitad de su valor real. Ver VS-503 B, C y VS-503.1 F.
 2. Ver Notas F y G, página 10-70.
 3. Aunque los vapores entre paréntesis pueden no producir una velocidad de control de $0,75 \text{ m/s}$ en todas las situaciones, se considera que el valor de $1,27 \text{ m}^3/\text{s/m}^2$ proporciona un control adecuado.

TABLA 10.5-5 Velocidad mínima de control en procesos típicos (m/s), en situaciones con poco movimiento de aire

Operación	Contaminante	Grado de peligrosidad	Índice de desprendimiento	Velocidad de control para extracción lateral (ver VS-503/504)	Depurador recomendado
Agua caliente hirviendo	Vapor de agua	D	1	0,38 *	
Agua caliente no hirviendo		D	2	0,25 *	
Anodizado de aluminio	Ácidos crómico y sulfúrico	A	1	0,75	X
Aluminio, abrigantado	Ácidos nítrico y sulfúrico	A	1	0,75	X
	Ácidos nítrico y fosfórico	A	1	0,75	X
	Nieblas alcalinas y de cianuro	C	2	0,38	X
Arranque de cobre	Vapores nitrosos	A	1	0,75	X
Arranque de níquel	Nieblas de cianuro	C	2	0,38	X
Cobreado	Ácido crómico	A	1	0,75	X
Decapado de acero	Ácido clorhídrico	A	2	0,75	X
	Ácido sulfúrico	B	1	0,50	X
	Nieblas alcalinas	C	1	0,50	X
Limpieza de metales (hirviendo)	Nieblas alcalinas	C	1	0,50	X
Sales fundidas	Nieblas alcalinas	C	1	0,50	X
Soluciones salinas (bonderizado y parkerizado)					
Hirviendo	Vapor de agua	D	1	0,38 *	
No hirviendo	Vapor de agua	D	2	0,25 *	

* Cuando se desee un control completo del agua caliente, trátase como de clase inmediata superior.

TABLA 10.5-6 Contaminantes generados en las operaciones de tratamiento superficial, mordentado, decapado, ataque ácido y limpieza

Proceso	Tipo	Notas	Componentes del baño que pueden ser emitidos al ambiente (13)	Naturaleza física y química del contam. principal	Clase (12)	Margen usual de temp., °C
Tratamiento superficial	Anodizado de aluminio		Ácidos crómico y sulfúrico	Nieblas de ácido crómico	A-1	35
	Anodizado aluminio		Ácido sulfúrico	Nieblas de ácido sulfúrico	B-1	15-25
	Anodizado galvanico aluminio	3	Hidróxido amónico Sol. conc. de agentes alcalinos oxidantes	Amoniaco, vapor Niebla alcalina, vapor	B-3 C-1	60 125-175
	Bonderizado	1	Agua hirviendo	Vapor	D-2,1 (14,15)	60-100
	Coloreado químico		Ninguno	Ninguno	D-4	20-35
	Decapado	2	Ácidos nítrico-sulfúrico, fluorhídrico	Nieblas ácidas, ácido fluorhídrico, vapor	B-2,1 (15)	20-65
	Ebonol		Sol. conc. de agentes alcalinos oxidantes	Nieblas alcalinas, vapor	C-1	125-175
	Endurecimiento del aluminio		Ácidos crómico y sulfúrico	Nieblas de ácido crómico	A-1	50-85
	Endurecimiento del aluminio		Ácido sulfúrico	Niebla de ácido sulfúrico	B-1	50-85
	Jetal		Sol. conc. de agentes alcalinos oxidantes	Niebla alcalina, vapor	C-1	125-175
Mordentado	Magcote	4	Hidróxido sódico	Niebla alcalina, vapor	C-3,2 (15)	40-100
	Magnesio, tratamiento previo al coloreado		Hidróxido amónico, acetato amónico	Amoniaco, vapor	B-3	35-85
	Negro mágico		Sol. conc. de agentes alcalinos oxidantes	Niebla alcalina, vapor	C-1	125-175
	Parkerizado	1	Agua hirviendo	Vapor	D-2,1 (14,15)	60-100
	Zincete inmersión	5	Ninguno	Ninguno	D-4	20-30
Mordentado	Aluminio	6	Hidróxido sódico, sosa, fosfato trisódico	Nieblas alcalinas, vapor	C-1	70-80
	Cobre	7	Ácido clorhídrico	Ácido clorhídrico	A-2	20-30
	Cobre		Ninguno	Ninguno	D-4	20
Decapado	Acero inoxidable	9	Ácidos nítrico y fluorhídrico	Vapores nitrosos y ácido fluorhídrico	A-2	50-85
	Acero inoxidable	9, 10	Ácido clorhídrico	Ácido clorhídrico	A-2	55-60
	Acero inoxidable	9, 10	Ácido sulfúrico	Nieblas de ácido sulfúrico, vapor	B-1	85
	Acero inox. inmunizado		Ácido nítrico	Vapores nitrosos	A-2	20-50
	Acero inox. pasivado		Ácido nítrico	Vapores nitrosos	A-2	20-50

Proceso	Tipo	Notas	Componentes del baño que pueden ser emitidos al ambiente (13)	Naturaleza física y química del contam. principal	Clase (12)	Margen usual de temp., °C
Aluminio			Ácido nítrico	Vapores nitrosos	A-2	20-30
Aluminio			Ácidos crómico y sulfúrico	Nieblas ácidas	A-3	60
Aluminio			Hidróxido sodico	Nieblas alcalinas	C-1	60
Cobre			Ácido sulfúrico	Nieblas ácidas, vapor	B-3,2 (15)	50-80
Cobre		8	Ninguno	Ninguno	D-4	20-80
Duraluminio			Fluoruro sodico, ácido sulfúrico	Ácido fluorhídrico, nieblas ácidas	A-3	20
Hierro y acero			Ácido clorhídrico	Ácido clorhídrico	A-2	20
Hierro y acero			Ácido sulfúrico	Nieblas de ácido sulfúrico, vapor	B-1	20-80
Inconel			Ácidos nítrico y fluorhídrico	Vapores nitrosos, ácido fluorhídrico, vapor	A-1	65-75
Inconel			Ácido sulfúrico	Nieblas de ácido sulfúrico, vapor	B-2	70-85
Magnesio			Ácidos sulfúrico, crómico, nítrico	Vapores nitrosos, nieblas ácidas, vapor	A-2	20-70
Monel y niquel			Ácido clorhídrico	Ácido clorhídrico, vapor	A-2	85
Monel y niquel			Ácido sulfúrico	Nieblas de ácido sulfúrico, vapor	B-1	70-90
Níquel plata			Ácido sulfúrico	Nieblas ácidas, vapor	B-3,2 (15)	20-60
Plata			Cianuro sodico	Nieblas de cianuro, vapor	C-3	20-100
Ataque ácido						
Aluminio brillante			Ácidos nítrico y fosfórico	Vapores nitrosos	A-1	95
Aluminio brillante			Ácidos nítrico y sulfúrico	Vapores nitrosos, nieblas ácidas	A-2,1 (15)	20-30
Cadmio brillante			Ninguno	Ninguno	D-4	20
Cobre brillante			Ácidos nítrico y sulfúrico	Vapores nitrosos, nieblas ácidas	A-2,1 (15)	20-30
Cobre semibrillante			Ácido sulfúrico	Nieblas ácidas	B-2	20
Cobre (aleaciones) brillante			Ácidos nítrico y sulfúrico	Vapores nitrosos, nieblas ácidas	A-2,1 (15)	20-30
Cobre mate			Ácidos nítrico y sulfúrico	Vapores nitrosos, nieblas ácidas	A-2,1 (15)	20-30
Magnesio			Ácido crómico	Nieblas ácidas, vapor	A-2	90-100
Magnesio			Ácidos nítrico y sulfúrico	Vapores nitrosos, nieblas ácidas	A-2,1 (15)	20-30
Monel			Ácidos nítrico y sulfúrico	Vapores nitrosos, nieblas ácidas	A-2,1 (15)	20-30

Proceso	Tipo	Notas	Componentes del baño que pueden ser emitidos al ambiente (13)	Naturaleza física y química del contam. principal	Clase (12)	Margen usual de temp., °C
	Níquel y sus aleaciones		Ácidos nítrico y sulfúrico	Vapores nitrosos, nieblas ácidas	A-2,1 (15)	20-30
	Plata		Ácido nítrico	Vapores nitrosos	A-1	20-30
	Plata		Ácido sulfúrico	Nieblas de ácido sulfúrico	B-2	20-30
	Zinc y sus aleaciones		Ácidos crómico y clorhídrico	Ácido clorhídrico (si el HCl ataca al Zn)	A-4,3 (15)	20-30
Limpieza del metal	Limpieza alcalina Desengrase	11	Sales sódicas alcalinas Tricloroetileno, percloroetileno	Nieblas alcalinas, vapor Vapores de tricloro, percloro	C-2,1 (15) B (16)	70-100 85-120
	Limpieza en emulsión		Disolventes derivados del petróleo y del carbón	Vapores de disolventes	B-3,2 (15) (17)	20-60
	Limpieza en emulsión		Hidrocarburos halogenados	Vapores del disolvente	(17)	20-60

Notas:

- 1 Se incluye también el sellado de aluminio y magnesio, el teñido de magnesio y de magnesio anodizado, el tratamiento del magnesio con dicromatos alcalinos, el coloreado de aluminio anodizado.
- 2 Acero inoxidable antes del electropulido.
- 3 Sobre magnesio.
- 4 También Manodyz, Dow-12.
- 5 Sobre aluminio.
- 6 Acabado rugoso.
- 7 Baño de cloruro férrico.
- 8 Dicromato sódico, baño de ácido sulfúrico y sulfato ferroso, baño de ácido sulfúrico.
- 9 Eliminación de recubrimientos.
- 10 Eliminación total de recubrimientos.
- 11 Enjuague y electrolimpieza

12 El tipo se refiere al grado de peligrosidad e índice de desprendimiento. Tablas 10.5-1, 10.5-2 y 10.5-3, en las condiciones usuales de funcionamiento. Temperaturas superiores, la agitación del baño u otras condiciones pueden dar lugar a un desprendimiento mayor.

13 Muchas de estas operaciones también liberan hidrógeno.

14 El tipo indicado permite una eliminación total del vapor de agua. De no ser necesaria, puede ser suficiente el empleo de ventilación general.

15 El desprendimiento máximo está asociado al más elevado de los valores de la temperatura.

16 Para el desengrase al vapor, el índice de desprendimiento viene determinado por el procedimiento de trabajo. Ver VS-501.

17 El tipo de operación viene determinado por el hidrocarburo empleado. Véase el Apéndice A.

TABLA 10.5-7 Contaminantes generados en las operaciones de electropulido, recubrimiento electrolítico y no electrolítico

Proceso	Tipo	Notas	Componentes del baño que pueden ser emitidos al ambiente (19)	Naturaleza física y química del contam. principal	Clase (18)	Margen usual de temp., °C	
Electropulido	Acero	1	Ácidos sulfúrico, clorhídrico y fluorhídrico	Nieblas ácidas, ácido clorhídrico, vapor	A-2	20-80	
	Acero inox.	1	Ácidos sulfúrico, clorhídrico y crómico	Nieblas ácidas, ácido clorhídrico, vapor	A-2,1 (20)	20-150	
	Aluminio	1	Ácidos sulfúrico y fluorhídrico	Nieblas ácidas, ácido fluorhídrico, vapor	A-2	60-95	
	Bronce, latón	1	Ácido fosfórico	Nieblas ácidas	B-3	20	
	Cobre	1	Ácido fosfórico	Nieblas ácidas	B-3	20	
	Fundición	1	Ácidos sulfúrico, clorhídrico, perclórico	Nieblas ácidas, ácido clorhídrico, vapor	A-2	20-80	
	Monel	1	Ácido sulfúrico	Nieblas ácidas, vapor	B-2	30-70	
	Níquel	1	Ácido sulfúrico	Nieblas ácidas, vapor	B-2	30-70	
	Soluciones de agarre	Cobre		Cianuros	Nieblas de cianuro	C-2	20-30
		Plata		Cianuros	Nieblas de cianuro	C-2	20-30
Wood's Nickel			Cloruro de níquel, ácido clorhídrico	Ácido clorhídrico, nieblas de cloruros	A-2	20-30	
Recubrimientos no electrolíticos	Cobre		Formaldehído	Formaldehído	A-1	25	
	Níquel	2	Hidróxido amónico	Amoniaco	B-1	90	
	Platino		Fosfato amónico, amoniaco	Amoniaco	B-2	70-95	
	Estaño		Estannato sódico	Nieblas de sales de estaño, vapor	C-3	60-75	
Electrolitos alcalinos	Zinc	3	Ninguno	Ninguno	D-4	75-80	
	Aleca. plomo-estaño		Fluoborato de plomo-ácido fluobórico	Nieblas de fluoborato	C-3,2 (20)	20-40	
	Cadmio		Sales de fluoborato	Nieblas de fluoborato, vapor	C-3,2 (20)	20-75	
	Cobre		Fluoborato de cobre	Nieblas de fluoborato, vapor	C-3,2 (20)	20-75	
	Estaño		Fluoborato de estaño, ácido fluobórico	Nieblas de fluoborato	C-3,2 (20)	20-30	
	Indio		Sales de fluoborato	Nieblas de fluoborato, vapor	C-3,2 (20)	20-75	
	Níquel		Fluoborato de níquel	Nieblas de fluoborato	C-3,2 (20)	35-75	
	Plomo		Fluoborato de plomo-ácido fluobórico	Nieblas de fluoborato, ácido fluorhídrico	A-3	20-30	
	Zinc		Sales de fluoborato	Nieblas de fluoborato, vapor	C-3,2 (20)	20-75	
	Electrolitos cianurados	Bronce, latón	4, 5	Cianuros, hidróxido amónico	Niebla de cianuros, amoniaco	B-4,3 (20)	15-35
Cadmio		5	Ninguno	Ninguno	D-4	20-35	
Cobre		5, 6	Ninguno	Ninguno	D-4	20-70	
Cobre		5, 7	Cianuros, Hidróxido sódico	Cianuros, nieblas alcalinas, vapor	C-2	45-70	

Proceso	Tipo	Notas	Componentes del baño que pueden ser emitidos al ambiente (19)	Naturaleza física y química del contam. principal	Clase (18)	Margen usual de temp., °C
	Estaño-zinc	5	Cianuros, hidróxido potásico	Cianuros, nieblas alcalinas, vapor	C-3,2 (20)	50-60
	Indio	5	Cianuros, hidróxido potásico	Cianuros, nieblas alcalinas	C-3	20-50
	Metal blanco	5, 8	Cianuros, estannato sódico	Cianuros, nieblas alcalinas	C-3	50-65
	Plata	5	Ninguno	Ninguno	D-4	20-50
	Zinc	5, 9	Cianuros, hidróxido sódico	Cianuros, nieblas alcalinas	C-3,2 (7)	20-50
	Zinc brillante	5	Cianuros, hidróxido sódico	Cianuros, nieblas alcalinas	C-3	20-50
Electrolitos ácidos						
	Cobre	10	Sulfato de cobre, ácido sulfúrico	Nieblas de ácido sulfúrico	B-4,3 (20-21)	25-50
	Cromo		Ácido crómico	Nieblas de ácido crómico	A-1	35-60
	Estaño		Haluros de estaño	Nieblas de haluros	C-2	20-30
	Estaño	12	Ninguno	Ninguno	D-4	20-50
	Hierro		Cloruros, ácido clorhídrico	Nieblas de ácido clorhídrico, vapor	A-2	90-100
	Hierro	12	Ninguno	Ninguno	D-4	20-50
	Indio	12	Ninguno	Ninguno	D-4	20-50
	Indio	13, 14	Ácido sulfámico, sulfamatos	Nieblas de sulfamatos	C-3	20-30
	Níquel	3	Fluoruro amónico, ácido fluorhídrico	Nieblas de ácido fluorhídrico	A-3	40
	Níquel y níquel negro	12, 15	Ninguno	Ninguno	C-4 (22)	20-65
	Níquel	9, 12	Sulfato de níquel	Nieblas de sulfato de níquel	B-2	20-30
	Níquel	13, 14	Sulfanato de níquel	Nieblas de sulfamato	C-3	25-70
	Paladio	15	Ninguno	Ninguno	D-4	20-50
	Radio	12, 17	Ninguno	Ninguno	D-4	20-50
	Zinc		Cloruro de zinc	Nieblas de cloruro de zinc	B-3	25-50
	Zinc	12	Ninguno	Ninguno	D-4	20-120

Notas: 1 Puede producirse arsenamina debido a la presencia de arsénico en el metal o en el baño de pulido.

2 Baño alcalino.

3 Sobre magnesio.

4 También bronce de cobre-cadmio.

5 Puede desprenderse HCN debido a la acción acidificante del anhídrido carbónico atmosférico en la superficie del baño.

6 Baño de cianuro convencional.

7 Excepto en baños de cianuro convencionales.

8 Albaloy, Spekwhite, Bonwhite (aleaciones de cobre, estaño, zinc).

9 Empleando ánodos insolubles.

10 A más de 32° C.

11 Baño orgánico ligeramente ácido.

12 Baño de sulfato.

13 Baño de sulfamato.

14 Agitado por aire.

15 Baño de cloruro.

16 Baño de nitrato.

17 Baño de fosfato.

18 El tipo se refiere al grado de peligrosidad e índice de desprendimiento, Tablas 10.5-1, 10.5-2 y 10.5-3, en las condiciones usuales de funcionamiento. Temperaturas superiores, la agitación del baño, densidades de corriente superiores, y otras condiciones pueden dar lugar a un desprendimiento mayor.

19 Muchas de estas operaciones también liberan hidrógeno.

20 El desprendimiento máximo está asociado al más elevado de los valores de la temperatura.

21 Los baños que funcionan a temperaturas superiores a 60° C, con densidades de corriente superiores a 0,05 amp/cm² y agitación por aire tendrán un índice de desprendimiento superior.

22 Para el control del vapor de agua puede emplearse extracción localizada.

TABLA 10.5-8 Contaminantes generados por las operaciones de recuperación del material base

Superficie a ser atacada	Material base (Notas)	Componentes del baño que pueden ser emitidos al ambiente (f)	Naturaleza física y química del contam. principal	Clase (e)	Margen usual de temp. °C
Anodizado	1, 7	Ácido crómico	Nieblas ácidas, vapor	A-2	50-95
Bronce y latón	8, 14	Hidróxido sódico, cianuro sódico	Nieblas alcalinas y cianuradas	C-3,2 (g)	20-30
Cadmio	8, 14	(a) Hidróxido sódico, cianuro sódico, ácido clorhídrico	Nieblas alcalinas y cianuradas. Nieblas ácidas y ácido clorhídrico	C-3,2 (g) A-3,2 (g)	20-30 20-30
Cobre	8, 14	Hidróxido sódico, cianuro sódico	Nieblas alcalinas y cianuradas	C-3,2 (g)	20-30
	7, 12, 14	(b) Ninguno	Ninguno	D-4	20-30
	14	(a) Cianuros alcalinos	Nieblas cianuradas	C-3,2 (g)	20-70
	1	Ácido nítrico	Vapores nitrosos	A-1	20-50
	18	(a) Hidróxido sódico-sulfuro sódico	Nieblas alcalinas, vapor	C-2	85-90
Cromo	7, 8, 14	(a) Hidróxido sódico	Nieblas alcalinas, vapor	C-3	20-65
	2, 4, 8, 14	Ácido clorhídrico	Ácido clorhídrico	A-2	20-50
	2, 4, 8, 12	(2) Ácido sulfúrico	Nieblas ácidas	B-2	20-30
Estaño	2, 3, 4	Cloruro férrico, sulfato de cobre, ácido acético	Nieblas ácidas	B-4,3 (g)	20-30
		(a) Hidróxido sódico	Nieblas alcalinas	C-3	20-30
	2, 4, 14	Ácido clorhídrico	Ácido clorhídrico	A-3,2 (g)	20-30
	14	(a) Hidróxido sódico	Nieblas alcalinas	C-2	20-95
Fosfátados	15	Ácido crómico	Nieblas ácidas, vapor	A-3	75
	16	Hidróxido amónico	Amoniaco	B-3,2 (g)	20-30
Níquel	2, 4	Ácidos nítrico y sulfúrico	Vapores nitrosos	A-2,1 (g)	20-30
	2, 4	(a) Ácido clorhídrico	Ácido clorhídrico	A-3	20-30
	2, 4, 14	(a) Ácido sulfúrico	Nieblas ácidas	B-3	20-30
	7	Ácido fluorhídrico	Ácido fluorhídrico	A-3,2 (g)	20-30
	14	(a)(d) Ácido nítrico fumante	Vapores nitrosos	A-1	20-30
	1, 18, 19	(a) Agua caliente	Vapor	D-2 (h)	95
		(a) Ácido sulfúrico	Nieblas ácidas, vapor	B-3,2 (g)	20-65
Oro	4, 5, 6, 8, 9, 14	(a) Hidróxido sódico, Cianuro sódico	Nieblas alcalinas y cianuradas	C-3,2 (g)	20-30
	4, 5, 18	(a) Ácido sulfúrico	Nieblas ácidas	B-3,2 (g)	20-35
Óxido negro	14	Ácido clorhídrico	Ácido clorhídrico	A-3,2 (g)	20-55
Plata	1	Ácido nítrico	Vapores nitrosos	A-1	20-30
	2, 11	Ácidos nítrico y sulfúrico	Vapores nitrosos, vapor	A-1	85
	8, 14	(a) Hidróxido sódico, cianuro sódico	Nieblas alcalinas y cianuradas	C-3	20-30
	17	(a) Cianuro sódico	Nieblas cianuradas	C-3	20-30

Superficie a ser atacada	Material base (Notas)	Componentes del baño que pueden ser emitidos al ambiente (f)	Naturaleza física y química del contam. principal	Clase (e)	Margen usual de temp. °C
Plomo	13 (c) 14 (a),(c)	Ácido acético, agua oxigenada Hidróxido sódico	Nieblas oxigenadas Nieblas alcalinas, vapor	D-3 C-3,2 (g)	20-30 20-60
Radio	10	Ácidos sulfúrico y clorhídrico	Nieblas ácidas, ácido clorhídrico	A-3,2 (g)	20-40
Zinc	1 8, 14	Ácido nítrico Hidróxido sódico, sodio	Vapores nitrosos Nieblas alcalinas y cianuradas	A-1 C-3	20-30 20-30

Metal base:

1. Aluminio
2. Latón
3. Bronce
4. Cobre
5. Aleaciones de cobre
6. Aleaciones de hierro
7. Magnesio

8. Níquel
9. Aleaciones de níquel
10. Latón niquelado
11. Níquel plateado
12. Metales no férricos
13. Plata

14. Acero
15. Acero (recubrimientos del tipo manganeso)
16. Acero (recubrimientos del tipo cinc)
17. Metal blanco
18. Zinc
19. Fundición a base de cinc

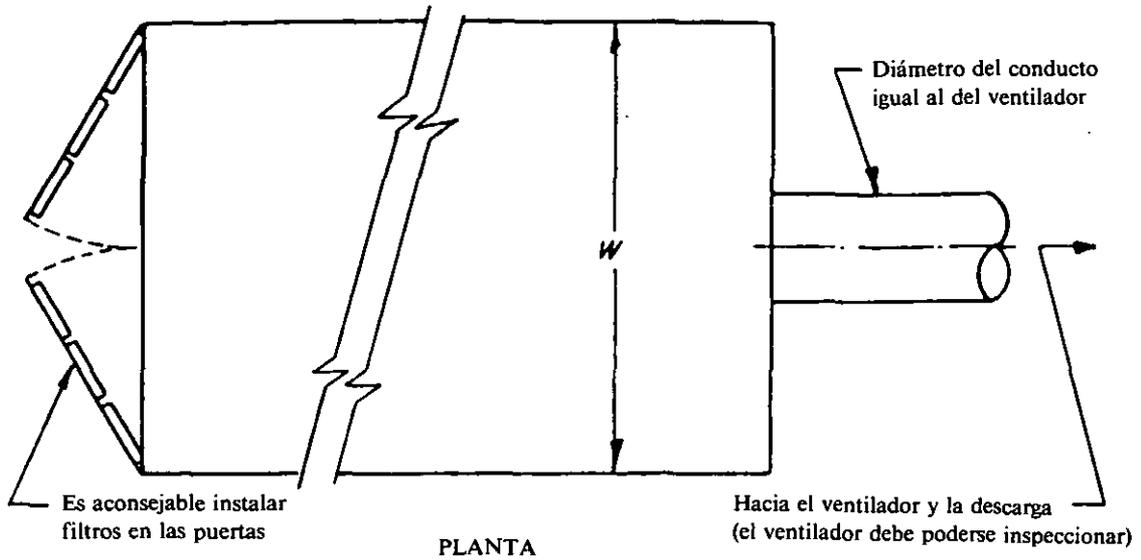
Notas:

- a) Proceso electrolítico.
- b) Cuando se emplea un baño de ácidos sulfúrico y crómico se refiere sólo al acero (14).
- c) También aleaciones de plomo.
- d) Baño de nitrato sódico.
- e) El tipo se refiere al grado de peligrosidad y el índice de desprendimiento, Tablas 10.5-1, 10.5-2 y 10.5-3, en las condiciones usuales de funcionamiento. Temperaturas superiores, la agitación del baño u otras condiciones pueden dar lugar a un desprendimiento mayor.

f) Algunas de las operaciones también liberan hidrógeno.

g) El desprendimiento máximo está asociado al más elevado de los valores de la temperatura.

h) A menos que se requiera un control total del vapor, una ventilación por dilución puede ser suficiente.



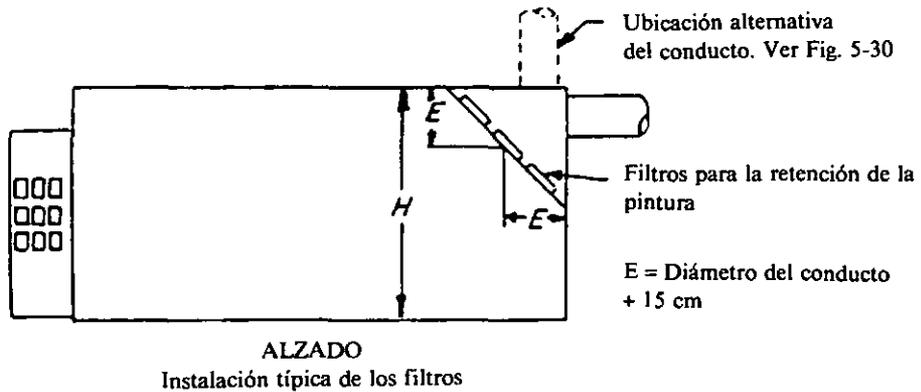
$Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de sección recta*

(Cuando $W \times H$ es mayor que 15 m^2 , $Q = 0,25 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$)

Pérdida en la entrada = $0,5 \text{ PD}$ más la resistencia de cada capa de filtros cuando estén sucios

Velocidad en el conducto = 5 a 15 m/s

Los filtros para la retención de la pintura deben diseñarse entre $0,5$ y $2,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie de filtro. Consulte al fabricante para mayores detalles



* Para aplicación sin aire (airless)
 $Q = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de sección recta

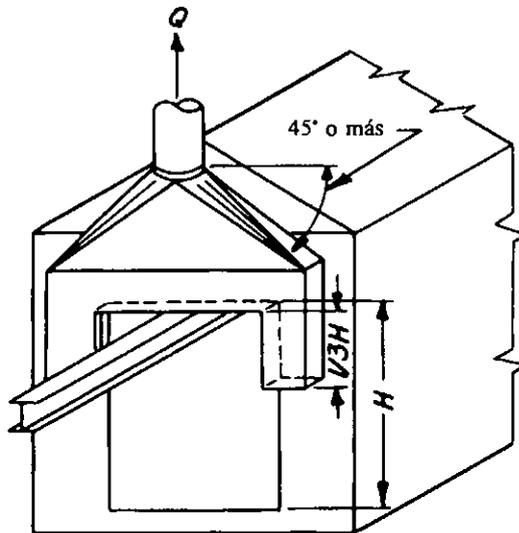
Para los detalles constructivos y de seguridad consultar los códigos NFPA⁽¹¹³⁾

PINTURA

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

CABINA PARA PINTADO
DE AUTOMÓVILES

FECHA 1-86 | VS-601

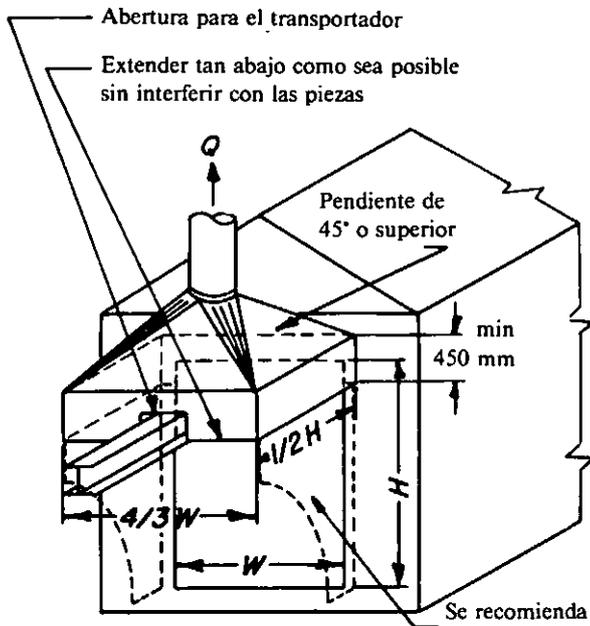


TIPO RENDIJA

$Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de boca más 1/2 de los productos de combustión
 Pérdida en la entrada = $PD_{\text{rendija}} + 0,25 PD_{\text{conducto}}$
 Velocidad en el conducto = 5-15 m/s

Dimensione el pléno para un máximo de 2,5 m/s

Rendija en tres lados dimensionada para 5 m/s y situada en el lado interior o el exterior de la puerta



TIPO TECHO

$Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de boca más 1/2 de los productos de combustión
 Pérdida en la entrada = $0,25 PD_{\text{conducto}}$
 Velocidad en el conducto = 5-15 m/s

Nota: Para secadores, incluya el volumen de agua evaporada
 Para secado de disolventes inflamables véase el Capítulo 2 "Ventilación por dilución para la prevención de incendios y explosiones"

Se recomienda el empleo de pantallas laterales

Nota: Una campana en cada extremo del secador. Las puertas deben ser tan pequeñas como sea posible. Los productos de combustión deben extraerse por separado

Para los aspectos constructivos y de seguridad debe consultarse NFPA⁽¹¹³⁾

PINTURA

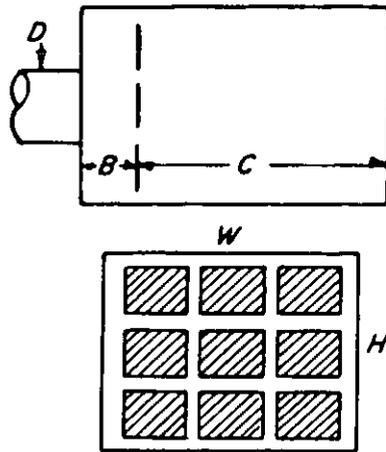
AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

VENTILACIÓN DE ESTUFAS
 DE SECADO

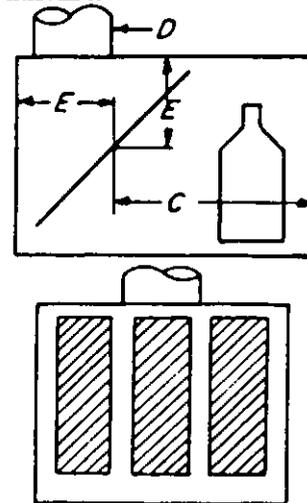
FECHA

1-78

VS-602



1. Deflectores o filtros
 $B = 0,75 D$
 Superficie de deflectores = $0,75 WH$
 Para el área de los filtros, ver Nota 2



2. Deflector angular
 $E = D + 150 \text{ mm}$
 Superficie de deflectores = $0,4 WH$
 Para el área de los filtros, ver Nota 2

Datos de diseño para el pintado aerográfico (air spray)

Puede emplearse cualquier combinación de conexiones de conducto y deflectores. Las cabinas grandes y profundas no requieren deflectores. Consulte a los fabricantes para el diseño de las cortinas de agua. Emplee material antideflagrante y ventiladores antichispa. Las cabinas para pintado electrostático requieren desconexión automática de la alta tensión en caso de fallo del transportador o del ventilador, o toma de tierra.

Cabinas con el operador en el interior

W = tamaño de las piezas + 2 m
 H = tamaño de las piezas + 1 m (mínimo 2 m)
 C = tamaño de las piezas + 2 m
 $Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de la sección recta de la cabina. Para cabinas muy grandes y profundas puede admitirse $0,375 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$. Es posible que el operador deba emplear protección respiratoria.

Cabinas con el operador en el exterior

W = tamaño de las piezas + 0,6 m
 H = tamaño de las piezas + 0,6 m
 $C = 0,75 \times$ dimensión mayor de la boca
 $Q = 0,5 - 0,75 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de las aberturas, incluyendo las del transportador

Pérdida en la entrada = Deflectores: $1,78 PD_{rendia} + 0,5 PD_{conducto}$
 = Filtros: Resistencia del filtro sucio + $0,5 PD_{conducto}$
 Velocidad en el conducto = 5-10 m/s

Datos de diseño para el pintado sin aire (airless)

$Q = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de sección recta (operador en el interior)
 = $0,3 - 0,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de aberturas totales (operador en el exterior)

Notas:

1. La disposición indicada de los deflectores es únicamente para la distribución del aire
2. Los filtros para la retención de la pintura se seleccionan habitualmente para $0,5 - 2,5 \text{ m/s}$; consulte al fabricante para los detalles específicos
3. Para los detalles constructivos y de seguridad consulte NFPA⁽¹¹³⁾

PINTURA

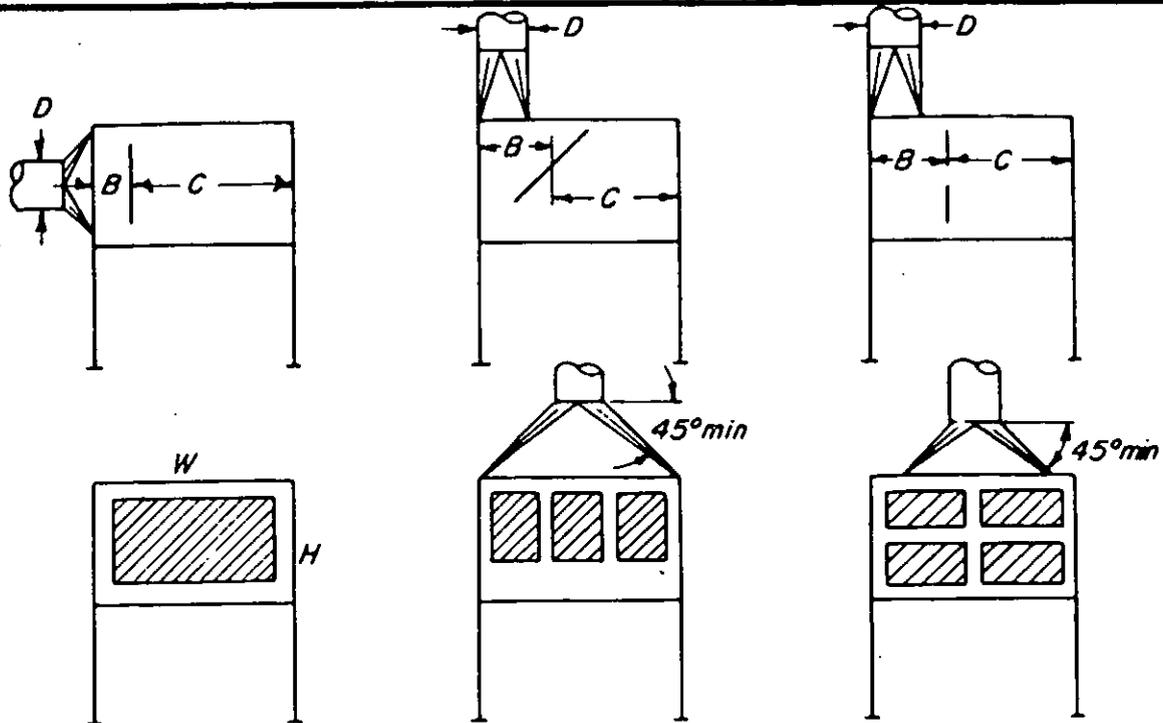
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

CABINAS GRANDES DE PINTURA

FECHA

1-86

VS-603



1. Deflector único

$$B = 0,75 D$$

$$\text{Área de deflector} = 0,6 WH$$

2. Deflector angular

$$B = D + 15 \text{ cm}$$

$$\text{Área de deflector} = 0,6 WH$$

3. Varios deflectores o filtros

$$B = D + 15 \text{ cm}$$

$$\text{Área de deflector} = 0,75 WH$$

Para el área de los filtros ver Nota 2

Datos de diseño para el pintado aerográfico (air spray)

Puede emplearse cualquier combinación de conexiones de conducto y deflectores

W = tamaño de las piezas + 30 cm

H = tamaño de las piezas + 30 cm

C = $0,75 \times$ dimensión mayor de la boca (W ó H)

Q = $1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de boca para bocas hasta $0,4 \text{ m}^2$

= $0,75 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ para bocas de más de $0,4 \text{ m}^2$

Pérdida en la entrada = Deflectores: $1,78 PD_{\text{rendija}} + 0,25 PD_{\text{conducto}}$

Filtros: Resistencia del filtro sucio + $0,25 PD_{\text{conducto}}$

Velocidad en el conducto = 5-15 m/s

Datos de diseño para el pintado sin aire (airless)

Q = $0,63 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de boca para bocas hasta $0,4 \text{ m}^2$

= $0,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de boca para bocas de más de $0,4 \text{ m}^2$

Notas:

1. La disposición indicada de los deflectores es únicamente para retención de la distribución del aire.
2. Los filtros para la retención de la pintura se seleccionan habitualmente para 0,5-2,5 m/s; consulte al fabricante para los detalles específicos.
3. Para los detalles constructivos y de seguridad consulte NFPA⁽¹¹³⁾

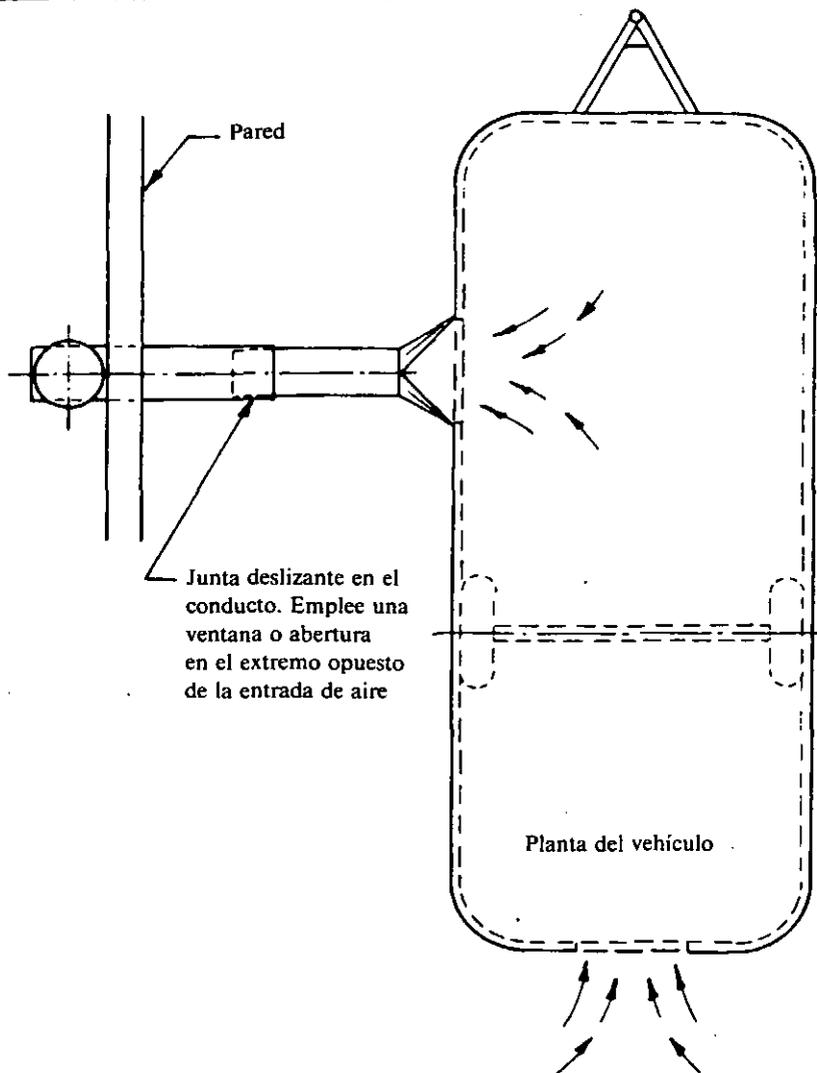
PINTURA

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

CABINAS PEQUEÑAS DE PINTURA

FECHA 1-86

VS-604



$Q = 0,25 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de la sección recta del vehículo
 Pérdida en la entrada = 0,25 PD
 Velocidad en el conducto = 5-15 m/s

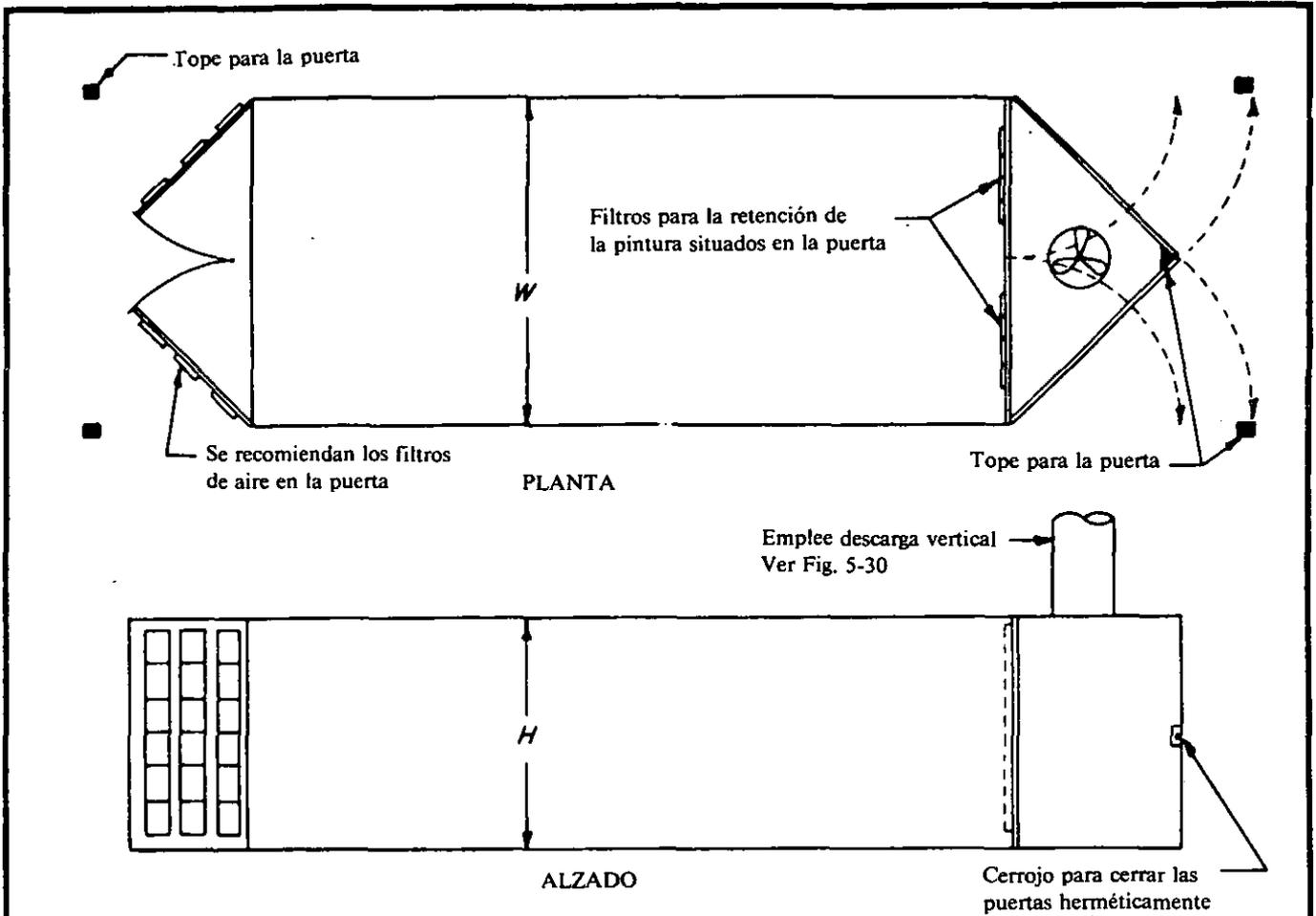
Nota: El operador debe emplear protección respiratoria con aporte de aire

Notas:

1. Los filtros para la retención de la pintura se seleccionan habitualmente para 0,5-2,5 m/s; consulte al fabricante para los detalles específicos.
2. Para los detalles constructivos y de seguridad consulte NFPA⁽¹¹³⁾

PINTURA

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS	
<i>PINTADO DEL INTERIOR DE VEHÍCULOS GRANDES</i>	
FECHA	1-86 VS-605



$$Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2 \text{ de sección recta}^*$$

(cuando WH es mayor de 14 m^2 , $Q = 0,25 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$)

Pérdida en la entrada = $0,5 \text{ PD}$ más la resistencia de los filtros cuando están sucios

Velocidad en el conducto = $5-15 \text{ m/s}$

Notas:

1. Es aconsejable enclavar el aire de aporte a la pistola con el extractor y el aporte de aire fresco.
2. Los filtros para la retención de la pintura se seleccionan habitualmente para $0,5-2,5 \text{ m/s}$; consulte al fabricante para los detalles específicos.
3. Para los detalles constructivos y de seguridad consulte NFPA⁽¹¹³⁾

* Para pintado sin aire (airless)
 $Q = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de sección recta

PINTURA

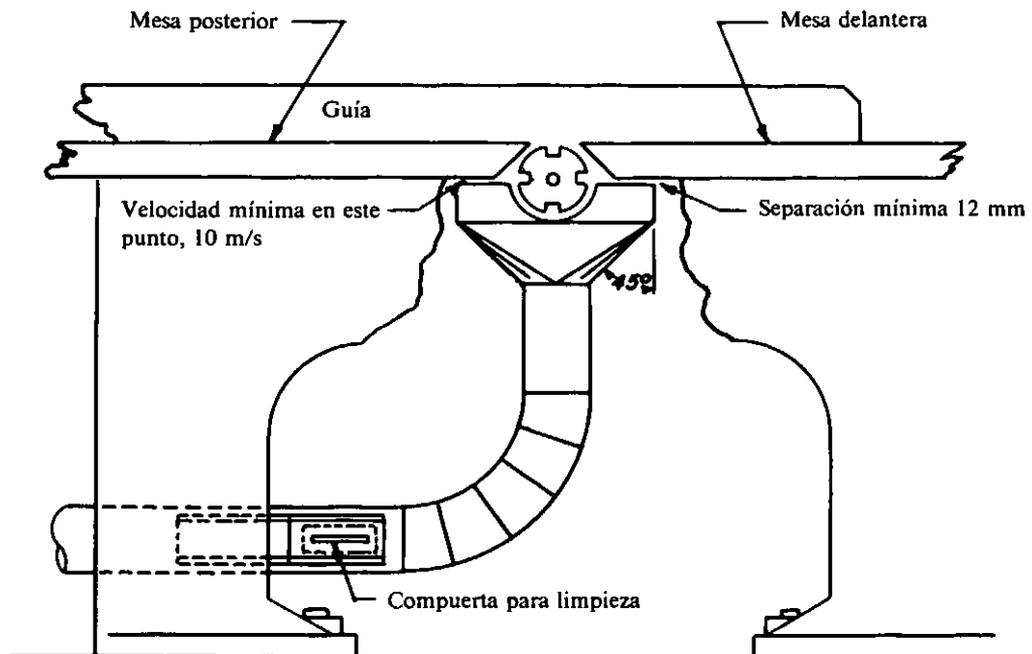
**AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

**CABINAS PARA EL PINTADO
 DE VEHÍCULOS**

FECHA

1-86

VS-606

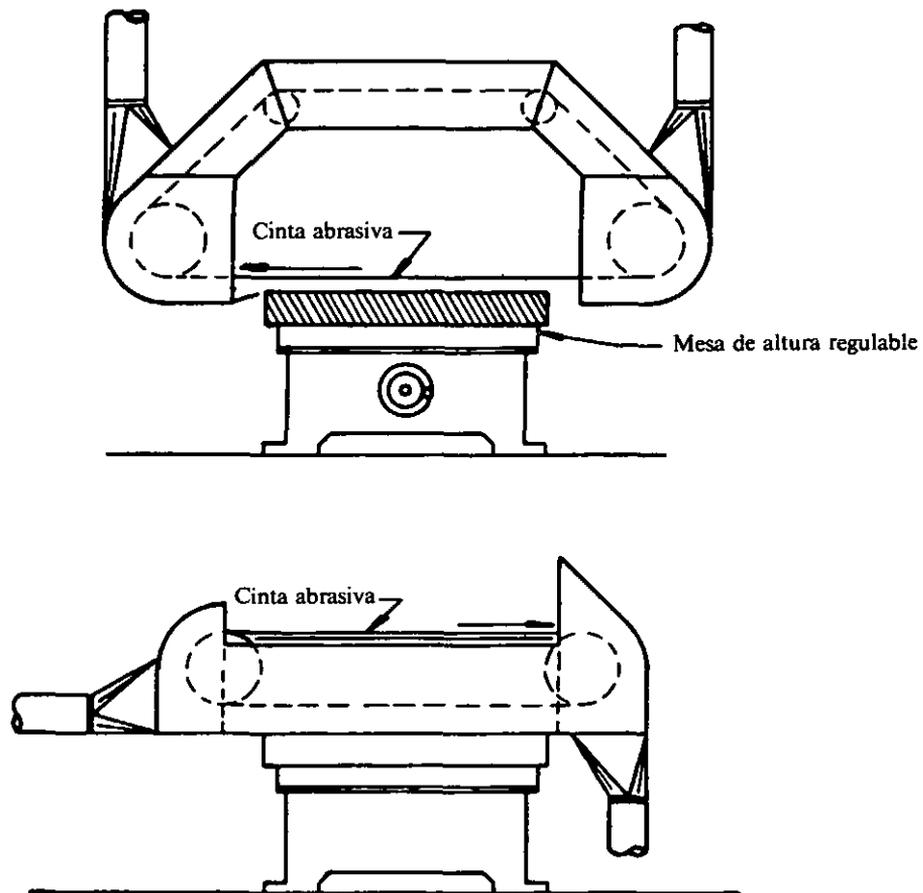


Longitud de la cuchilla, cm	Caudal de extracción, m ³ /s
hasta 15	0,17
más de 15 hasta 30	0,21
más de 30 hasta 50	0,26
más de 50	0,38

Velocidad en el conducto = 18 m/s
 Pérdida en la entrada = $PD_{rendija} + 0,25 PD_{conducto}$

TRABAJO DE LA MADERA

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS	
<i>ENSAMBLADORA</i>	
FECHA	1-64 VS-701



LIJADORAS DE BANDA HORIZONTAL

Anchura de la cinta, cm	Caudal de extracción, m ³ /s		
	Cabecera	Cola	Total
hasta 15	0,21	0,16	0,37
más de 15 hasta 22,5	0,26	0,16	0,42
más de 22,5 hasta 35	0,38	0,21	0,59
más de 35	0,52	0,26	0,78

Velocidad en el conducto = 18 m/s

Pérdida en la entrada = 0,4 PD para acoplamiento progresivo de entrada al conducto

TRABAJO DE LA MADERA

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

LIJADORAS DE BANDA
HORIZONTAL

FECHA

1-64

VS-702

Campana principal

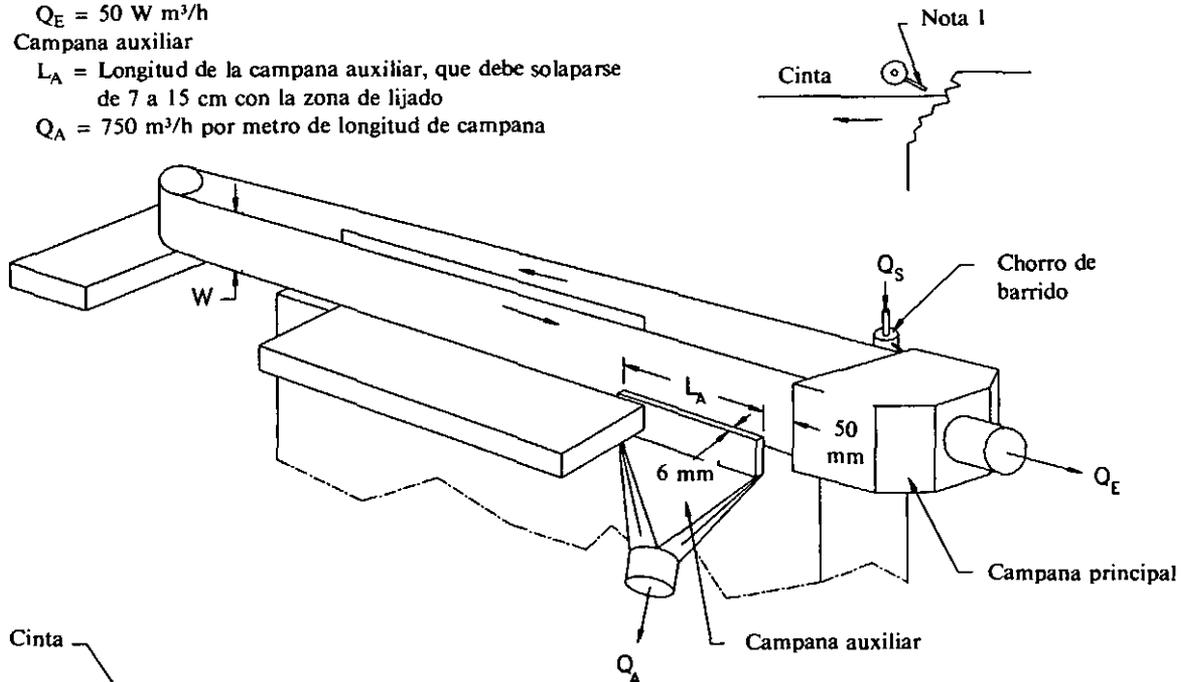
W = anchura de la cinta, cm

$Q_E = 50 W \text{ m}^3/\text{h}$

Campana auxiliar

L_A = Longitud de la campana auxiliar, que debe solaparse de 7 a 15 cm con la zona de lijado

$Q_A = 750 \text{ m}^3/\text{h}$ por metro de longitud de campana



Nota 1

Cinta

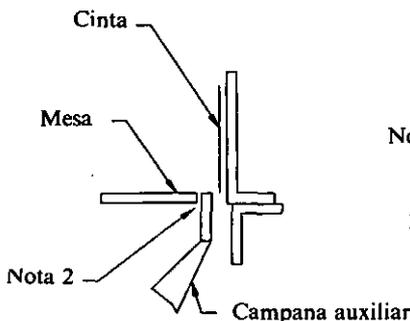
Chorro de barrido

50 mm

Campana principal

Campana auxiliar

Q_A



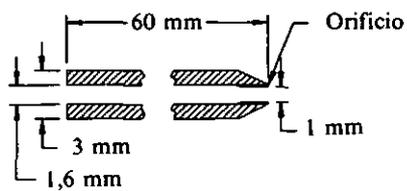
Mesa

Nota 2

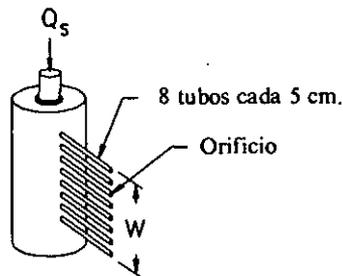
Campana auxiliar

Notas:

1. El extremo de los tubos de barrido deben situarse a 6 mm de la banda y dentro de la boca de la campana.
2. Las separaciones entre la campana, la cinta y la mesa deben ser mínimas.



Detalle del tubo



Chorro de barrido

W = anchura de la cinta, cm

$Q_S = 0,85 \text{ m}^3/\text{h}$ por tubo presión en la entrada, 0,7-0,8 atm

Referencia 161

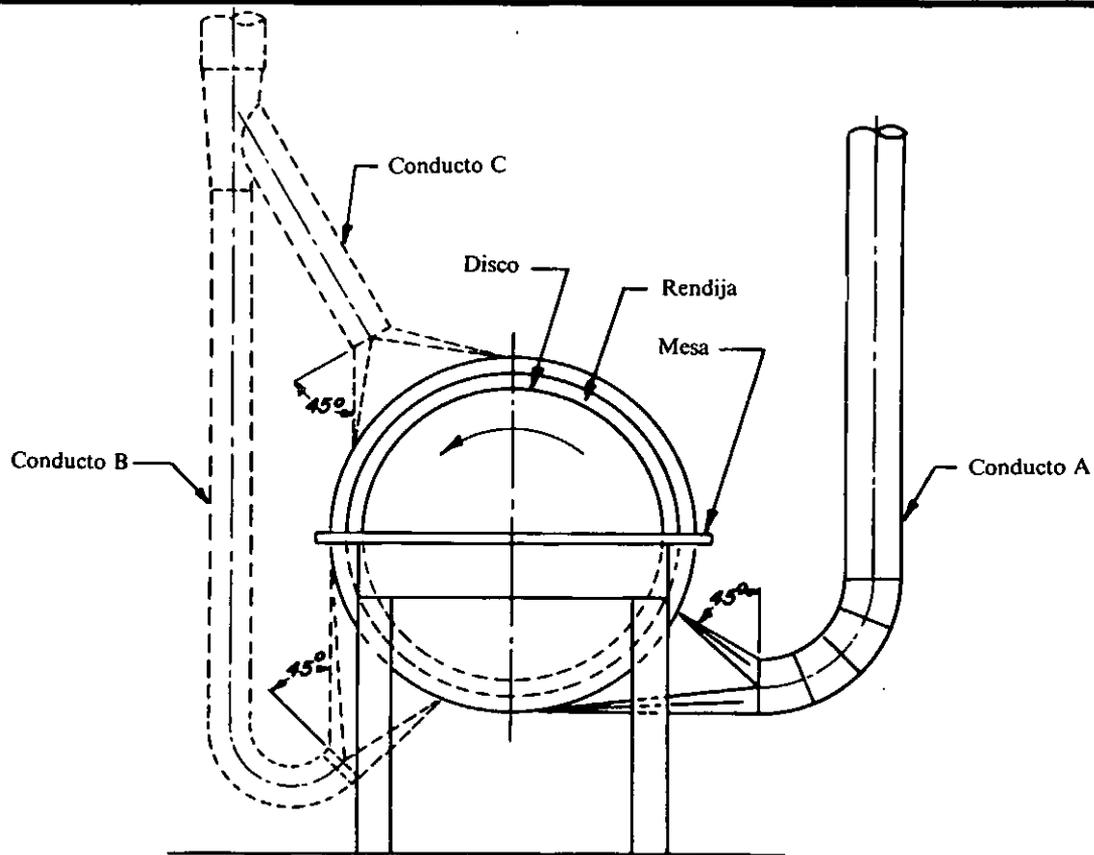
TRABAJO DE LA MADERA

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

LIJADORA DE BANDA HORIZONTAL

FECHA 1-88

FIGURA VS-702.1



<i>Diámetro del disco, cm</i>	<i>Caudal total de extracción, m³/s</i>	<i>Aplicable al conducto</i>
hasta 30	0,17	A
más de 30 hasta 45	0,21	A
más de 45 hasta 66	0,26	A
más de 66 hasta 81	0,33*	A - B
más de 81 hasta 96	0,42*	A - B
más de 96 hasta 122	0,59**	A - B - C

* Dos ramas en la parte baja.

** Una rama en la parte alta y dos en la parte baja.

Velocidad en el conducto = 18 m/s

Pérdida en la entrada = Depende del diseño de la campana

$$PD_{\text{rendija}} + 0,25 PD_{\text{conducto}}$$

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

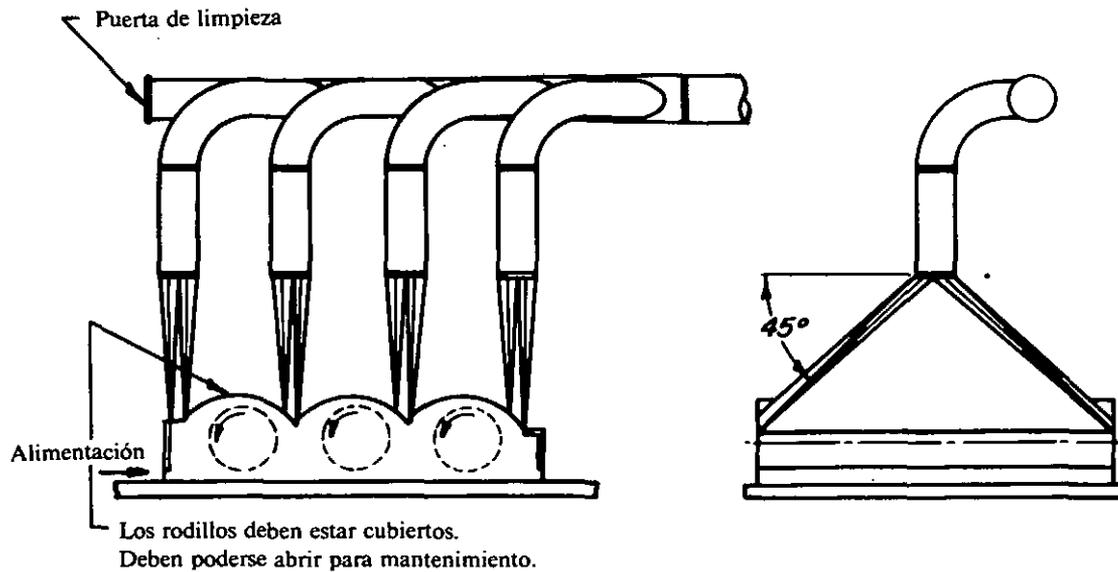
LIJADORA DE DISCO

TRABAJO DE LA MADERA

FECHA

1-64

VS-703



CAUDALES DE EXTRACCIÓN

<i>Longitud del rodillo, cm</i>	<i>Caudal de extracción m³/s por rodillo*</i>
hasta 79	0,26
más de 79 hasta 125	0,37
más de 125 hasta 170	0,52
más de 170	0,66
Cepillos	0,17 por cepillo

* Como mínimo una campana por rodillo.
Es aconsejable instalar una campana adicional en el lado de la alimentación.

Velocidad en el conducto = 18 m/s
Pérdida en la entrada = 0,25 PD_{conducto}

TRABAJO DE LA MADERA

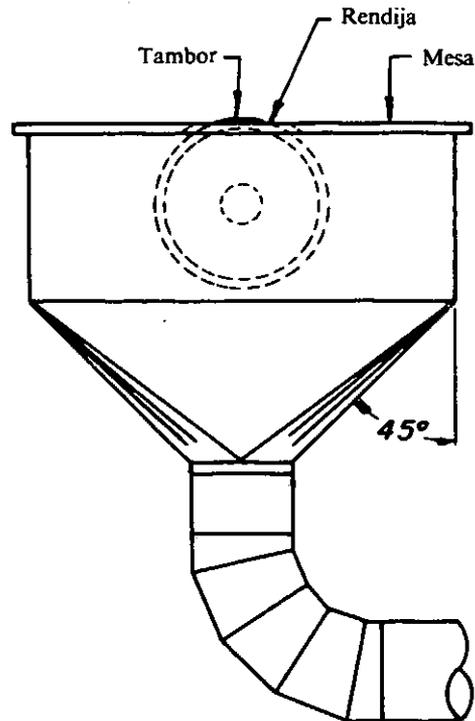
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

LIJADORA DE RODILLOS MÚLTIPLES

FECHA

1-64

VS-704



<i>Superficie de tambor, cm²</i>	<i>Caudal de extracción m³/s</i>
Hasta 31 (y de diámetro < 25 cm)	0,17
más de 31 hasta 62	0,26
más de 62 hasta 109	0,37
más de 109 hasta 217	0,52
más de 217 hasta 372	0,66

Velocidad en el conducto = 18 m/s

Pérdida en la entrada = Depende del diseño de la campana

$$1,78 PD_{rendija} + 0,25 PD_{conducto}$$

TRABAJO DE LA MADERA

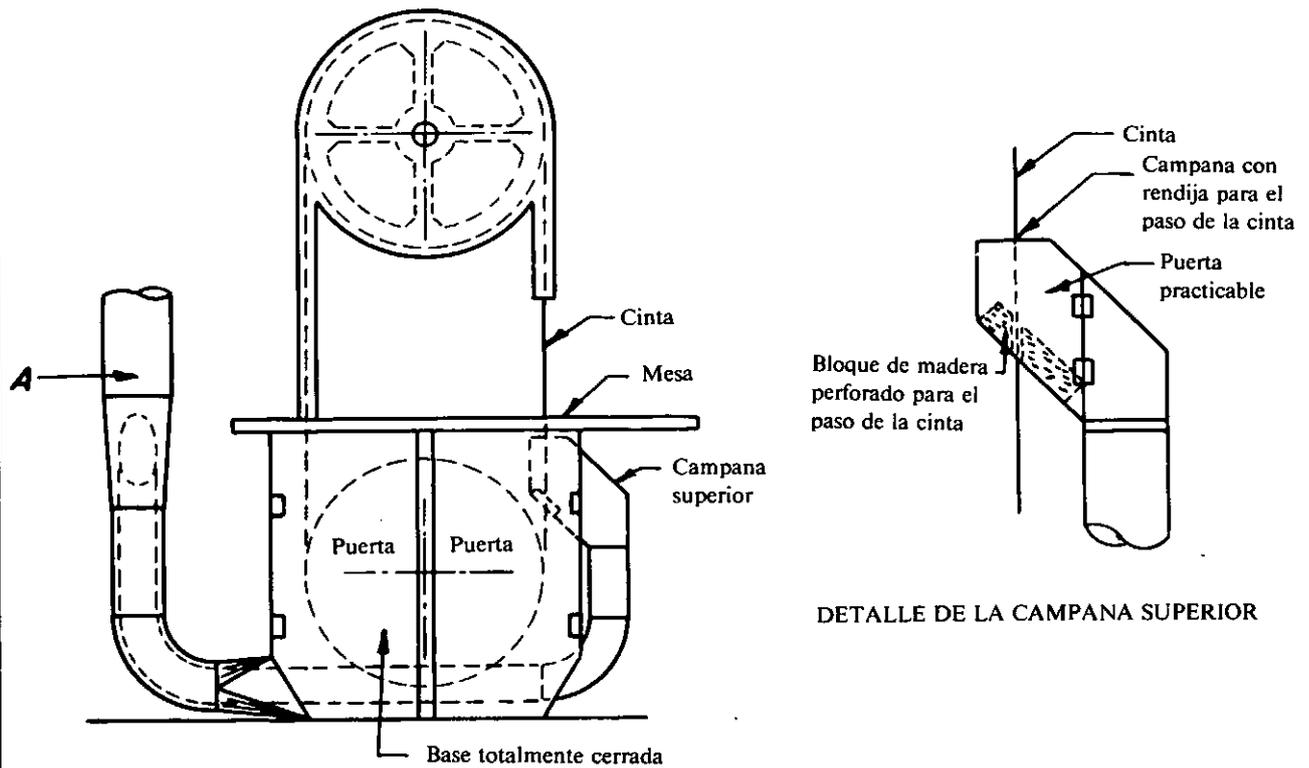
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

LIJADORA DE TAMBOR

FECHA

1-64

VS-705



Anchura de cinta, cm	Caudal de extracción, m ³ /s		
	Fondo	Superior	Total
hasta 5	0,17	0,17	0,34
más de 5 hasta 7,5	0,17	0,26	0,43
más de 7,5 hasta 10	0,26	0,38	0,64
más de 10 hasta 15	0,26	0,52	0,78
más de 15 hasta 20	0,26	0,66	0,92

Velocidad en el conducto = 18 m/s

Pérdida en la entrada = 1,75 PD en el conducto ascendente (punto A)

TRABAJO DE LA MADERA

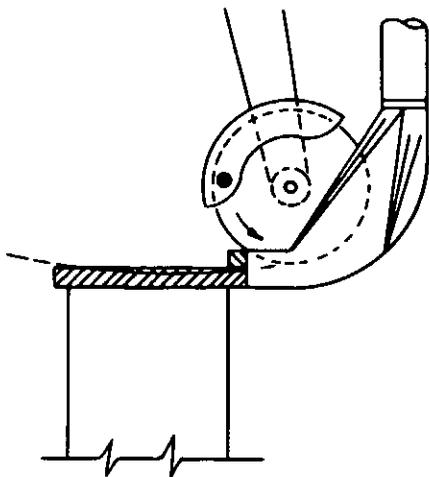
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

SIERRA DE CINTA

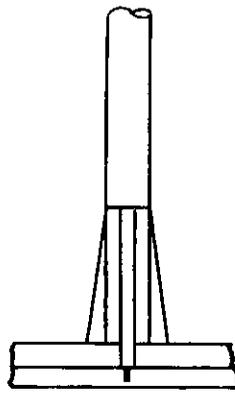
FECHA

1-66

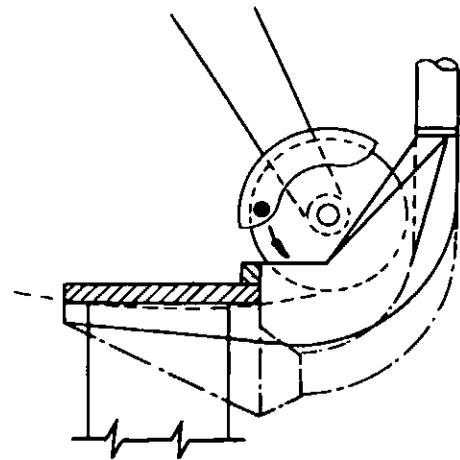
VS-706



Diseño de la campana para sierras que no descienden por debajo del plano de la mesa



Alzado de la campana



Diseño de la campana para sierras que descienden por debajo del plano de la mesa

<i>Diámetro de la sierra, cm</i>	<i>Caudal de extracción m³/s</i>
hasta 50	0,17
más de 50	0,21

Velocidad en el conducto = 18 m/s

Pérdida en la entrada = 1,78 PD_{rendija} + 0,25 PD_{conducto}

TRABAJO DE LA MADERA

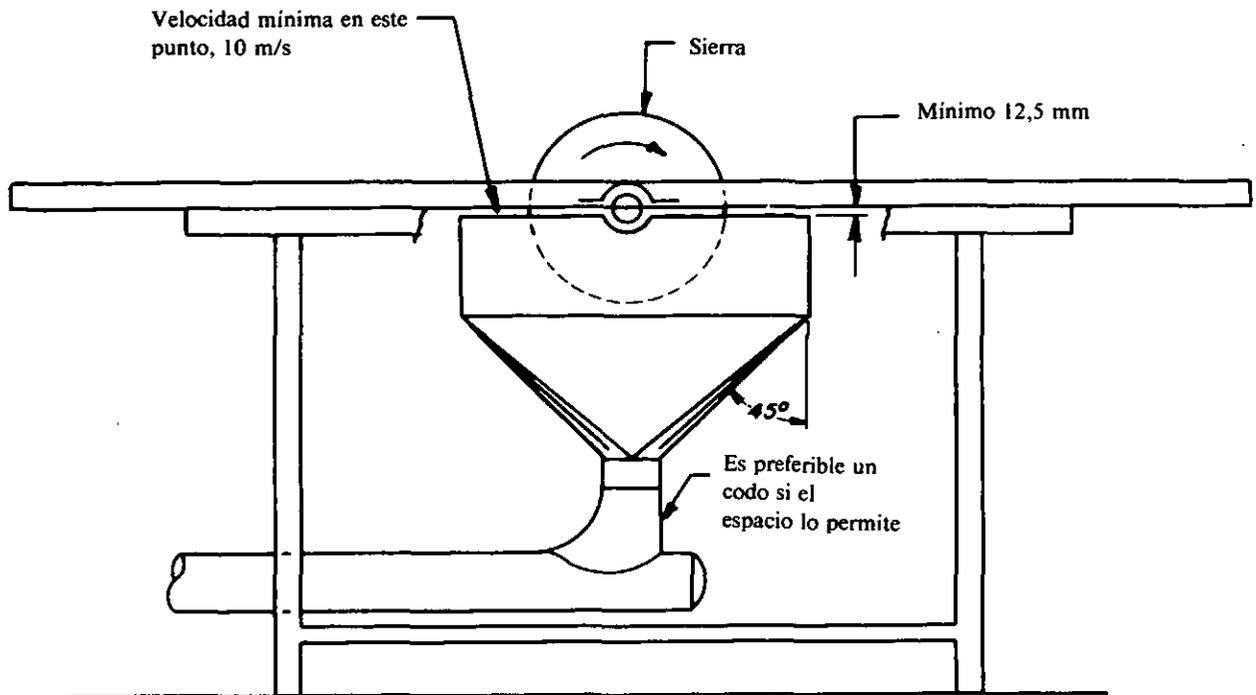
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

SIERRA OSCILANTE

FECHA

1-64

VS-707



SIERRA CIRCULAR, INGLETADORA,
SIERRAS AL HILO Y OTRAS

<i>Diámetro de la sierra cm</i>	<i>Caudal de extracción m³/s</i>
hasta 41	0,17
más de 41 hasta 61	0,21
más de 61	0,26
Tipo con zócalo	0,26

Velocidad en el conducto = 18 m/s

Pérdida en la entrada = $1,0 PD_{\text{rendija}} + 0,25 PD_{\text{conducto}}$

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

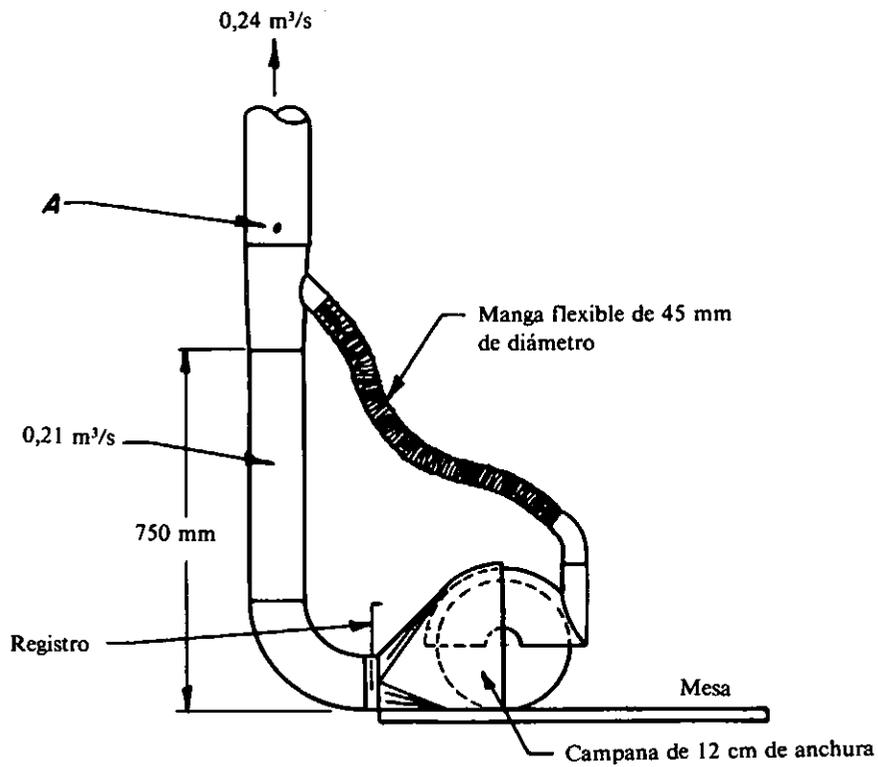
SIERRA CIRCULAR

TRABAJO DE LA MADERA

FECHA

1-68

VS-708



Velocidad en el conducto = 18 m/s

Pérdida en la entrada = 3,5 PD en el conducto ascendente (punto A)

Para la cabina de encerramiento, ver VS-401

TRABAJO DE LA MADERA

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

SIERRA RADIAL

FECHA 1-68

VS-709

TABLA 10.7-1 Maquinaria diversa para madera no incluida en las hojas VS

La siguiente lista de caudales de extracción recomendados se refiere a máquinas de tamaño medio, y está basada en muchos años de experiencia. Debe tenerse en cuenta que algunas máquinas modernas de muy alta velocidad o gran tamaño producen cantidades de serrín tan elevadas que es necesario emplear caudales más elevados. Asimismo, algunas máquinas de uso doméstico o de sobremesa pueden emplearse con caudales menores a los indicados.

Sierras simples para corte al hilo

Diámetro, cm	Caudal de extracción, m ³ /s		
	Base	Cabeza	Total
Hasta 40	0,21	0,17	0,38
Más de 40	0,26	0,17	0,43
Autoalimentada sin mesa	0,38	0,26	0,64

Sierras múltiples para cortes al hilo

Diámetro, cm	Caudal de extracción, m ³ /s		
	Base	Cabeza	Total
Hasta 60	0,26	0,17	0,43
Más de 60 hasta 90	0,38	0,21	0,59
Más de 90 hasta 120	0,52	0,26	0,78
Más de 120	0,66	0,26	0,92

Lijadoras de banda vertical

(con la parte posterior de la cinta y ambas poleas encerradas)

y

Lijadoras horizontales de banda superior

Ancho de cinta, cm	Caudal, m ³ /s
Hasta 15	0,21
Más de 15 hasta 23	0,26
Más de 23 hasta 35	0,38
Más de 35	0,52

Lijadoras de brazo oscilante: 0,21 m³/s

Regruesadoras o cepilladoras simples

Cuchilla Tamaño cm	Caudal, m ³ /s
Hasta 50	0,37
Más de 50 hasta 65	0,52
Más de 65 hasta 80	0,66
Más de 80 hasta 95	0,83
Más de 95 cm	1,04

Regruesadoras o cepilladoras dobles

Moldureras, escuadradoras y machihembradoras

Cuchilla Tamaño, cm	Caudal de extracción, m ³ /s			
	Base	Cabeza	Derecha	Izquierda
Hasta 18	0,21	0,26	0,17	0,17
Más de 18 hasta 31	0,26	0,38	0,21	0,21
Más de 31 hasta 48	0,38	0,52	0,26	0,26
Más de 48 hasta 61	0,52	0,66	0,38	0,38
Más de 61	0,66	0,84	0,52	0,52

Regruesadoras o cepilladoras dobles

Cuchilla Tamaño cm	Caudal, m ³ /s		
	Base	Cabeza	Total
Hasta 50	0,26	0,37	0,63
Más de 50 hasta 65	0,37	0,52	0,89
Más de 65 hasta 80	0,52	0,66	1,18
Más de 80 hasta 95	0,66	0,85	1,51
Más de 95	0,66	1,04	1,70

	Caudal de extracción, m ³ /s
Ensambladora de marcos	0,26
Tupí	0,21 a 0,66
Espigadora	Igual que la moldurera
Torno automático	0,38 a 2,35
Torno copiador	0,16 a 0,66
Escopleadora de cadena	0,16
Espigadora doble	0,16 a 0,38
Escuadradora	0,26
Ensambladora de cola de milano	0,26 a 0,38
Ensambladora encoladora	0,38
Ranuradora	0,17 a 0,66
Perfiladora	0,17 a 0,38
Trituradoras	
Hasta 30 cm de ancho	0,66
Más de 30 cm de ancho	1,46
Barredora	
15 a 20 cm de diámetro	0,38 a 0,66

SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE ALTA VELOCIDAD Y BAJO CAUDAL

La extracción de alta velocidad y bajo caudal es el sistema empleado para el control del polvo generado por herramientas portátiles. El control se consigue aspirando el aire en la zona inmediata del punto de generación del contaminante mediante el empleo de campanas de diseño especial particularmente ajustadas a la operación concreta de que se trate. Las velocidades de captura son relativamente elevadas, a pesar de lo cual el caudal de aspiración es pequeño gracias a la proximidad entre el punto de generación y la campana. Para una mayor flexibilidad, en el caso de herramientas portátiles se emplean campanas de pequeño diámetro construidas en plástico, lo que conduce a velocidades muy elevadas en los conductos. Este método permite el empleo de aspiración localizada en las herramientas portátiles que, de otro modo, requerirían caudales de aspiración relativamente elevados y conductos de considerable tamaño.

Esta técnica ha encontrado un amplio número de aplicaciones, aunque su empleo no es corriente. El polvo producido en la perforación de rocas se ha controlado mediante el empleo de brocas huecas con orificios a través de los cuales se efectúa la extracción. El aire es extraído bien mediante un ventilador de múltiples etapas del tipo de los empleados en los equipos de limpieza por aspiración o, en el caso de un fabricante (71), mediante el paso a través de un Venturi del escape del aire comprimido que acciona la propia herramienta. Se ha aplicado también, mediante conductos flexibles conectados a una central de aspiración, para el control del polvo de grafito generado en operaciones convencionales de mecanizado. Para ello se utilizaron conductos flexibles, de diámetros comprendidos entre 2,5 y 5 cm, conectados a campanas simples montadas directamente sobre las herramientas de corte. En una aplicación similar para el mecanizado de berilio (72), se empleó un sistema de aspiración centralizado y conexiones flexibles de 1,5 pulgadas de diámetro interior. Las campanas se construyeron en material transparente y de forma tal que rodeaban la herramienta y gran parte de la pieza. Los caudales de aspiración variaron entre 0,06 y 0,07 m³/s con velocidades de entrada de 50 a 71 m/s. En otra aplicación (73), a una lijadora orbital se le instaló una campana que rodeaba el borde de la lija y se conectó a un pequeño conducto de extracción. Mediante un acoplamiento se unía dicho conducto a un aspirador doméstico convencional.

Las Figuras VS-801 a VS-806, 802, 803 y 804 presentan un conjunto de diseños específicos disponibles en el mercado (74). Los caudales de aire requeridos oscilan desde 0,028 m³/s para los cinceles neumáticos hasta los 0,18 m³/s para las amoladoras oscilantes (ver la Tabla 10.8-1). Debido a las elevadas velocidades de entrada del aire, las presiones estáticas se encuentran en el margen de 18 a 36 cm de mercurio. Estas presiones tan elevadas son necesarias para crear velocidades de entrada suficientemente altas en la fuente de polvo y así controlar éste.

Tabla 10.8-1 Caudales de extracción requeridos para los sistemas de alta velocidad y bajo caudal

	m ³ /s	Diámetro interior del tubo de plástico, cm
Lijadora de disco, 8-22 cm de diámetro	0,028-0,083	2,5-4
Lijadora orbital, 10 × 22 cm	0,04	3
Fresadora manual, 0,3-2,5 cm	0,037-0,04	2,5-3
Lijadora de cinta, 8 cm-20 m/s	0,033	2,5
Buril neumático	0,028	2,5
Amoladora radial	0,033	2,5
Rectificadora manual, 6 mm	0,028	2,5
Amoladora cónica	0,042	3
Amoladora de copa cilíndrica, 10 cm	0,04	3
Cepillo de copa, 15 cm	0,07	4
Cepillo radial, 15 cm	0,042	3
Cepillo metálico manual 8 × 20 cm	0,028	2,5
Sierra de sable	0,05	4
Amoladora oscilante 5 × 45 cm	0,18	6
Sierra abrasiva 8 cm	0,04	4

El polvo es transportado a velocidades elevadas a través de conductos flexibles de pequeño diámetro interior, que varía entre un centímetro y 2,5 cm. El aire es aspirado mediante un ventilador centrífugo de varias etapas capaz de producir presiones estáticas de aproximadamente 30 cm de mercurio. Los aspiradores de desplazamiento positivo y una sola etapa tienen la ventaja de que pueden generar vacíos de hasta 55 cm de mercurio. El filtro de mangas mmca puede limpiarse mediante una simple válvula manual que introduce aire en el lado limpio del filtro poniéndolo a presión. Puesto que el lado sucio se encuentra a una presión muy por debajo de la atmosférica, se logra así un flujo rápido de aire a través del tejido, forzando la limpieza del lado sucio.

Diseño-Cálculos

Con la excepción del sistema comercial citado más arriba, que puede comprarse "llave en mano", los cálculos para el diseño de este tipo de sistemas son esencialmente empíricos. En la práctica habitual de la ventilación el aire se considera incomprensible, pues las pequeñas presiones involucradas hacen que esta hipótesis sea razonablemente cierta. Sin embargo, en este tipo de sistemas, las extremas presiones con las que se trabaja introducen problemas de densidad del aire, compresibilidad y viscosidad que no son fáciles de resolver. Asimismo, no es fácil obtener datos de

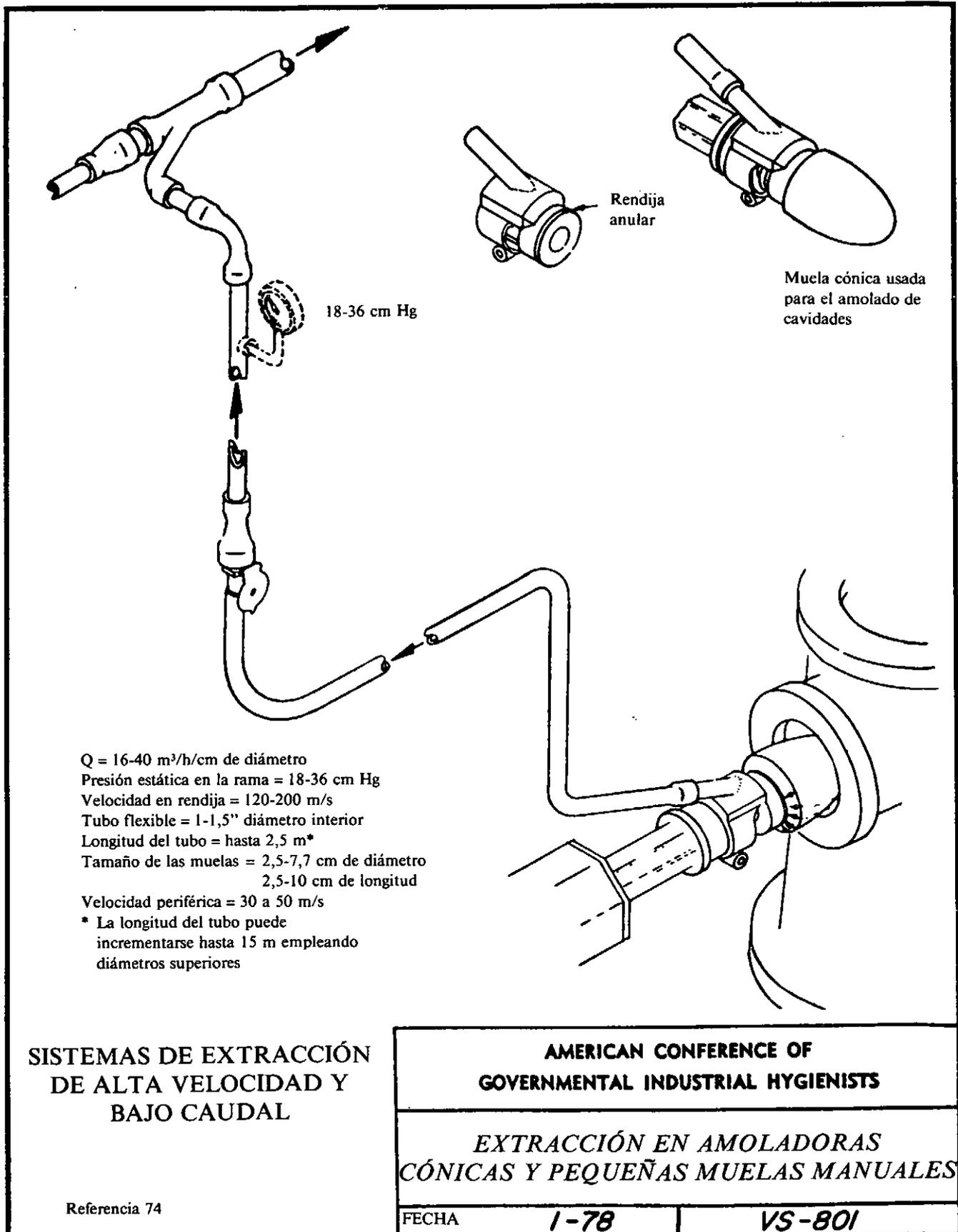
pérdida de carga en conductos de pequeño diámetro, especialmente tubos flexibles. A efectos prácticos, el extractor debe seleccionarse para el máximo caudal simultáneo requerido. La resistencia del tubo debe mantenerse tan baja como sea posible; el empleo de tubo flexible de diámetro inferior a 2,5-4 cm debe limitarse a 3 metros o menos. En la mayor parte de las aplicaciones esto no es un problema importante.

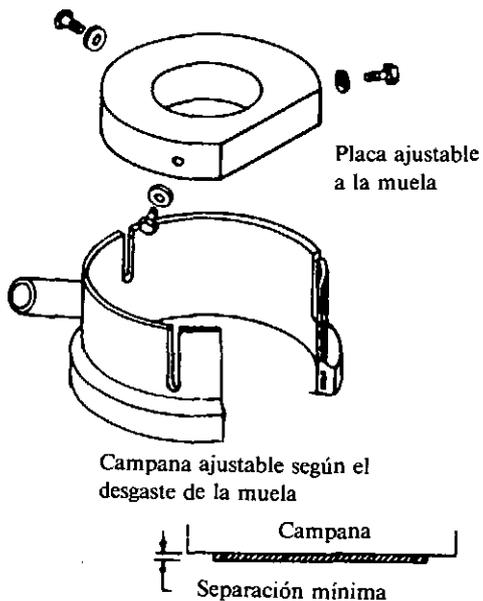
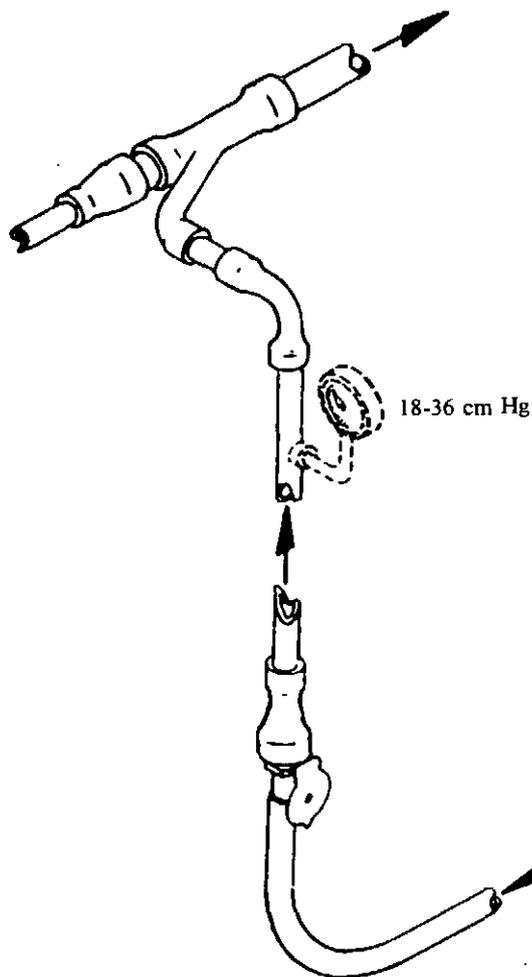
La principal consideración respecto al diseño de las tuberías en estos sistemas es proporcionar una configuración interna lo más lisa posible a fin de reducir la pérdida de carga a las altas velocidades a las que circula el aire y minimizar la abrasión. El tubo ordinario de uniones roscadas no debe emplearse, debido a que el "labio" de los racores de unión representa una discontinuidad que es fuente de una elevada pérdida de carga y puede constituir un punto de abrasión preferente.

En el caso de que se empleen conexiones roscadas, éstas deberán ser especiales, de forma que se evite el efecto descrito en el párrafo anterior. Existen en el mercado sistemas de uniones rápidas especiales que evitan este problema. En todos los casos deberán instalarse codos largos, de curvatura suave.

Para los sistemas de extracción de polvo es necesario instalar un buen separador aguas arriba del extractor, a fin de minimizar la erosión de sus delicadas paletas y la consiguiente pérdida de rendimiento. El equilibrado final del sistema puede conseguirse variando la longitud y diámetro de los pequeños tubos flexibles.

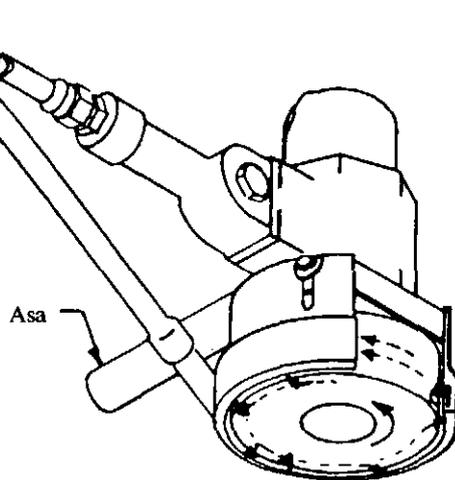
Debe destacarse que, aunque los datos son empíricos, estos sistemas requieren un diseño tan cuidadoso como los convencionales. Los cambios bruscos de dirección, los ensanchamientos y las contracciones deben evitarse, poniendo siempre especial cuidado en minimizar la pérdida de carga.





Q = 16-40 m³/h/cm de diámetro
 Presión estática en la rama = 18-36 cm Hg
 Velocidad en rendija = 150-200 m/s
 Tubo flexible = 1 a 2" diámetro interior
 Longitud del tubo = hasta 2,5 m*

* La longitud del tubo puede incrementarse hasta 15 metros empleando diámetros superiores



Campana ajustada a la muela

SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE ALTA VELOCIDAD Y BAJO CAUDAL

Referencia 74

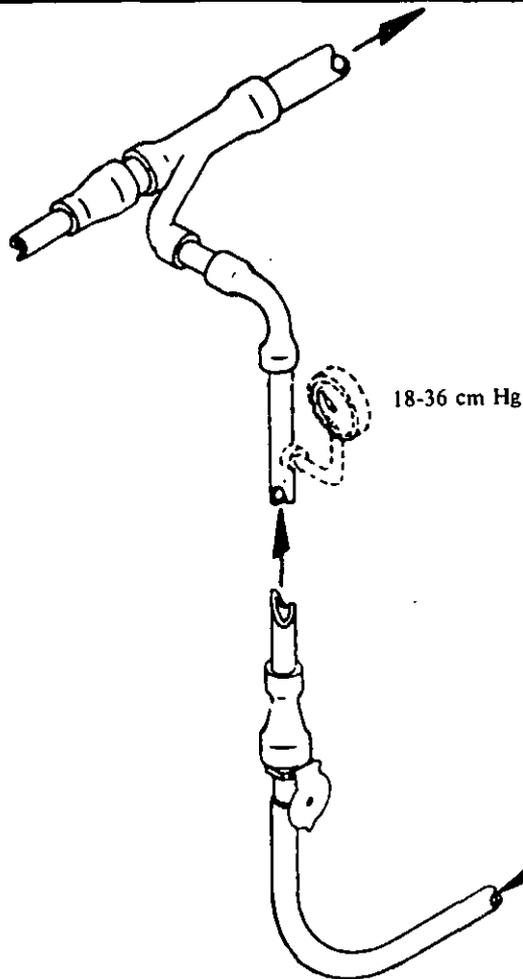
AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

CAMPANA PARA AMOLADORAS DE COPA CILÍNDRICAS Y CEPILLOS METÁLICOS

FECHA

1-78

VS-802

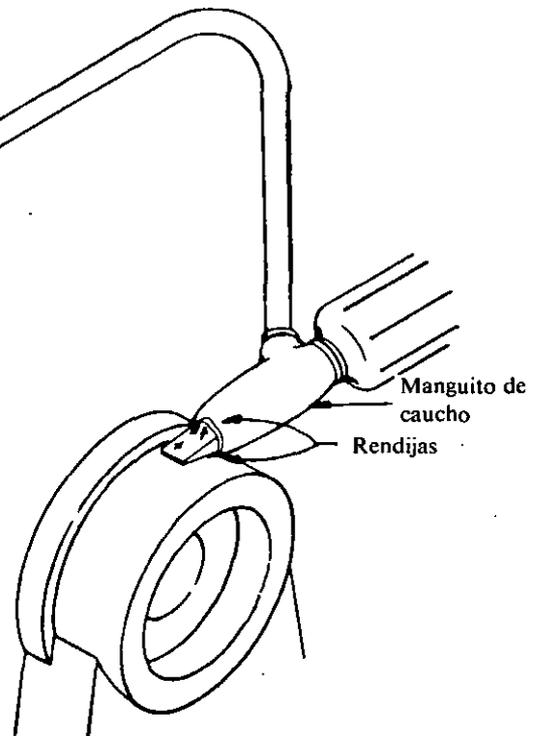


El polvo se extrae a través de orificios practicados en la carcasa de caucho, a ambos lados de la cuchilla

18-36 cm Hg

Q = 16-40 m³/h/cm de diámetro
 Presión estática en la rama = 18-36 cm Hg
 Velocidad en rendija = 120 a 200 m/s
 Tubo flexible = 1 a 1,5" diámetro interior
 Longitud del tubo = hasta 2,5 m*
 Dimensiones de cuchilla = 20 mm octogonal
 22 mm octogonal
 22 mm hexagonal

* La longitud del tubo puede incrementarse hasta 15 m empleando diámetros superiores



SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE ALTA VELOCIDAD Y BAJO CAUDAL

Referencia 74

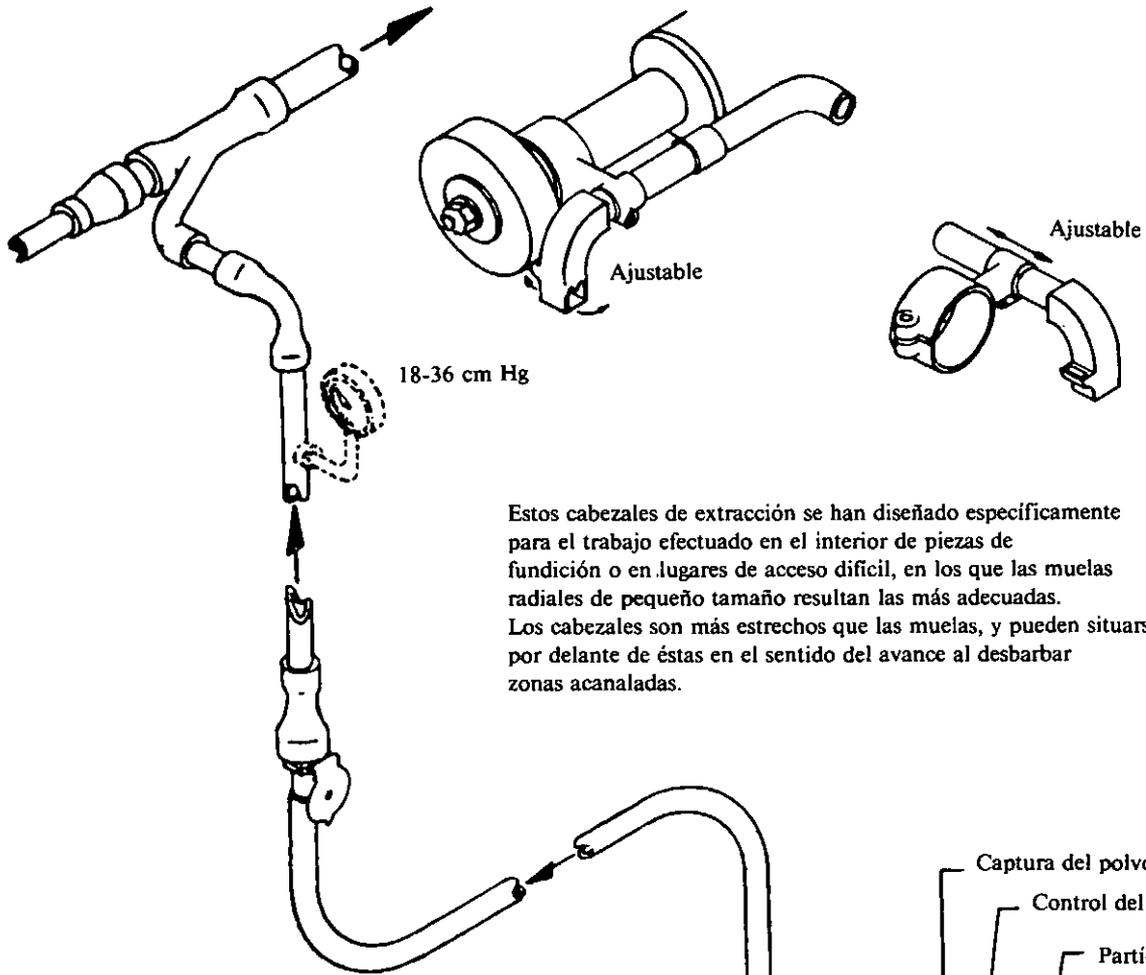
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

MANGUITO CON ASPIRACIÓN PARA
CINCEL NEUMÁTICO

FECHA

1-78

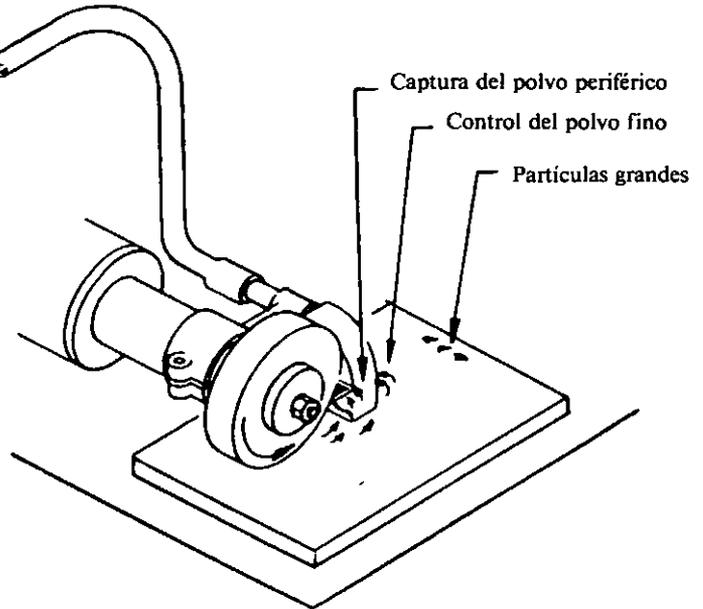
VS-803



Estos cabezales de extracción se han diseñado específicamente para el trabajo efectuado en el interior de piezas de fundición o en lugares de acceso difícil, en los que las muelas radiales de pequeño tamaño resultan las más adecuadas. Los cabezales son más estrechos que las muelas, y pueden situarse por delante de éstas en el sentido del avance al desbarbar zonas acanaladas.

Q = 47-100 m³/h/cm de diámetro
 Presión estática en la rama = 18-36 cm Hg
 Velocidad en rendija = 120-200 m/s
 Tubo flexible = 1 a 1,5" diámetro interior
 Longitud del tubo = hasta 2,5 m*
 Tamaño de las muelas = 20 cm diám. x 5 cm espesor
 hasta
 5 cm diám. x 1,25 cm espesor
 Velocidad periférica = 30 a 75 m/s

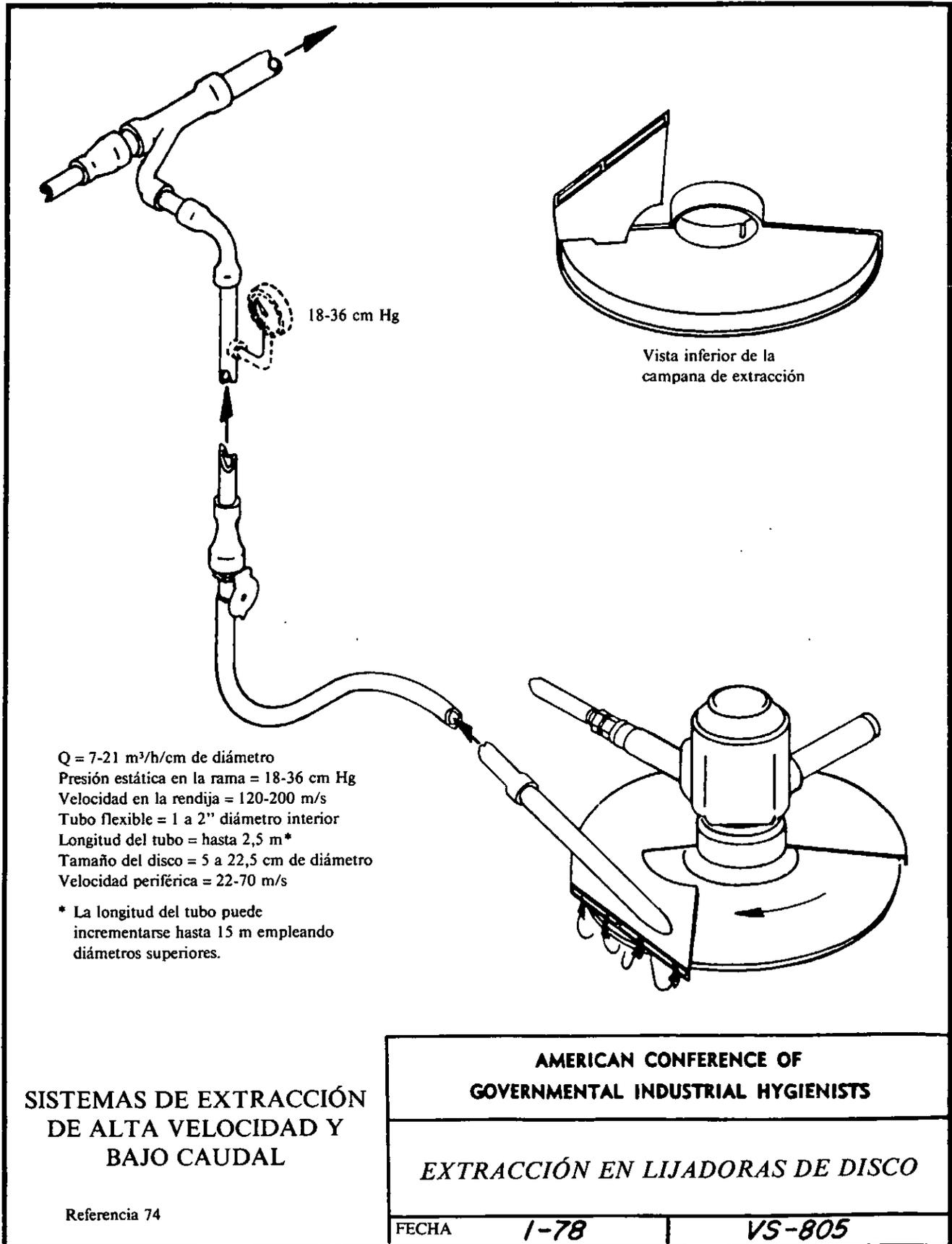
* La longitud del tubo flexible puede incrementarse hasta 15 m empleando diámetros superiores

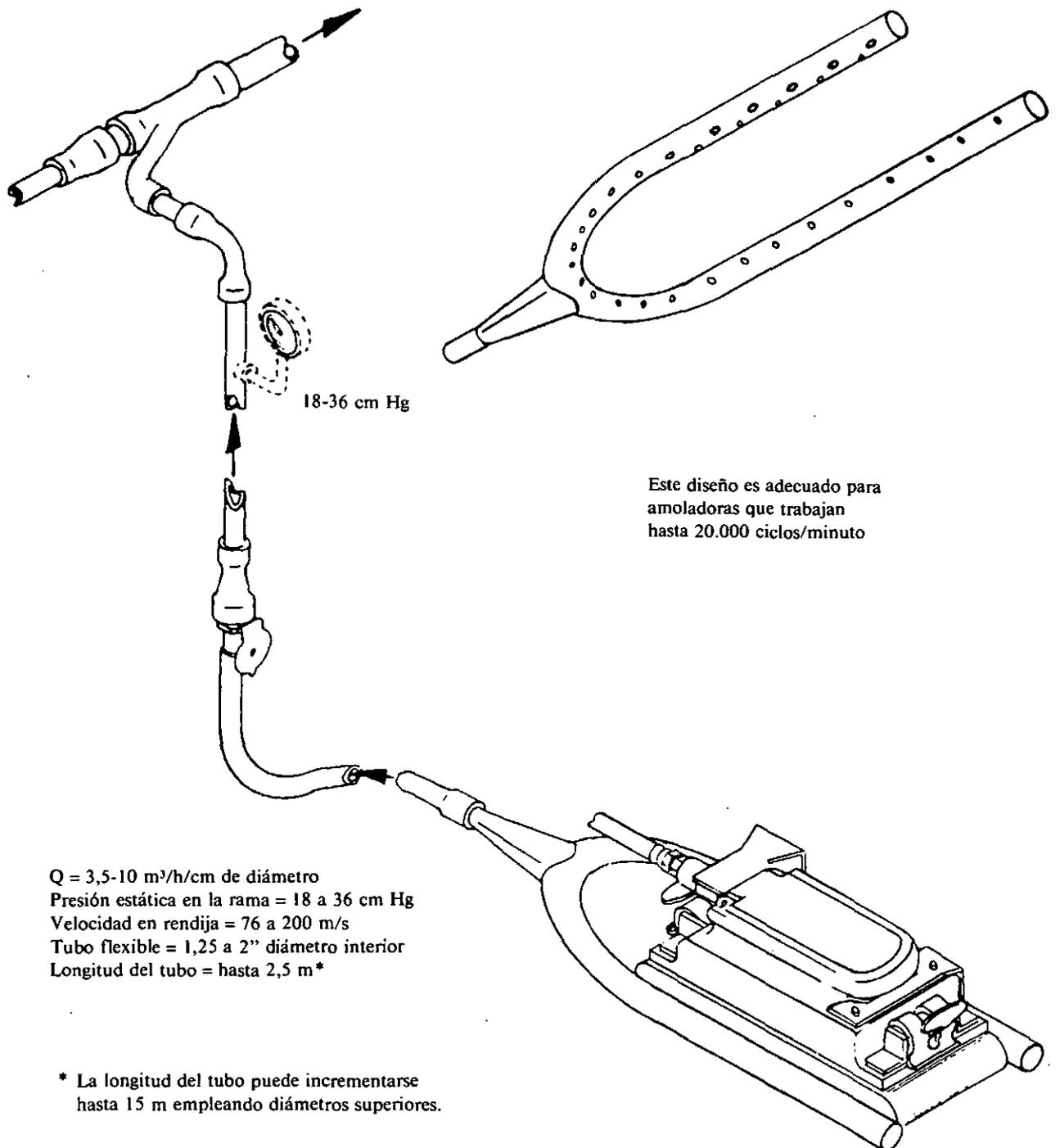


SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE ALTA VELOCIDAD Y BAJO CAUDAL

Referencia 74

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS	
<i>CABEZAL EXTRACTOR PARA PEQUEÑAS MUELAS RADIALES</i>	
FECHA	1-78
VS-804	





Este diseño es adecuado para
amoladoras que trabajan
hasta 20.000 ciclos/minuto

Q = 3,5-10 m³/h/cm de diámetro
Presión estática en la rama = 18 a 36 cm Hg
Velocidad en rendija = 76 a 200 m/s
Tubo flexible = 1,25 a 2" diámetro interior
Longitud del tubo = hasta 2,5 m*

* La longitud del tubo puede incrementarse
hasta 15 m empleando diámetros superiores.

**SISTEMAS DE EXTRACCIÓN
DE ALTA VELOCIDAD Y
BAJO CAUDAL**

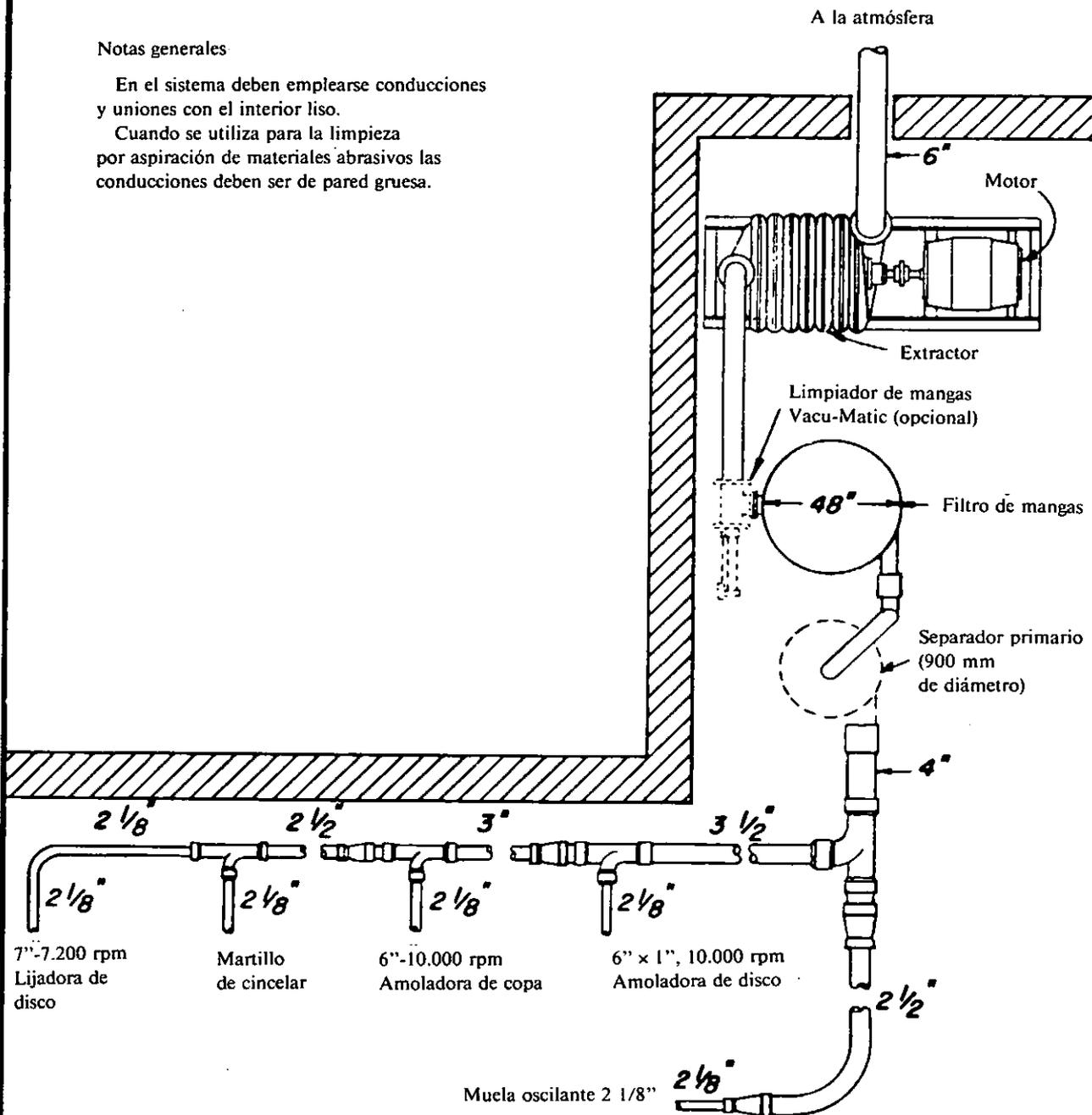
Referencia 74

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS	
<i>EXTRACCIÓN EN LIJADORA ORBITAL</i>	
FECHA	1-78 VS-806

Notas generales

En el sistema deben emplearse conducciones y uniones con el interior liso.

Cuando se utiliza para la limpieza por aspiración de materiales abrasivos las conducciones deben ser de pared gruesa.



SISTEMAS DE EXTRACCIÓN
DE ALTA VELOCIDAD Y
BAJO CAUDAL

Referencia 74

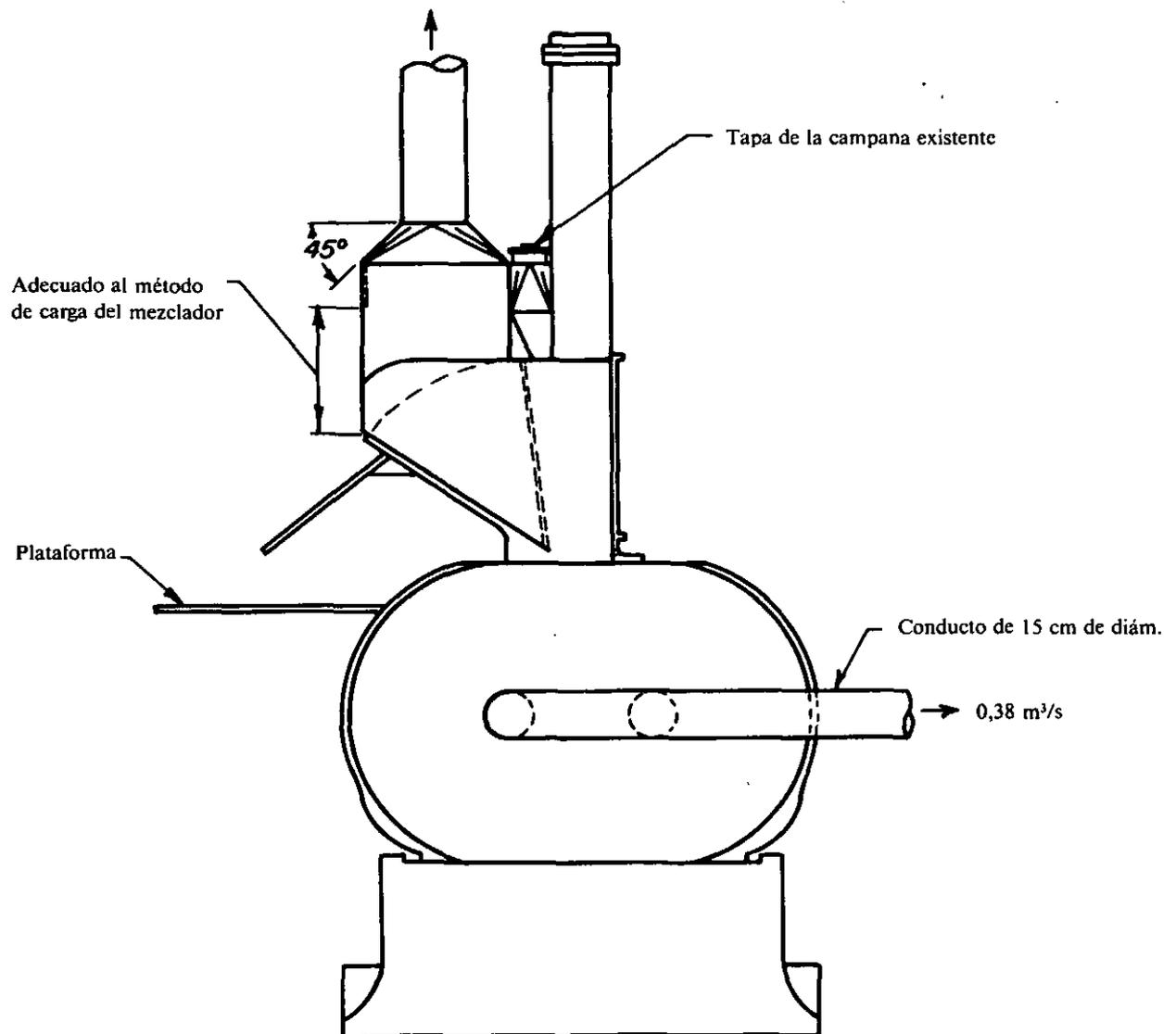
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

SISTEMA TÍPICO DE ALTA VELOCIDAD
Y BAJO CAUDAL

FECHA

1-78

VS-807



$Q = 1-1,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie abierta
 $0,78 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ de anchura de cinta, cuando se alimenta mediante cinta
 Velocidad en el conducto = 18 m/s mínimo
 Pérdida en la entrada = $0,25 PD_{\text{campana}}$
 $1,0 PD$ en la junta rotativa

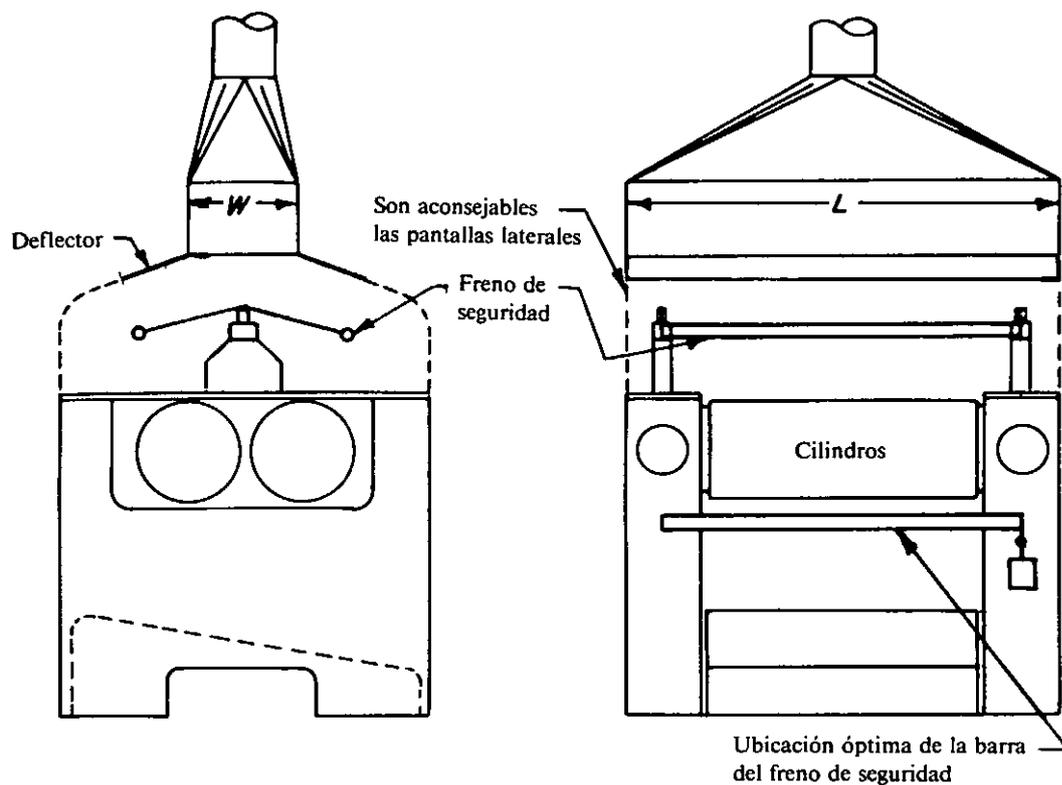
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

MEZCLADOR BANBURY

FECHA

1-64

VS-901



$Q = 0,625 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de área de la boca de la campana (WL)

Velocidad en el conducto = 5-15 m/s

Pérdida en la entrada = $0,25 PD_{\text{conducto}}$

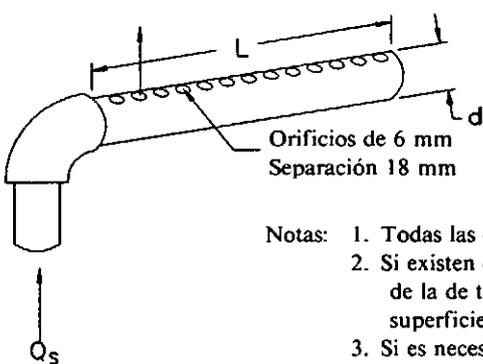
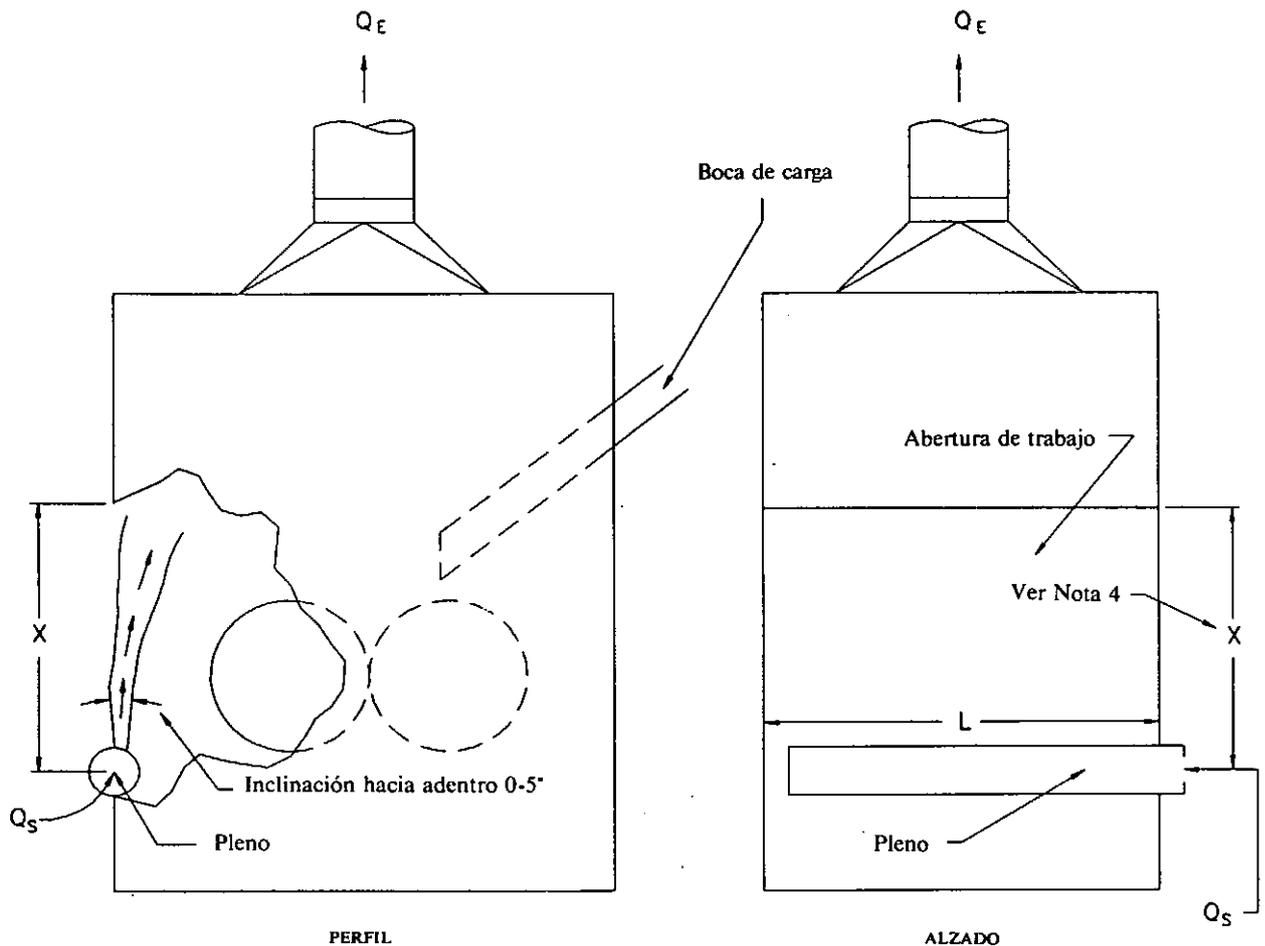
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

CALANDRA

FECHA

1-70

VS-902



$d \geq 0,08 \sqrt{L}$ (diámetro del pleno)
 $Q_s = 0,046 L, m^3/s$ (caudal de impulsión)
 $Q_E = 0,895 \sqrt{X} L m^3/s$ (caudal de extracción)
 $SP_s =$ presión en el pleno = 30 mmcda

- Notas:
1. Todas las dimensiones en metros.
 2. Si existen otras aberturas de acceso distintas de la de trabajo, aumentese Q_E en $0,5 m^3/s/m^2$ de superficie abierta.
 3. Si es necesaria la existencia de abertura de trabajo en ambos lados del molino, Q_E debe ser la suma del Q_E correspondiente a cada uno de los lados.
 4. X no debe exceder de 2 m.

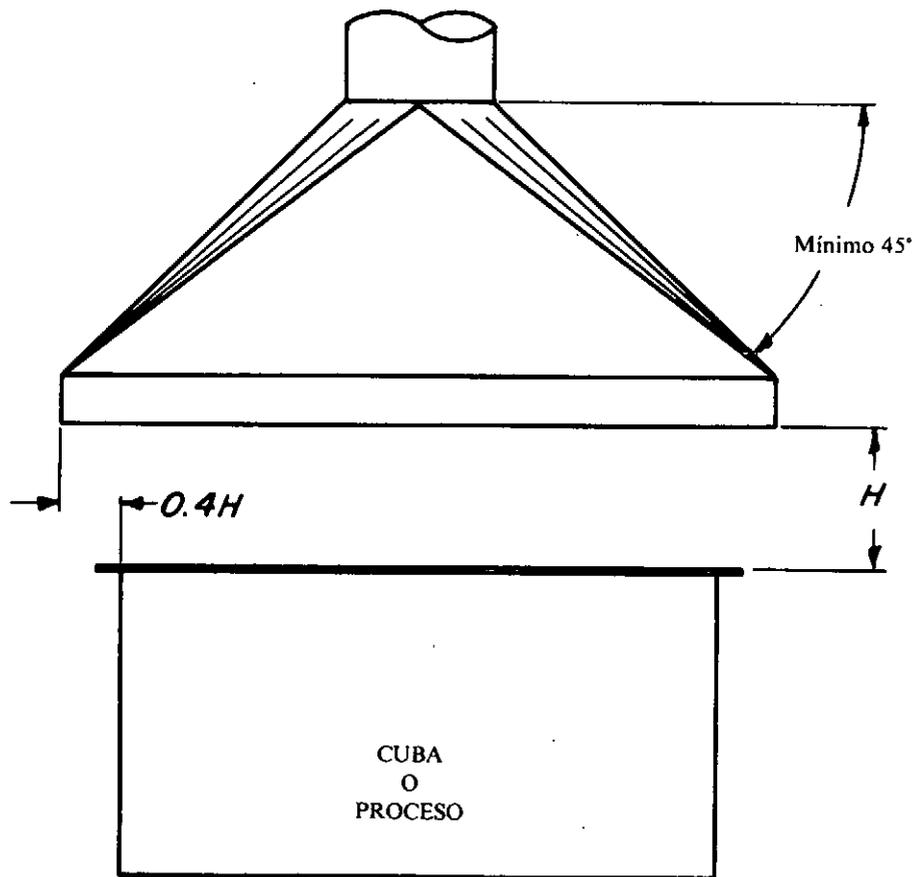
Referencia 162

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

VENTILACIÓN DE UN MOLINO
DE CILINDROS

FECHA 1-88

FIGURA VS-902.1



No debe emplearse para materiales tóxicos o cuando el trabajador debe inclinarse sobre la cuba o proceso.
 Cuando existen corrientes transversales fuertes es necesario colocar pantallas laterales.

$Q = 1,4 PHV$ para campanas sin laterales
 P = perímetros del tanque, m
 $V = 0,25-2,5$ m/s. Ver sección 4

$Q = (W + L) HV$ con dos laterales cerrados
 W y L son los laterales abiertos
 $V = 0,25-2,5$ m/s. Ver Sección 4

$Q = WHV$ con tres laterales cerrados (cabina)
 o $V = 0,25-2,5$ m/s. Ver Sección 4
 LHV

Pérdida en la entrada = $0,25 PD_{\text{conducto}}$
 Velocidad en el conducto = 5-15 m/s

AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

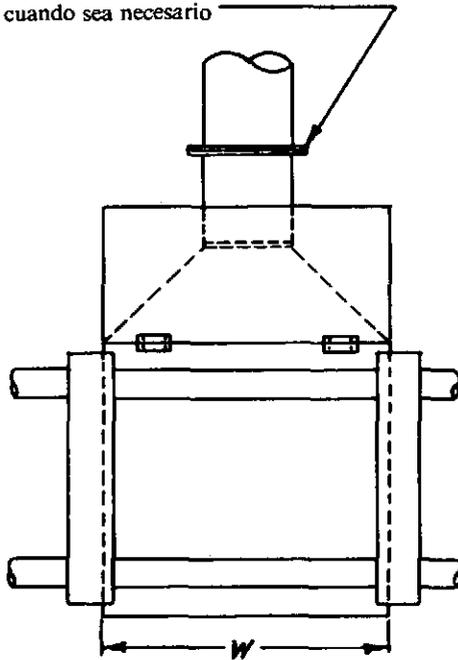
CAMPANA DE TECHO

FECHA

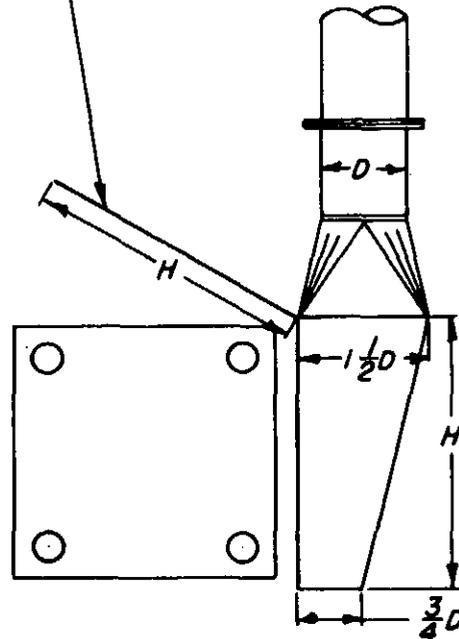
1-70

VS-903

Unión mediante una brida para poder sacar la campana cuando sea necesario



Pantalla con bisagras para impedir cortocircuitos de aire



Nota: Sitúe la campana tan cerca de la máquina como sea posible. Si hay más de 10 cm entre la campana y la parte posterior de la máquina deben emplearse pantallas laterales móviles (con bisagras).

Nota: Los productos de combustión pueden extraerse por un conducto aparte o a través de la campana.

$$Q = 1,52 WH$$

$$\text{Pérdida en la entrada} = 0,25 PD_{\text{conducto}}$$

$$\text{Velocidad en el conducto} = 12,5-15 \text{ m/s}$$

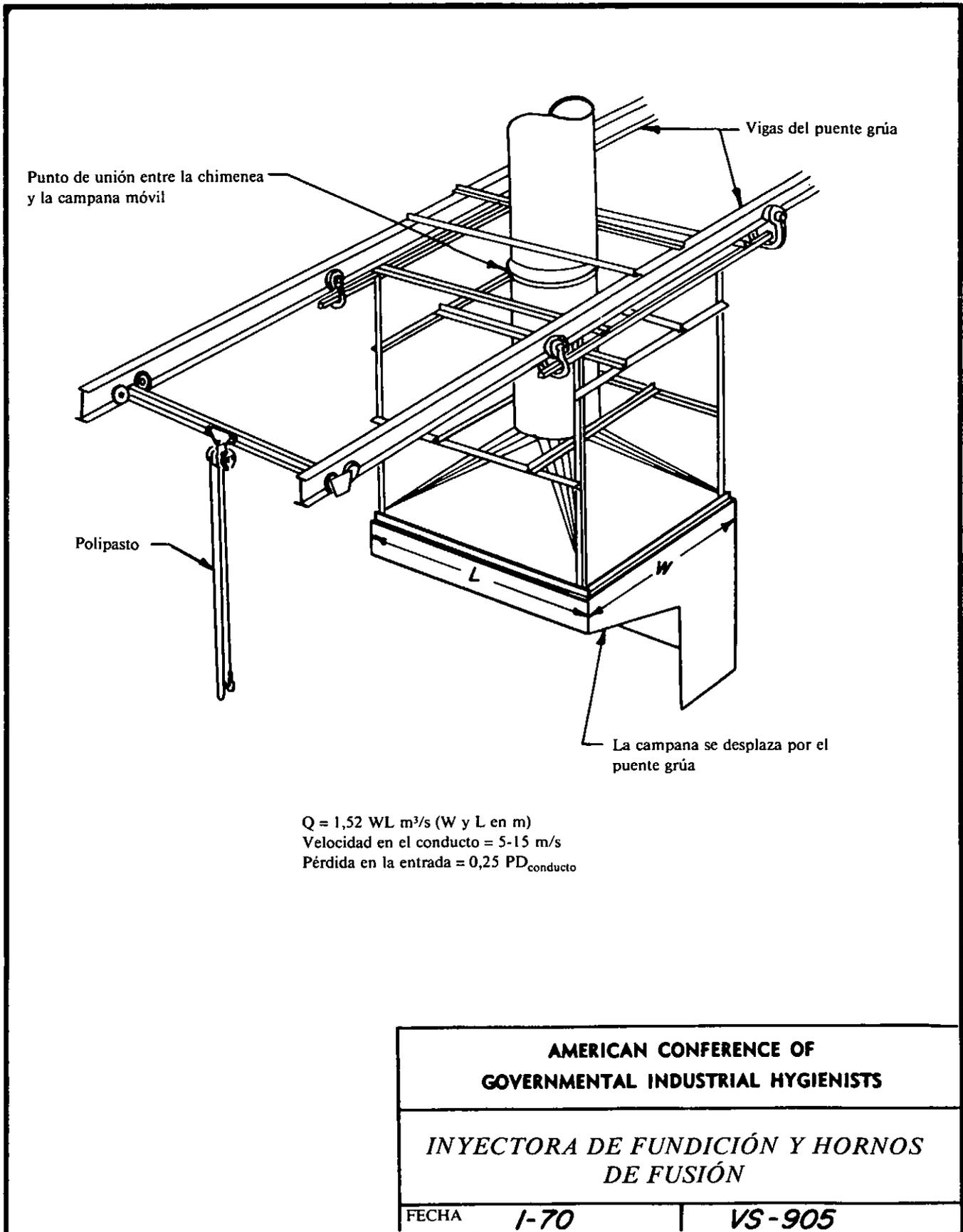
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

INYECTORA DE FUNDICIÓN

FECHA

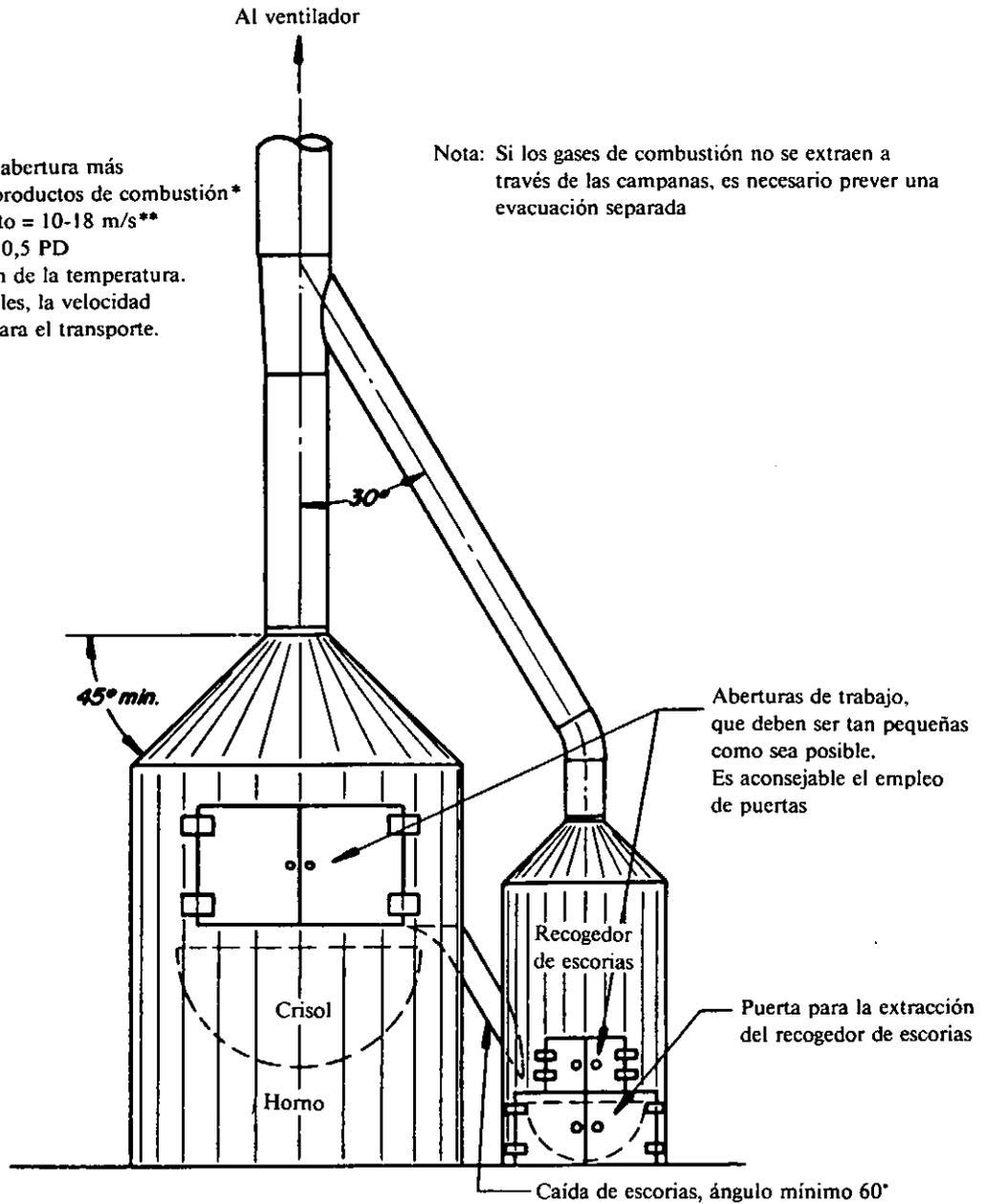
1-70

VS-904



Al ventilador
 $Q = 0,5-1,0 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de abertura más
 el volumen de los productos de combustión*
 Velocidad en el conducto = 10-18 m/s**
 Pérdida en la entrada = 0,5 PD
 * Corregido en función de la temperatura.
 ** En tramos horizontales, la velocidad
 debe ser suficiente para el transporte.

Nota: Si los gases de combustión no se extraen a
 través de las campanas, es necesario prever una
 evacuación separada



CRISOL Y HORNO NO BASCULANTE

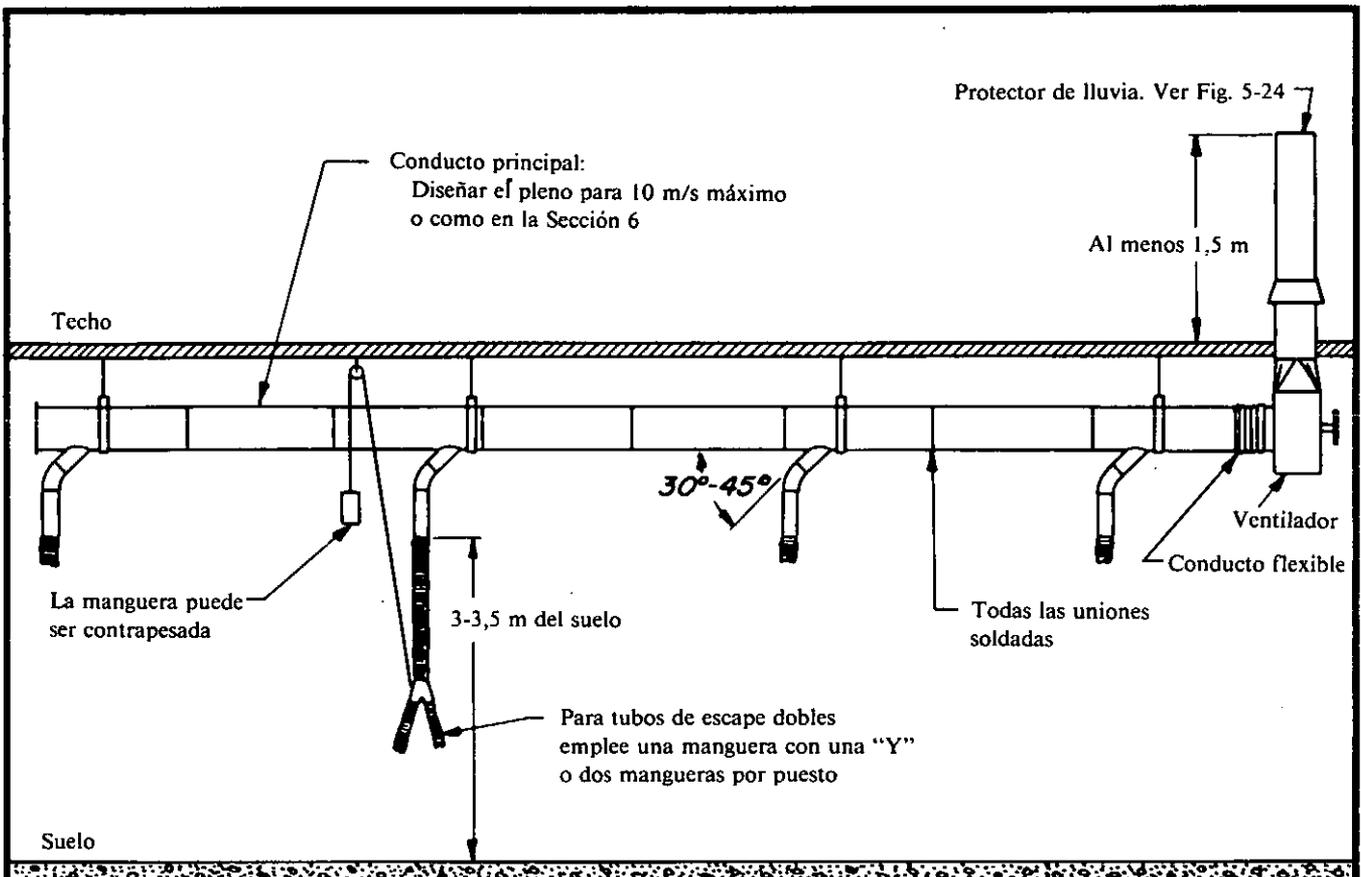
AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

CRISOL Y HORNO NO BASCULANTE

FECHA

1-70

VS-906



Potencia de los vehículos	$m^3/h/vehículo$	Diámetro del conducto flexible, mm	Rama mm
Hasta 200 CV	170	75	100
Más de 200 CV	340	100	100
Camiones Diesel	Ver VS-908.2		

En pruebas de rodillos:

Automóviles y camiones ligeros: el doble de lo anterior

Camiones pesados: mínimo 2.000 m^3/h

Para la pérdida de carga del conducto flexible, consúltense los datos del fabricante

Ver VS-908 para detalles adicionales

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

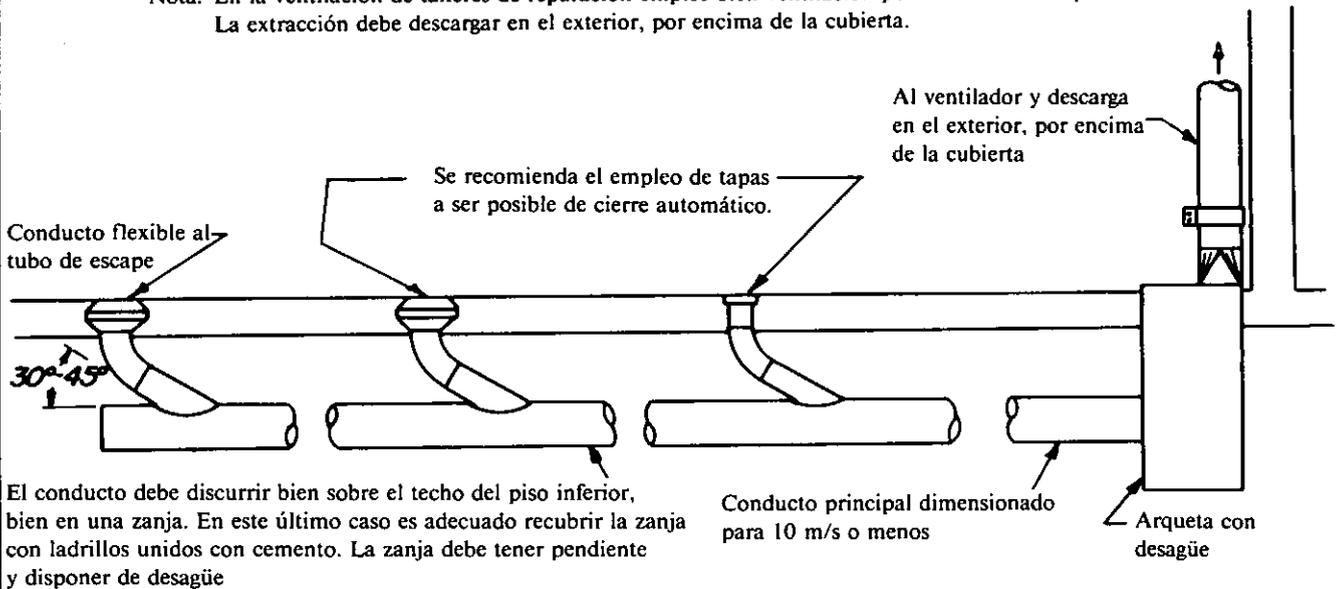
TALLER DE REPARACIONES DE VEHÍCULOS
VENTILACIÓN POR EL TECHO

FECHA

1-82

VS-907

Nota: En la ventilación de talleres de reparación emplee bien ventilación por el techo o bien por el suelo.
La extracción debe descargar en el exterior, por encima de la cubierta.



SISTEMA POR EL SUELO
CONDICIONES DE EXTRACCIÓN *

Tipo	m ³ /h/vehículo	Diámetro interior mínimo del cond. flexible
Automóviles y camiones hasta 200 CV	170	75 mm
Automóviles y camiones de más de 200 CV	340	100 mm**
Diesel	Ver VS-908.2	

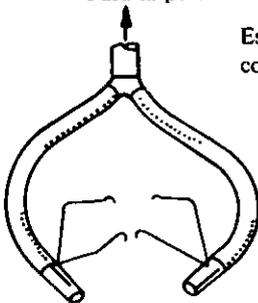
* En pruebas de rodillos

Automóviles y camiones ligeros: el doble de lo anterior

Camiones pesados: mínimo 2.000 m³/h

** Para tramos cortos es admisible un diámetro de 75 mm, con el ventilador adecuado.

Para la pérdida de carga del conducto flexible; consúltense los datos del fabricante.



Es necesaria la ventilación por dilución para tener en cuenta los coches que circulan o están parados con el motor en marcha fuera de los puestos de trabajo.

CAUDALES DE DILUCIÓN:

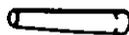
8.500 m³/h por automóvil circulando

17.000 m³/h (o más) por camión

170 m³/h/HP para motores Diesel

Para aparcamientos, ver la Tabla 10-9-2

Emplee adaptadores en los casos de tubos de escape dobles o de formas especiales.



AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

TALLER DE REPARACIONES DE VEHÍCULOS
VENTILACIÓN POR EL SUELO

FECHA

1-82

VS-908

CAUDALES BÁSICOS DE VENTILACIÓN

- 8.500 m³/h por carretilla con motor a propano
- 13.600 m³/h por carretilla con motor a gasolina

CONDICIONES EN LAS QUE SON APLICABLES LOS CAUDALES BÁSICOS

- Debe ejecutarse un programa de mantenimiento que incluya una puesta a punto final del motor a través del control del análisis del monóxido de carbono en los gases de escape. La concentración de CO en los gases de escape debe limitarse al 1 % para carretillas con motor a propano y 2 % para carretillas con motor a gasolina.
- El tiempo de funcionamiento real de las carretillas no debe ser superior al 50 % del tiempo total de exposición.
- Debe proporcionarse una distribución del aire razonablemente correcta.
- El volumen de local por carretilla debe ser al menos de 4.250 m³.

CORRECCIONES EN CONDICIONES DISTINTAS A LAS ANTERIORES

- Si no existe un programa regular de mantenimiento, multiplique los datos básicos de ventilación por tres.
- Si el tiempo de funcionamiento supera el 50 %, multiplique los datos básicos por el tiempo real de funcionamiento expresado en porcentaje, dividido por 50.
- Si la distribución del aire no es buena se recomienda no emplear carretillas elevadoras.
- Si el volumen de local es inferior a 4.200 m³ de local por carretilla, multiplique el valor básico de ventilación por el factor de corrección que corresponda:
1,5 veces para un volumen de 2.125 m³; 2 veces para 850 m³. No se recomienda emplear carretillas elevadoras si el volumen por carretilla es inferior a 700 m³.
- Potencia del motor superior a 60 CV; multiplique el caudal básico de ventilación por la potencia real dividida por 60.

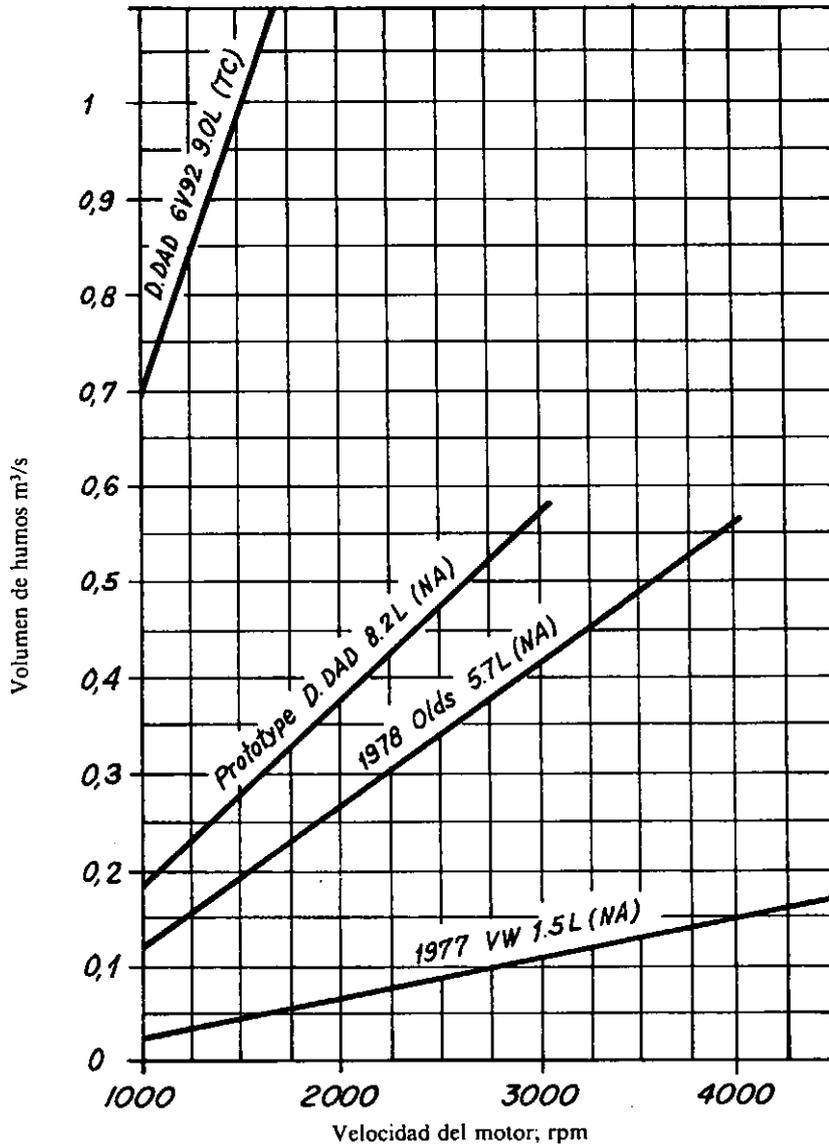
**AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

*DISEÑO DE LA VENTILACIÓN EN LOCALES
DONDE SE UTILICEN CARRETILLAS
ELEVADORAS CON MOTOR DE EXPLOSIÓN*

FECHA

1-74

VS-908.1



Nota:

NA: aspiración atmosférica

TC: turboalimentado

Extracción = volumen de humos + 20 %

Para disponer de datos de diseño específicos solicite al fabricante los resultados del ensayo del motor.

Seguir la norma 13 de la EPA

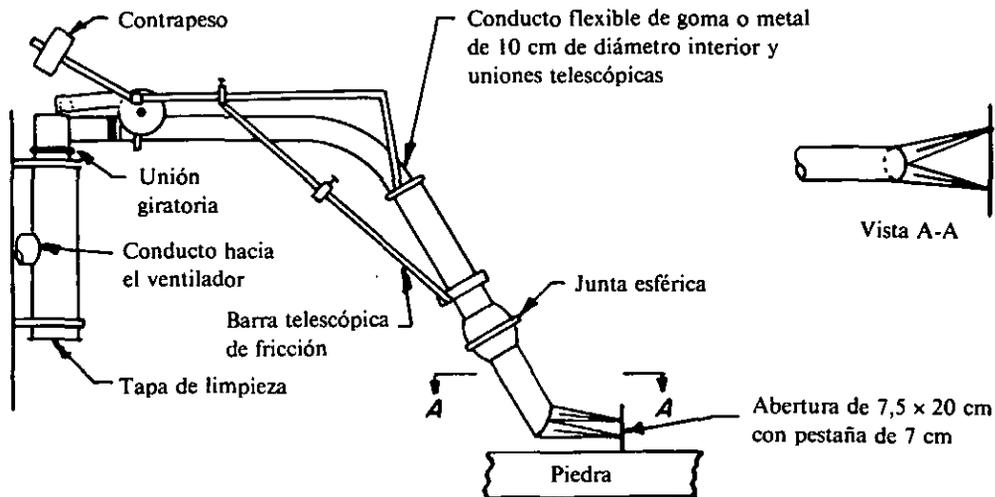
**AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

**EXTRACCIÓN NECESARIA PARA
MOTORES DIESEL TÍPICOS EN CARGA**

FECHA

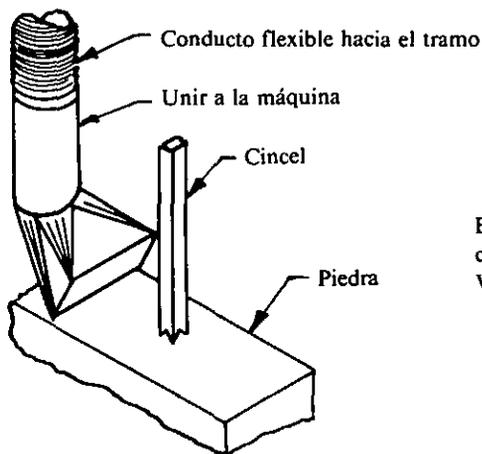
1-82

VS-908.2



HERRAMIENTAS NEUMÁTICAS MANUALES

$Q = 0,19 \text{ m}^3/\text{s}$ mínimo, con la herramienta a 25 cm como máximo de la campana
 Velocidad mínima en el conducto = 17-20 m/s



El chorreado abrasivo debe efectuarse en un local o cabina con una velocidad mínima del aire de 2,5 m/s en todas las aberturas. Ver "Chorreado abrasivo", VS-101

CAMPANAS PARA MÁQUINAS DE ACABADO

Campana	m^3/h	Diámetro del conducto
Pulidora pequeña	680	10 cm
Pulidora mediana	1.020	12,5 cm

Pérdida en la entrada = 1,0 PD

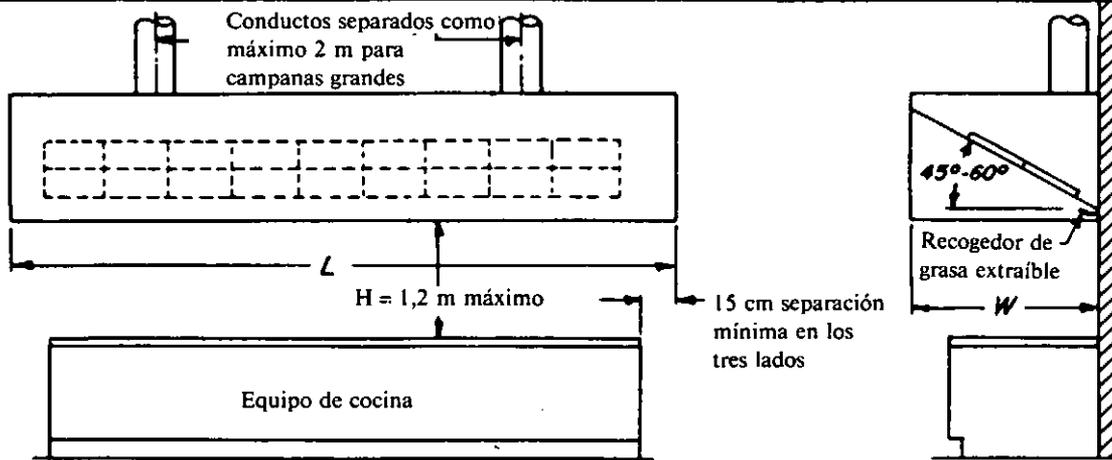
AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

CORTE Y ACABADO DEL GRANITO

FECHA

1-74

VS-909



CAMPANA JUNTO A UNA PARED

$Q = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de área de campana (0,4 WL)

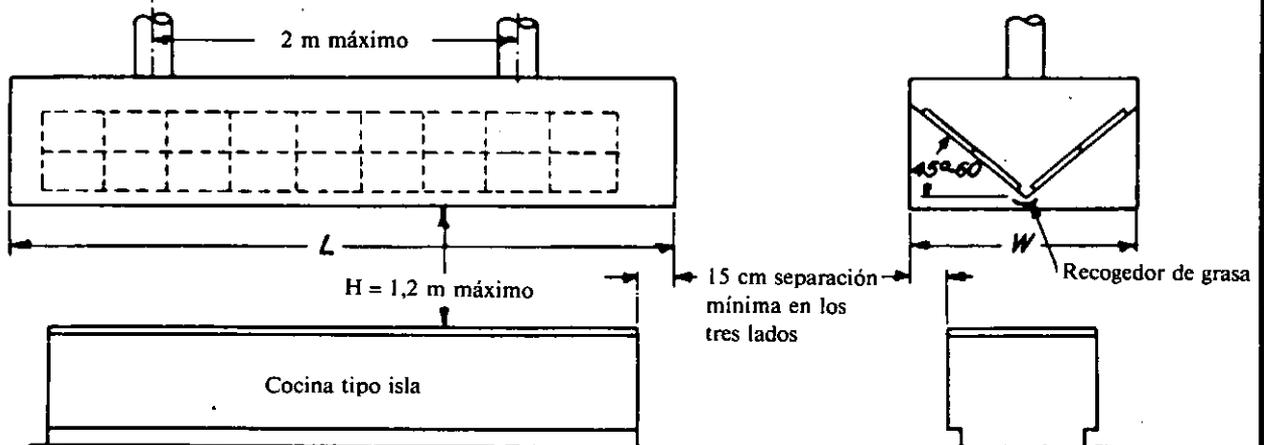
No inferior a $0,25 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de área lateral (0,25 PH)

$P =$ perímetro de la campana $= 2W + L$

Velocidad en el conducto = 5-20 m/s según las condiciones

Pérdida en la entrada = (resistencia del filtro + 2,5 mmcd) + 0,5 PD (en unión al conducto sin adaptación)

Pérdida en la entrada = (resistencia del filtro + 2,5 mmcd) + 0,25 PD (en unión al conducto con adaptación)



CAMPANA TIPO ISLA

$Q = 0,64 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de área de campana (0,64 WL)

No inferior a $0,25 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de área lateral (0,25 PH)

$P =$ perímetro de la campana $= 2W + 2L$

Velocidad en el conducto = 5-20 m/s según las condiciones

Pérdida en la entrada = (resistencia del filtro + 2,5 mmcd) + 0,5 PD (en unión al conducto sin adaptación)

Pérdida en la entrada = (resistencia del filtro + 2,5 mmcd) + 0,25 PD (en unión al conducto con adaptación)

Nota:

Ver VS-911 para información sobre filtros y ventiladores

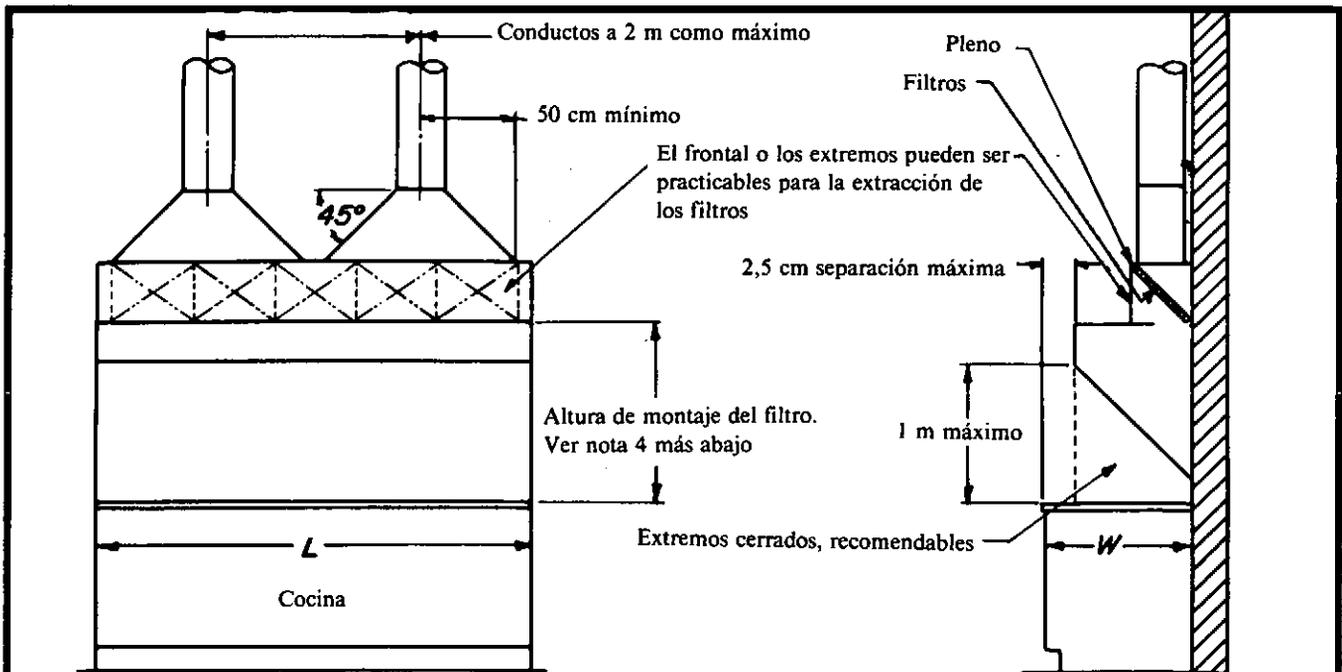
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

CAMPANAS PARA COCINAS

FECHA

1-84

VS-910



CAMPANA CON CERRAMIENTO LATERAL

$Q = 0,31 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ lineal de cocina ($0,31 \times L$)

Velocidad en el conducto = 5-20 m/s según las condiciones pérdida en la entrada = (resistencia del filtro + 2,5 mmca + 0,5 PD (en unión al conducto sin adaptación)

Pérdida en la entrada = (resistencia del filtro + 2,5 mmca) + 0,25 PD (en unión al conducto con adaptación)

NOTAS PARA CAMPANAS DE COCINA

Filtros:

1. Seleccione el tamaño adecuado.
2. Determine el número necesario de filtros a partir de los datos del fabricante. (Usualmente el caudal máximo es del orden de $0,12 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de área de filtro).
3. Instalar a $45-60^\circ$ de la horizontal. Nunca horizontales.
4. Altura de montaje del filtro (Referencia 66)
 - a. No expuestos a llama directa a 4 cm como mínimo del lado inferior del filtro.
 - b. Fuegos de carbón y similares a 10 cm como mínimo del lado inferior del filtro.
5. Apantalle los filtros del calor radiante directo.
6. Instale un recogedor de grasa extraíble.
7. Limpie regularmente los filtros y el recogedor.

Ventilador:

1. Emplee ventiladores de descarga hacia arriba. La descarga hacia abajo no se recomienda.
2. Seleccione el ventilador en función del caudal y de la resistencia de filtros y conductos.
3. Ajuste las especificaciones del ventilador en función de la temperatura esperada de los humos.

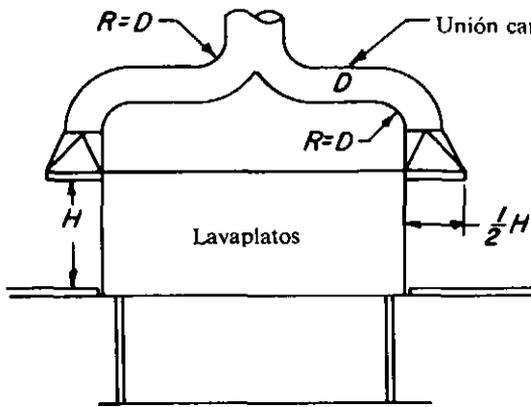
**AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

CAMPANAS PARA COCINAS

FECHA

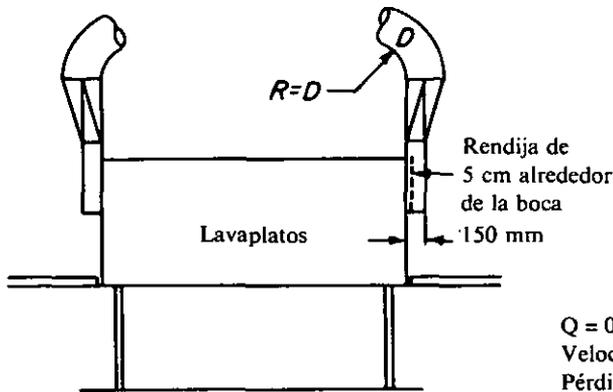
1-76

VS-911



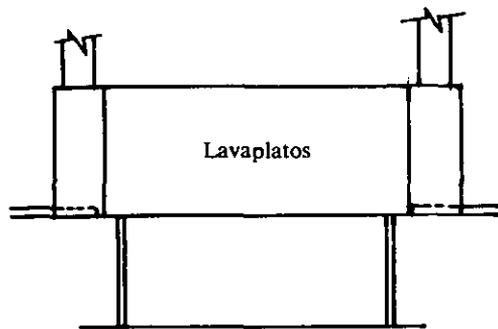
CAMPANAS SUPERIORES

$Q = 1,27 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de boca en cada extremo
 Velocidad en el conducto = 5-15 m/s
 Pérdida en la entrada = $0,25 \text{ PD}_{\text{conducto}}$



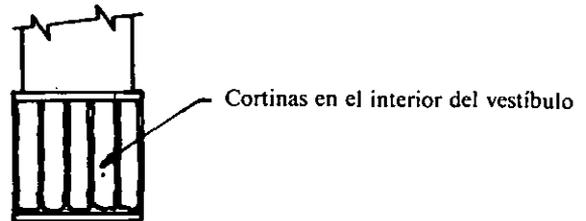
RENDIJAS

$Q = 0,76 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ del área de la puerta en cada extremo ($0,76 \text{ WH}$)
 Velocidad en el conducto = 5-15 m/s
 Pérdida en la entrada = $\text{PD}_{\text{rendija}} + 0,25 \text{ PD}_{\text{conducto}}$



VESTÍBULOS CON EXTRACCIÓN

$Q = 0,76 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de las áreas de entrada y salida
 Velocidad en el conducto = 5-15 m/s
 Pérdida en la entrada = $0,5 \text{ PD}_{\text{conducto}}$



Nota:

Si existen conductos de extracción en el cuerpo del lavaplatos, anúlelos y emplee las campanas exteriores.

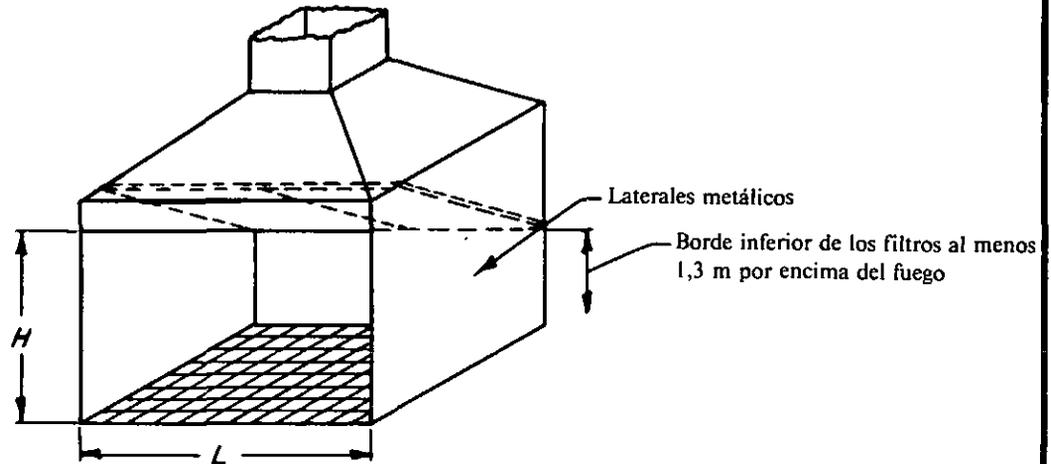
AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

VENTILACIÓN DE LAVAPLATOS

FECHA

1-70

VS-912



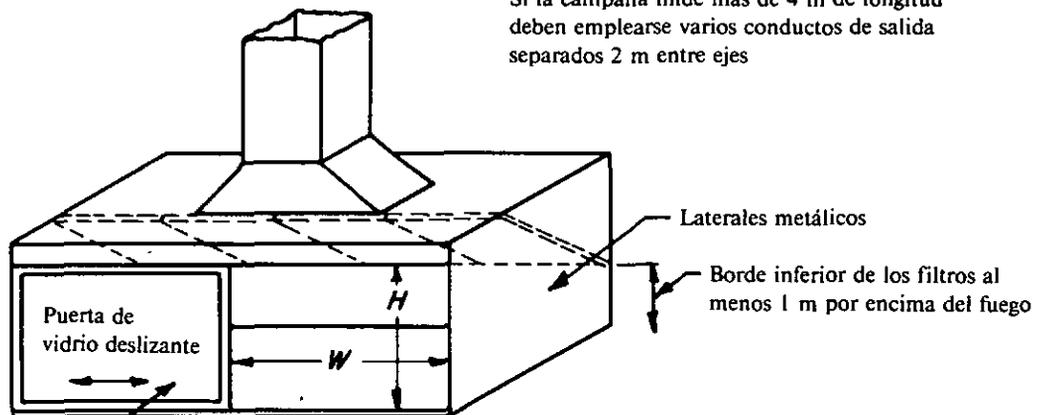
ASADOR DE CARBÓN

$$Q = 0,5 LH$$

Velocidad en el conducto = 5-15 m/s

Pérdida en la entrada = (resistencia del filtro + 2,5 mmca) + 0,5 PD (salida sin adaptación)

Pérdida en la entrada = (resistencia del filtro + 2,5 mmca) + 0,25 PD (salida con adaptación)



Si la campana mide más de 4 m de longitud deben emplearse varios conductos de salida separados 2 m entre ejes

El vidrio debe ser tipo pyrex o resistente al calor

BARBACOA

$$Q = 0,5 WH \text{ (superficie máxima de apertura de la puerta, m}^2\text{)}$$

Velocidad en el conducto = 5-15 m/s

Pérdida en la entrada = (resistencia del filtro + 2,5 mmca) + 0,5 PD (salida sin adaptación)

Pérdida en la entrada = (resistencia del filtro + 2,5 mmca) + 0,25 PD (salida con adaptación)

Nota:

Ver VS-911 para información sobre filtros y ventiladores.

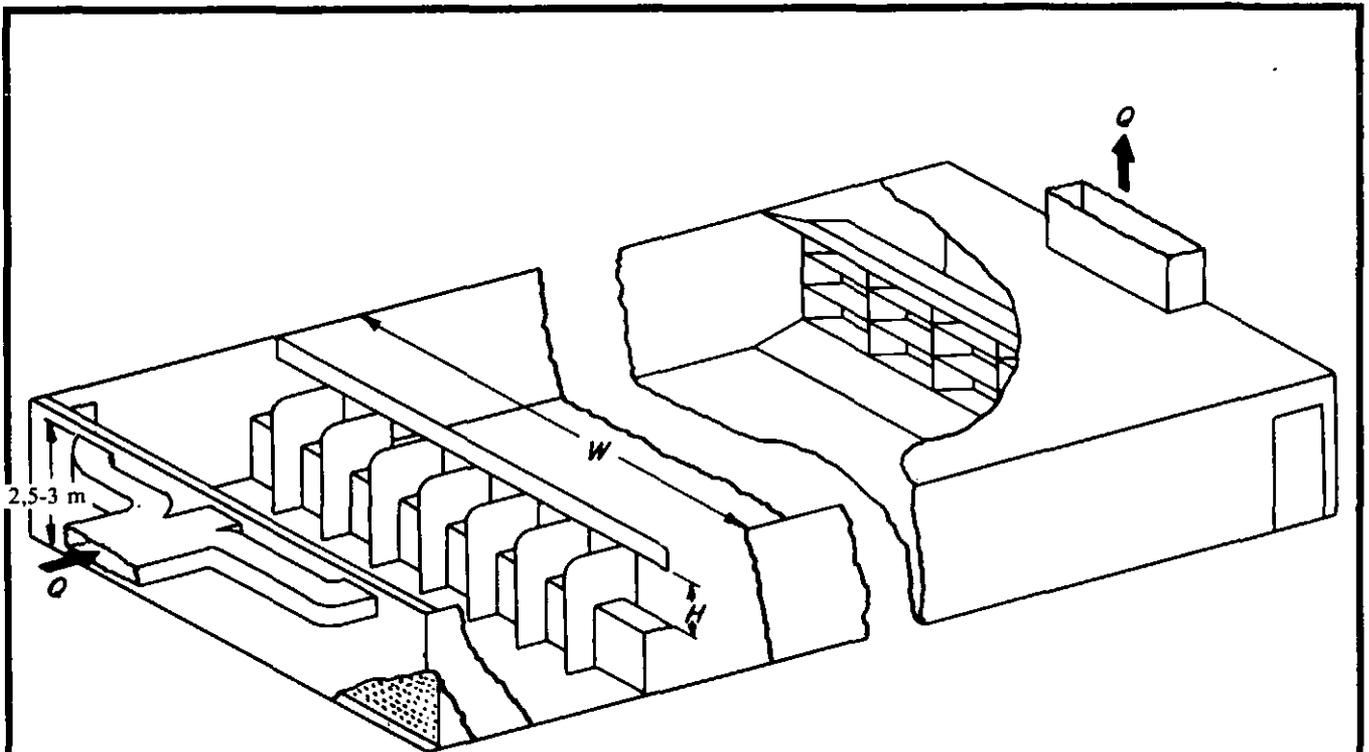
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

VENTILACIÓN DE ASADORES DE CARBÓN
Y BARBACOAS

FECHA

1-76

VS-913



Q mínimo = $0,25 HW$, pero no menos de $0,1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de la sección transversal del local

Notas:

Distribución del aire de renovación:

Es necesaria una distribución uniforme.

Es preferible que la pared posterior sea una rejilla perforada o emplear un pleno de distribución en el techo.

Cuando se empleen rejillas o difusores, la velocidad del aire en las proximidades de la línea de tiro no debe superar $0,25 \text{ m/s}$.

Para las tareas de limpieza y de recogida de las balas es necesario emplear protección respiratoria homologada para el polvo de plomo.

Es recomendable el empleo de absorbentes acústicos en las paredes y de un tejido grueso en la parte superior de las mesas de tiro.

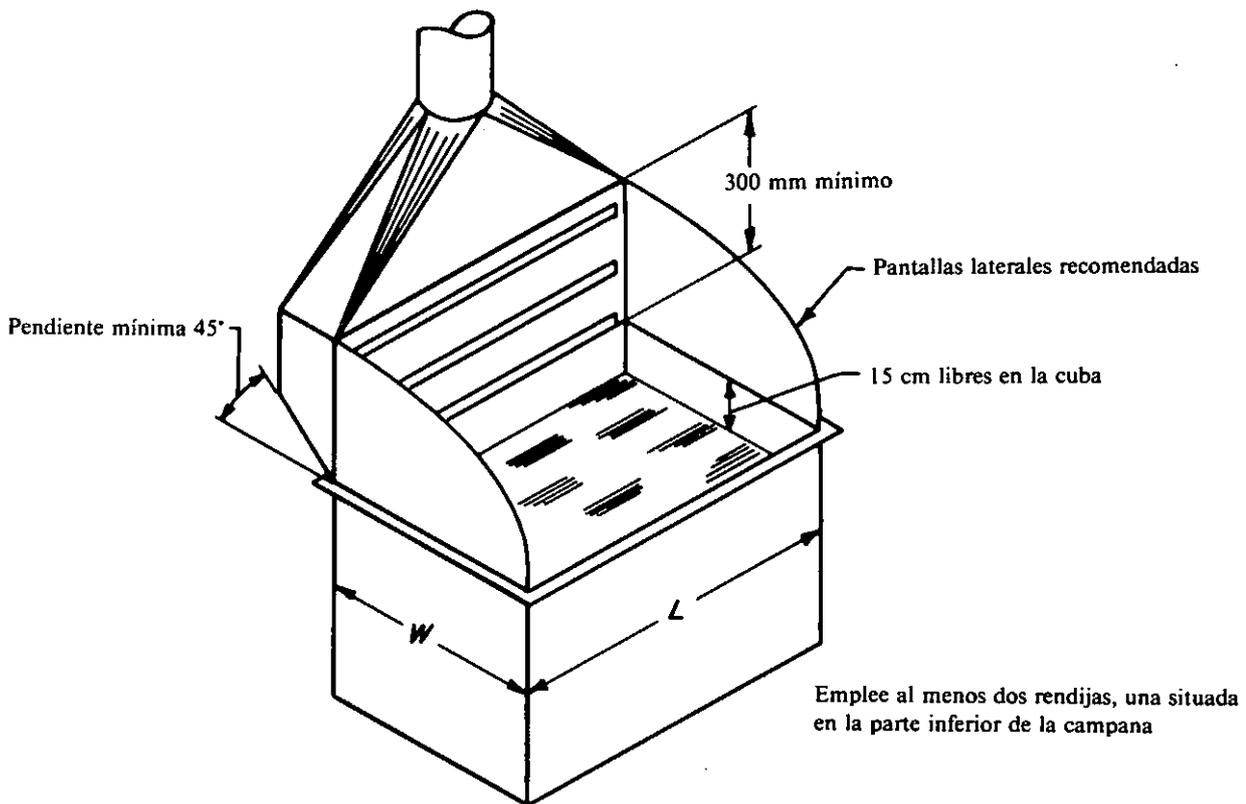
**AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

*VENTILACIÓN DE SALAS DE TIRO CON
PISTOLA Y RIFLES DE PEQUEÑO CALIBRE*

FECHA

1-78

VS-914



$Q = 0,76 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie del lecho (0,76 WL)

Velocidad en la rendija = 10 m/s

Pérdida en la entrada = $1,78 \text{ PD}_{\text{rendija}} + 0,25 \text{ PD}_{\text{conducto}}$

Velocidad en el conducto = 12,5-15 m/s

W no debe superar 90 cm

Para lechos circulares y otros diseños de campana, ver VS-303, VS-504.

Es importante mantener libre la parte superior del tanque para evitar el arrastre del material.

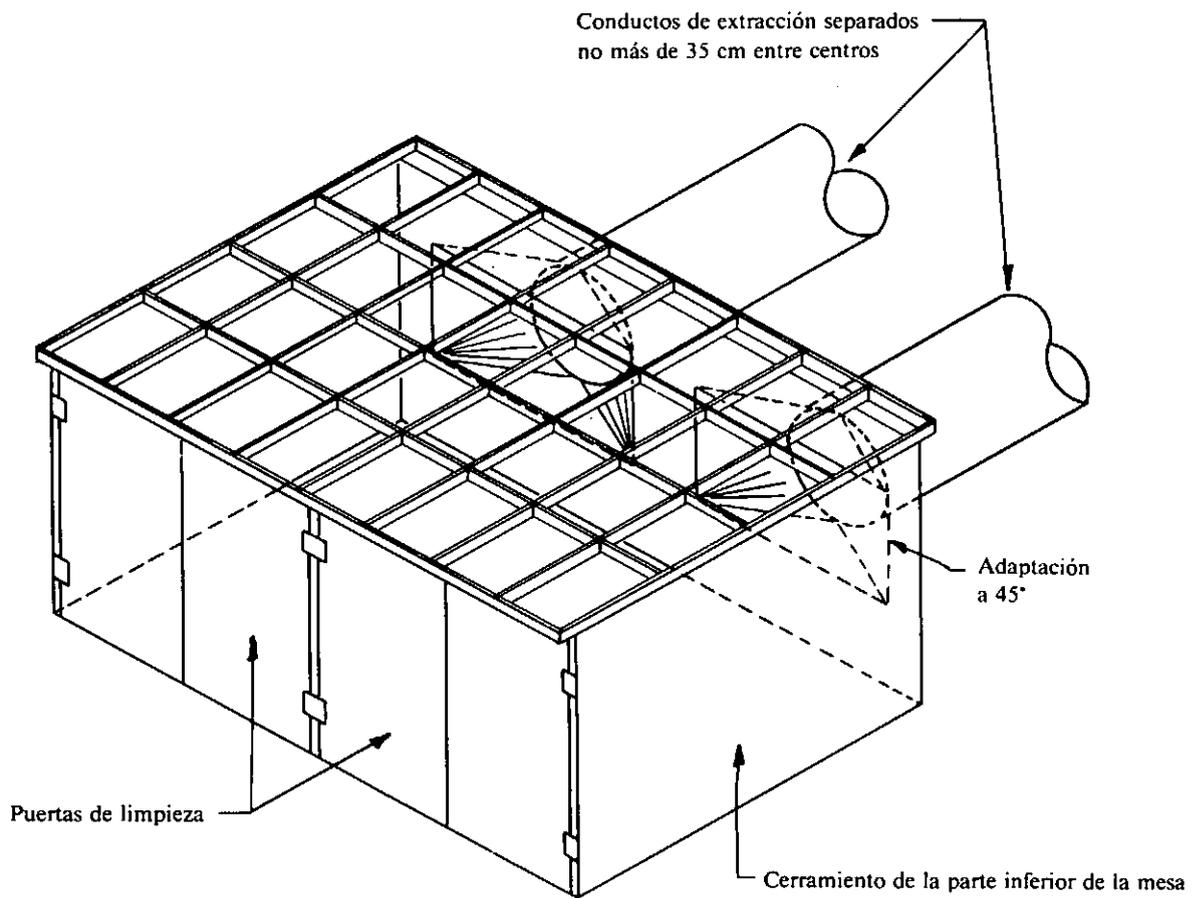
**AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

LECHOS FLUIDIZADOS

FECHA

1-70

VS-915



$Q = 0,76 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie bruta de mesa.

Velocidad en el conducto = 10-20 m/s *

Pérdida de carga en la entrada = PD en la rejilla + $0,25 \text{ PD}_{\text{conducto}}$ (con la adaptación a 45°)

* Para tramos horizontales es necesario alcanzar la velocidad de transporte.

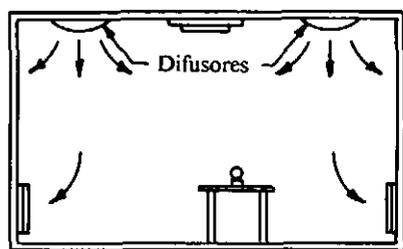
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

OXICORTE

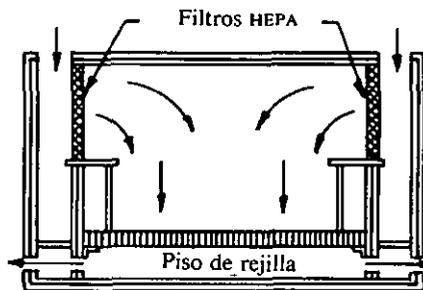
FECHA

1-68

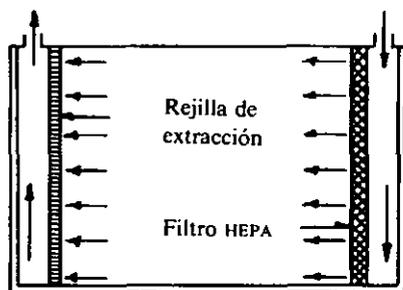
VS-916



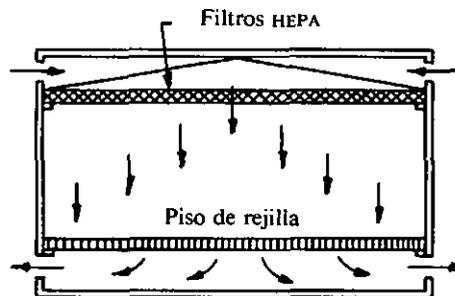
DEFICIENTE



ACEPTABLE

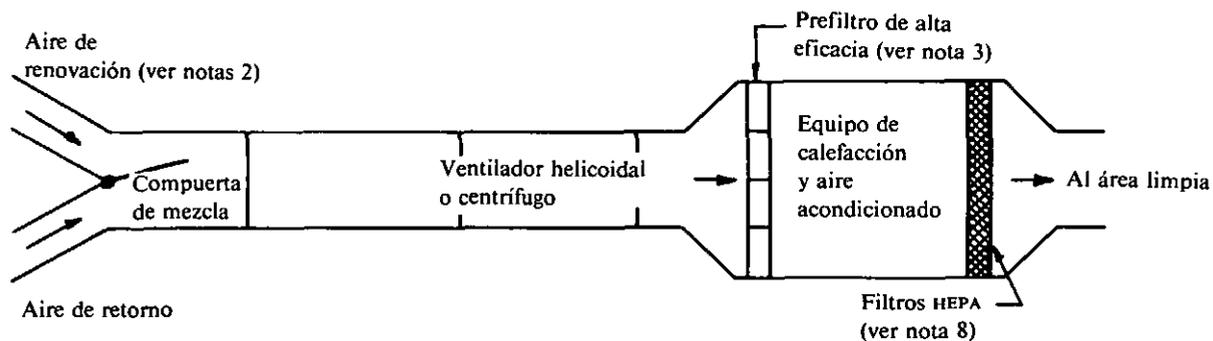


BUENO



ÓPTIMO (ver nota 7)

DISTRIBUCIÓN DEL AIRE EN UN ÁREA LIMPIA



SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AIRE

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

DISTRIBUCIÓN DEL AIRE
EN ÁREAS LIMPIAS

FECHA 1-88

FIGURA VS-917

NOTAS

1. Un área limpia es un recinto cerrado en el que existe un sistema de limitar la concentración de materia particulada en el aire; si es necesario, pueden también existir controles de presión, temperatura y humedad. Las áreas limpias se dividen en las siguientes clases: ⁽⁸³⁾
 - A. *Clase 100.* La concentración no excede de 100 partículas de tamaño igual o superior a 0,5 micras, por pie cúbico (aproximadamente 3.500 por metro cúbico).
 - B. *Clase 10.000.* La concentración no excede de 10.000 partículas de tamaño igual o superior a 0,5 micras por pie cúbico (350.000 por metro cúbico), o de 65 partículas de un tamaño igual o superior a 5 micras, por pie cúbico (aproximadamente 2.275 por metro cúbico).
 - C. *Clase 100.000.* La concentración no excede de 100.000 partículas de tamaño igual o superior a 0,5 micras por pie cúbico (3.500.000 por metro cúbico), o de 700 partículas de un tamaño igual o superior a 5 micras, por pie cúbico (aproximadamente 24.500 por metro cúbico).
2. Los filtros HEPA (High Efficiency Particular Air) poseen una eficacia del 99,97 % en el ensayo de DOP con partículas de 0,3 micras. La resistencia inicial de un filtro HEPA es normalmente de 25 mmcd. La resistencia final no supera habitualmente 65 mmcd a fin de evitar reducciones inaceptables en el caudal de aire.
3. Los filtros previos incrementan grandemente la vida de los filtros HEPA al reducir la carga de polvo. A tal efecto se emplean habitualmente filtros con una eficacia ASHRAE del 90 %.
4. Los filtros HEPA deben instalarse en las paredes o el techo del área limpia. La velocidad usual del aire en las áreas de la clase 100 es de 0,45 m/s; sin embargo, según el uso del recinto, pueden emplearse velocidades de entre 0,25 y 0,75 m/s.
5. La temperatura de las áreas limpias suele estar en el margen de 20 a 22 °C, y controlada dentro de un margen de 1,5 °C. La humedad relativa se encuentra usualmente en la zona del 33 al 40 %, controlándose en un margen del 5 %. Ciertas aplicaciones específicas pueden exigir desviaciones sustanciales de estas reglas. Para situaciones críticas las variaciones de temperatura pueden controlarse hasta 0,25 °C y las de humedad hasta el 1 %. Para un buen funcionamiento de un área limpia es esencial controlar la electricidad estática y las vibraciones.
6. Las áreas limpias de flujo no laminar (de clase superior a la 100) requieren de 20 a 100 renovaciones por hora, en función de las exigencias y las características de cada caso. Generalmente se emplea un caudal de renovación de 0,0005 a 0,005 m³/min/m². Si, para controlar contaminantes químicos, se emplea extracción localizada puede ser necesario recurrir a caudales de renovación superiores.
7. Por razones sanitarias, ciertas industrias, como la farmacéutica, pueden no admitir pavimentos con discontinuidades de cualquier tipo. En tales casos la anchura del área no debe superar unos cuatro metros, y el aire debe extraerse del recinto mediante rejillas en la pared situadas cerca del piso. La velocidad en dichas rejillas no debe superar 2,5 m/s.
8. Las ubicaciones de los filtros HEPA alejadas del recinto no se recomiendan, debiendo sólo emplearse cuando no es posible ubicarlos en las paredes o en el techo o cuando las especificaciones son menos exigentes.

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

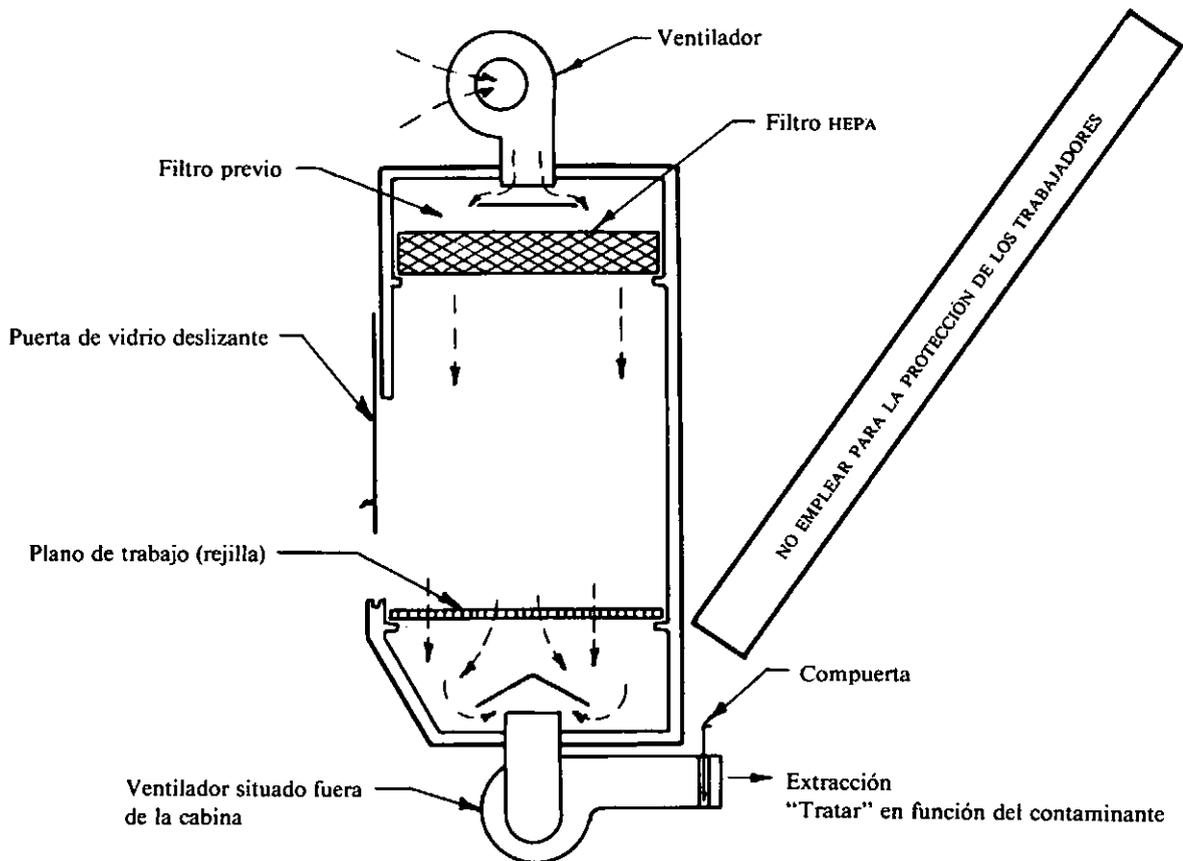
*DATOS PARA LA VENTILACIÓN
DE ÁREAS LIMPIAS*

FECHA

1-88

FIGURA

VS-917.1



Velocidad = 0,45 m/s con una uniformidad media de $\pm 0,1$ m/s
 Velocidad en el conducto = 10-20 m/s según las condiciones

Cámara limpia para el control de las partículas suspendidas en el aire (82, 83, 84)

Notas: Los brazos del trabajador u otros objetos introducidos en la cabina pueden causar la dispersión del contaminante.

De ser necesario se empleará protección personal o se efectuará una ventilación general.

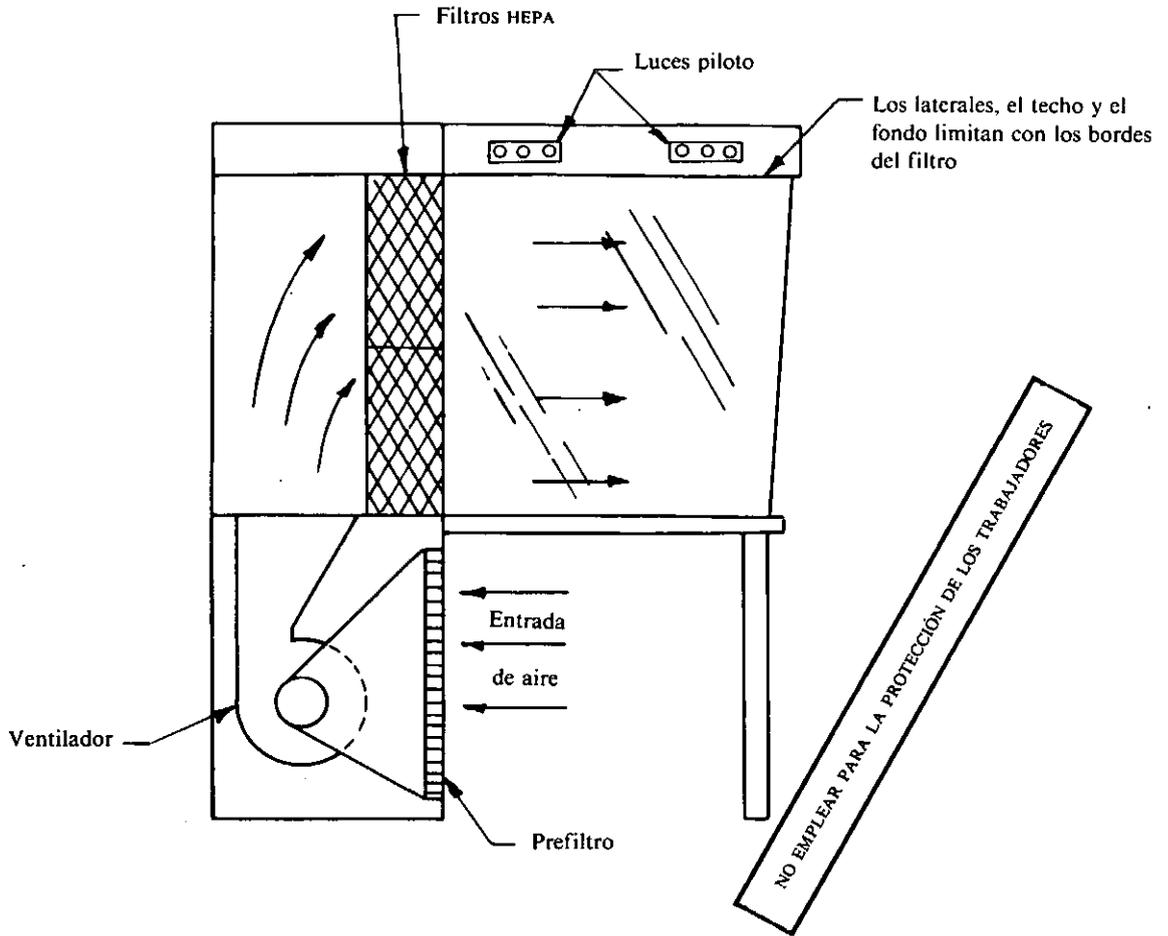
Los caudales de impulsión y extracción deben mantenerse iguales controlándose mediante técnicas de medida del caudal.

AMERICAN CONFERENCE
 OF GOVERNMENTAL
 INDUSTRIAL HYGIENISTS

*CAMPANA DE EXTRACCIÓN DE AIRE
 LIMPIO (SÓLO PARA LA PROTECCIÓN
 DEL PRODUCTO)*

FECHA 1-88

FIGURA VS-918.1



Velocidad en la boca = $0,45 \pm 0,1$ m/s

Nota: La energía consumida debe considerarse como una carga térmica para el cálculo del sistema de aire acondicionado

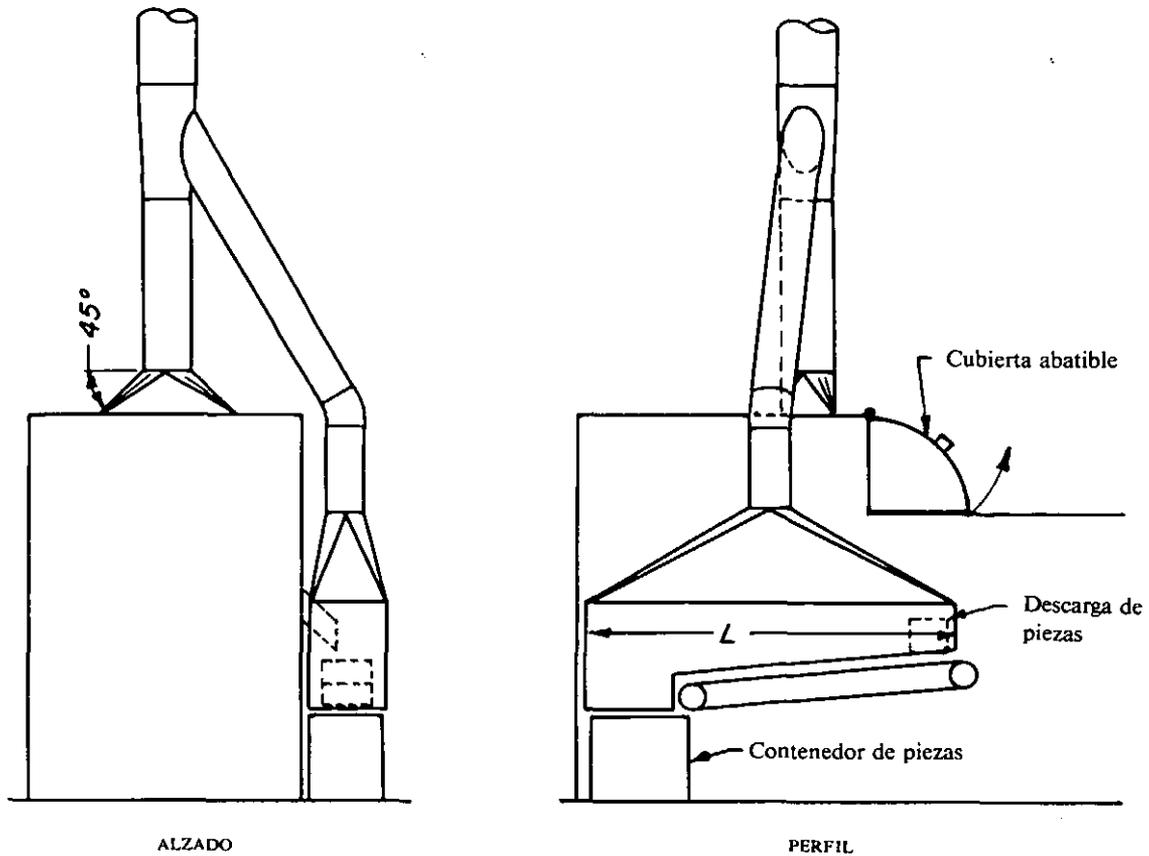
Referencia 82, 83, 84

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

*PUESTO DE TRABAJO CON AIRE LIMPIO
(SÓLO PARA LA PROTECCIÓN
DEL PRODUCTO)*

FECHA 1-88

FIGURA VS-918.2



Extrusora en frío:

$Q = 3,81 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de aberturas de la extrusora

Velocidad en el conducto = 18 m/s

Pérdida en la entrada = $PD_{\text{rendija}} + 0,25 PD_{\text{conducto}}$

Descarga de piezas y contenedor:

$Q = 0,15 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de longitud de campana

Velocidad en el conducto = 18 m/s

Pérdida en la entrada = 0,25 PD

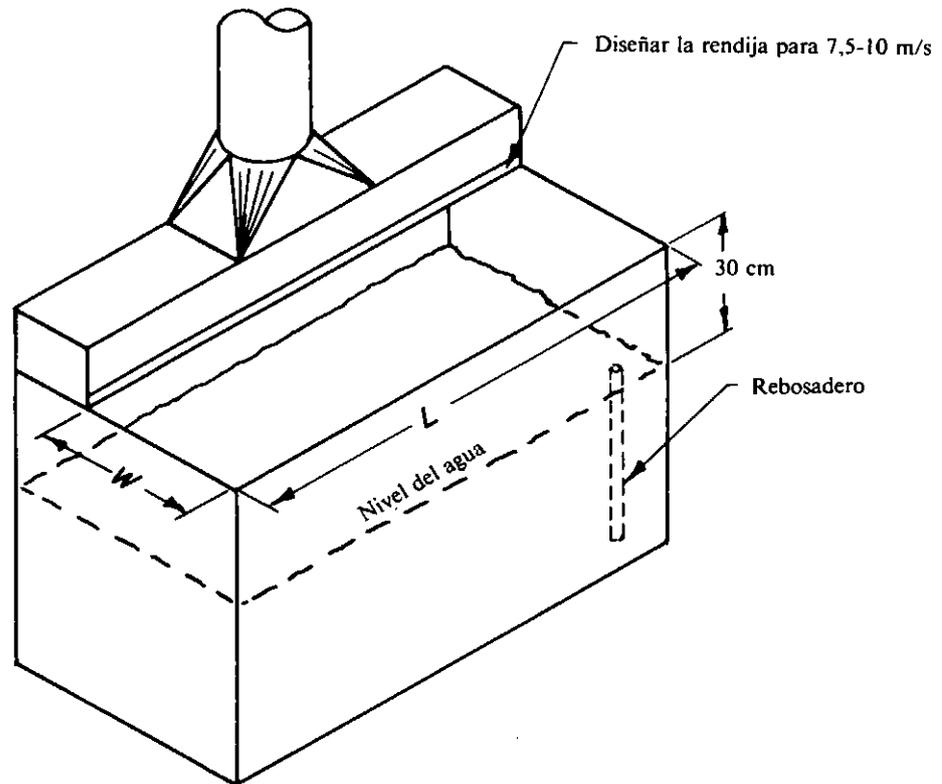
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

*VENTILACIÓN DE UNA MÁQUINA DE
ESTAMPACIÓN EN FRÍO*

FECHA

1-72

VS-919



$Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie del tanque ($1 L \times W$)
 Pérdida en la entrada = $1,78 PD_{\text{rendija}} + 0,25 PD_{\text{conducto}}$
 Velocidad en el conducto = 12,5-15 m/s

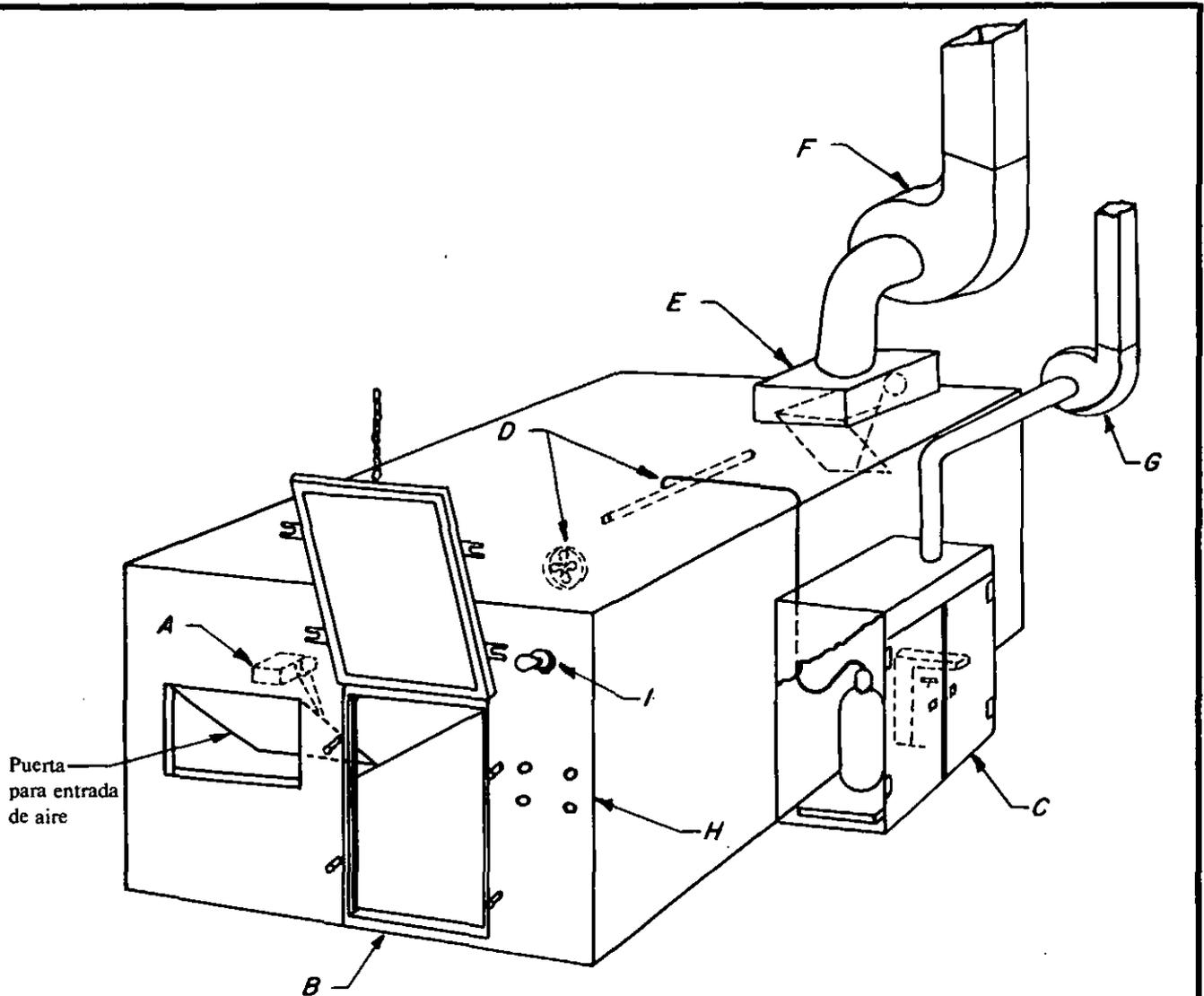
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

ENSAYO DE MOTORES FUERA-BORDA

FECHA

1-78

VS-920



Caudales de ventilación

El tiempo de purga no debe ser inferior a 60 minutos.

El caudal de ventilación debe ser igual o superior a 20 renovaciones/hora.

El caudal de aire debe proporcionar:

- 2,5 m/s o más a través de la puerta de entrada de aire si la puerta de carga está cerrada.
- al menos 0,5 m/s a través de la puerta de carga, si ambas están abiertas.

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

CABINA DE FUMIGADO

FECHA

1-78

VS-921

- A. Disponga una entrada de aire con una compuerta automática enclavada con el círculo del ventilador, de manera que la compuerta se abra únicamente cuando el ventilador esté en marcha. Ver la Figura 2. Dimensionese la entrada para una velocidad mínima del aire de 2,5 m/s. La entrada de aire debe estar situada de manera que el aire de ventilación barra la totalidad de la cabina.
- B. La puerta de carga debe abrirse únicamente cuando la cabina ha sido completamente ventilada. La puerta debe disponer de un sistema de cierre con juntas y mordazas que aseguren su estanqueidad.
- C. El recinto donde se almacenen las bombonas de gas debe estar ventilado permanentemente con un caudal de extracción de aproximadamente 0,24 m³/s, a fin de generar presión negativa en la cabina cuando las puertas están cerradas.
- D. La introducción del gas en la cabina debe efectuarse a través de toberas o boquillas. Debe instalarse también un ventilador de recirculación a fin de obtener una buena mezcla del gas fumigante.
- E. Debe instalarse también una compuerta actuada mecánicamente que cierre herméticamente cuando el ventilador está parado, durante la fumigación, y abra cuando se ponga en marcha. El actuador de la compuerta debe estar enclavado con el ventilador.
- F. Ventilador de la cabina de fumigación. Debe dimensionarse para diluir la concentración del aire hasta niveles seguros en un tiempo dado. Emplee una chimenea de descarga vertical situada lejos de puertas, ventanas y entradas de aire.
- G. El ventilador del recinto de almacenamiento de las bombonas de gas debe funcionar permanentemente.
- H. Se recomienda instalar luces e indicadores de control del funcionamiento de los distintos elementos.
- I. Luz roja de advertencia para indicar que la fumigación está en curso como protección contra una entrada por descuido.

Para facilitar la penetración del gas fumigante y su aereo subsiguiente, se recomienda que la carga de materiales se efectúe con separadores que permitan que el aire circule fácilmente entre aquéllos.

Cuando se empleen fumigantes sin olor deberán incorporarse a ellos sustancias odorizantes.

Cuando se empleen fumigantes tóxicos debe efectuarse una prueba de estanqueidad de la cabina. Ésta debe verificarse primeramente encendiendo en su interior varias bengalas generadoras de humo, con las puertas y las compuertas cerradas. Las fugas pueden detectarse mediante la presencia de humo en los puntos de fuga. Cuando se utilicen gases tóxicos muy difusibles, debe efectuarse un ensayo adicional en las puertas y compuertas, con la cabina en funcionamiento, con un detector específico del gas en cuestión o mediante una toma de muestras.

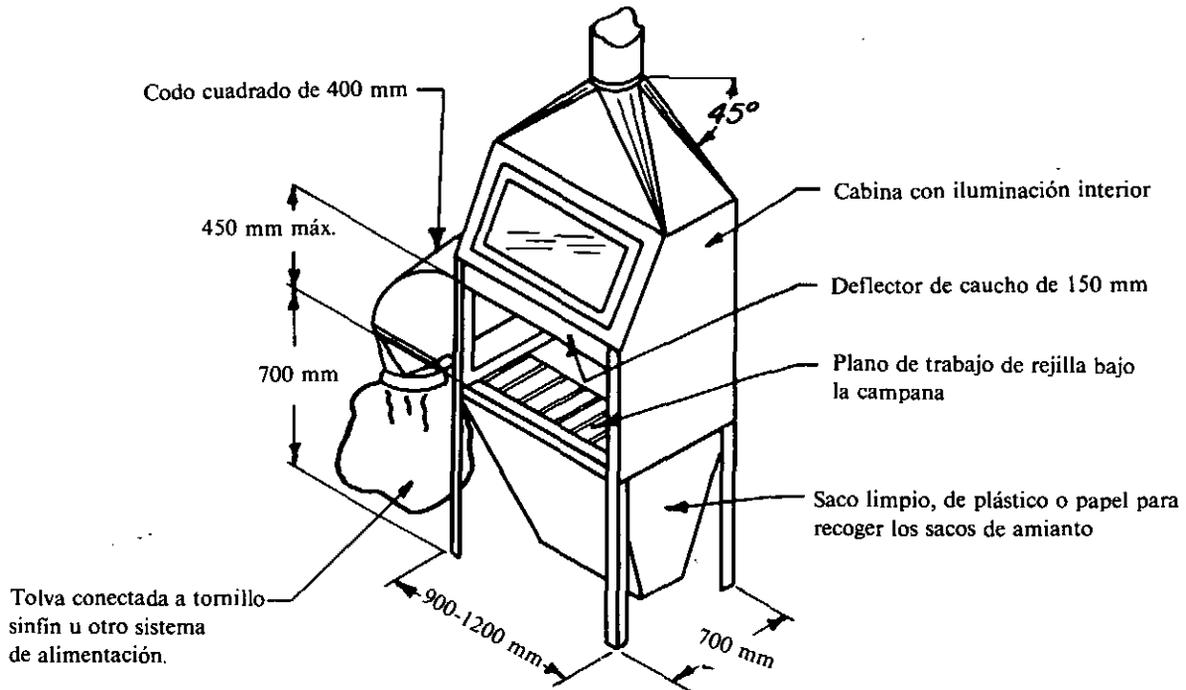
**AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

DATOS PARA CABINA DE FUMIGADO

FECHA

1-78

VS-921.1



$Q = \text{mínimo } 1,27 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2 \text{ de superficie abierta}$
 Velocidad en el conducto = 18 m/s
 Pérdida en la entrada = $0,25 PD_{\text{conducto}}$

**AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

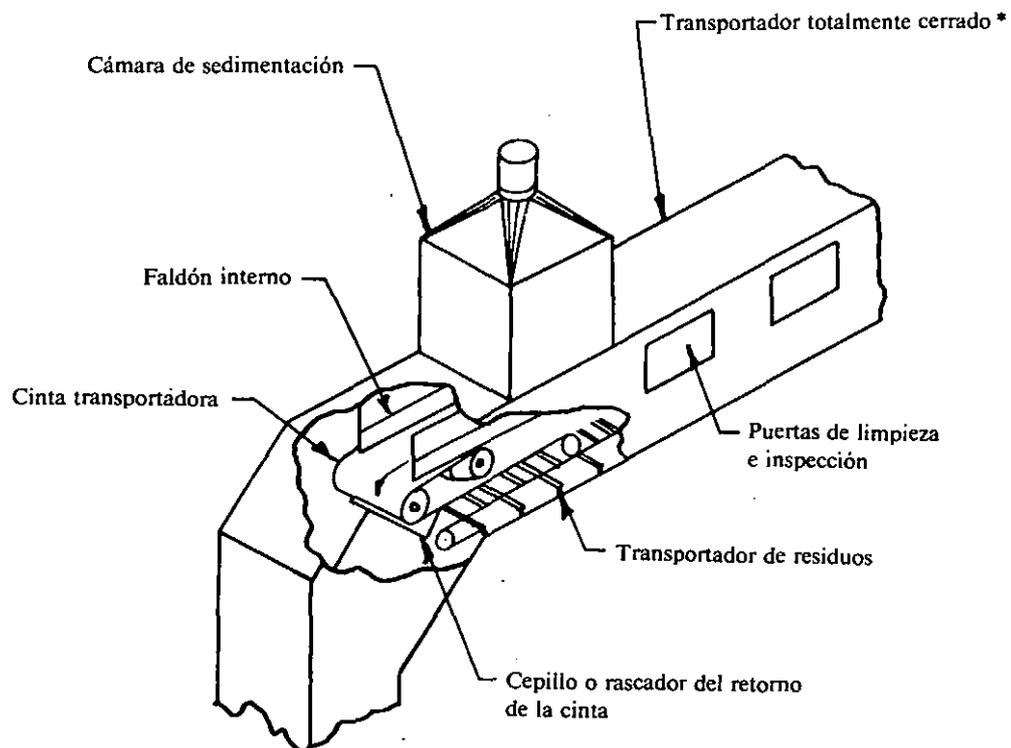
APERTURA DE SACOS DE AMIANTO

Referencia 125

FECHA

1-78

VS-1001



* La proporción de fugas depende del tipo de construcción

$Q = 0,25 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie abierta
 Velocidad en el conducto = 18 m/s mínimo
 Pérdida en la entrada = $0,40 \text{ PD}_{\text{conducto}}$

AMERICAN CONFERENCE OF
 GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

*CINTA DE TRANSPORTE DE FIBRAS
 DE AMIANTO*

Referencia 135

FECHA

1-80

VS-1002

Tabla 10.9-1 Elevadores de grano, industrias alimentarias y fábricas de harina⁽⁶⁶⁾

Los datos siguientes se presentan a título informativo. La magnitud de los caudales de aspiración necesarios puede variar considerablemente en función del grado de encerramiento, la velocidad a la que fluya el material, y la cantidad de polvo contenido en el grano. Velocidad mínima en el conducto = 18 m/s. Es aconsejable controlar este tipo de operaciones mediante ventilación a fin de minimizar los riesgos derivados de las características explosivas de los polvos de cereales y para mantener las normas de limpieza en las plantas.

Operación	Diseño de la campana	Caudal de aire					
Llenado de sacos	VS-301, 302 Cabina VS-303	Tal como se indica 0,5 m ³ /s/m ² de la superficie abierta					
Descarga de cintas	A una cinta - VS-306	0,23 m ³ /s/m de anchura de cinta para velocidades de ésta superiores a 1 m/s					
	A un silo - VS-304	0,39 m ³ /s/m de anchura de cinta para velocidades de ésta superiores a 1 m/s					
	A un elevador - VS-305, 306	Incremento en 1/3 si la altura de caída del material es superior a 3 m					
Silos	Extracción directa. Emplee adaptación progresiva	0,24 m ³ /s					
Elevador de cangilones	VS-305	0,5 m ³ /s/m ² de sección recta					
Máquinas de limpieza	Consulte al fabricante						
Distribuidores	Encerramiento de la descarga y velocidad de aspiración de 1 m/s en todas las aberturas	Núm. de salidas	Diámetro de las salidas, mm				
			Caudal de extrac. m ³ /s	150	175	200	225
		0-6		0,26	0,32	0,45	0,58
		6-12		0,45	0,58	0,71	0,90
12-24	0,71	0,90	1,06	1,30			
Trituradores de grano	Consulte al fabricante						
Descarga en el suelo	Cabina	1 m ³ /s/m ² de superficie abierta					
Barredora		0,45 m ³ /s para aberturas de 10 × 20 cm					
Tolva compensadora	Extracción directa. Emplee adaptación progresiva	m ³ /s = 0,016 × caudal de vertido en m ³ /min					
Mezcladores	Tapa con extracción	Capacidad del mezclador			Caudal, m ³ /s		
		Hasta 0,5 Tm			0,14		
		0,5-1,5 Tm			0,32		
Más de 1,5 Tm			0,45				
Alimentadores	Encerramiento del transportador	0,1 m ³ /s en cada alimentador					
Purificadores	Encerramiento	0,15 - 0,20 m ³ /s/m ² de área de tamiz					
Rodillos	Encerramiento	0,092 m ³ /s/m lineal					
Básculas	Encerramiento	Capacidad, litros			Caudal, m ³ /s		
		Hasta 180			0,12		
		216 - 360			0,19		
Más de 396			0,28				

Operación	Diseño de la campana	Caudal de aire
Silos-báscula	Extracción directa. Emplee adaptación progresiva	$m^3/s = 0,016 \times$ caudal de vertido en m^3/min
Tornillos sinfín	Extracción directa. Emplee	0,094 m^3/s – conductos separados 3 m entre centros
Tamices	Encerramiento	0,094 m^3/s por compartimento
Vaciado de vagones	Extracción directa de la tolva	0,5 $m^3/s/m^2$ de área de vertido
Volquete	Descarga en cintas. VS-304, 305, 306. En la descarga – adaptación progresiva. En el elevador – extracción junto a la polea tractora	Ver más arriba, descarga de cintas. 1 $m^3/s/m^2$ de sección de vertido y 0,14 $m^3/s/m$ de anchura de cinta

TABLA 10.9-2 Operaciones standards diversas

Operación o proceso	Ventilación		Velocidad mínima en el conducto (m/s)	Referencia y observaciones
	Tipo de campana	Caudal o velocidad de captura		
Amianto				
Ensacado	Encerrar o cabina	1,25 m/s en todas las aberturas	18	125, 127
Cardado	Encerramiento	0,76 m ³ /s por carda	18	
Molurado	Encerramiento	0,75 m/s en todas las aberturas	18	124
Perforado de plancha	Campana móvil	Velocidad de captura 2 m/s	23	126
Vertido	Cabina	1,25 m/s velocidad en la boca	18	126
Mecanizado de zapatas de freno	Encerramiento	Velocidad mínima de captura 2 m/s en la herramienta	18	126
Prensado de zapatas de freno en caliente	Encerramiento	1,25 m/s en todas las aberturas	18	126
Mezclado	Cabina	1,25 m/s velocidad en la boca	18	126
Prensa de preformado	Encerramiento	1,25 m/s en todas las aberturas	18	126
Tamizado	Encerramiento	1 m/s en todas las aberturas con un mínimo de 0,125 m ³ /s/m ² de tamiz	15	125
Canillera	Campanas locales	0,02 m ³ /s por carrete	18	
Hilado y torcido	Parcial	0,02 m ³ /s por carrete	18	Emplear paneles laterales. Es preferible en húmedo
Tisaje	Campana superior con pantallas laterales	0,25 m/s en todas las aberturas	18	Preferible tejer en húmedo
Aparcamientos	2 niveles	0,25 m ³ /s por plaza		80
Cerámica	Encerramiento	1 m/s en todas las aberturas	18	24, 31, 39
Molienda en seco	En la descarga	0,25 m ³ /s	18	Alimentación autom.
Prensado en seco	En la descarga	0,25 m ³ /s	18	Alimentación manual
	En el silo de alimentación	0,25 m ³ /s	18	Alimentación manual
Aerografiado	Cabina	0,5 m/s (en la boca)		-
Aplicación aerogr. de barniz de plomo	Cabina	2 m/s (en la boca)	10	
Desmoldeo (manual)	Campana lateral grande o semicabina, aspiración	1-1,25 m ³ /s/m ² de área productora de polvo cerca del suelo	18	13, 22, 25
Ensayo de motores fuera borda	Aspiración lateral	1 m ³ /s/m de abertura del depósito	-	
Fabricación de muelas abrasivas				33
Clasificador	Encerramiento-cabina	0,25 m/s en boca	15	
Barriles	Campana superior muy próxima	2 m/s en boca	15	Los barriles reciben el polvo de un ciclón
Rectificado	Encerramiento-cabina	2 m/s en boca	15	
Forja (manual)	Cabina	1 m/s en la boca	7,5	14
Fusión de cuarzo	Cabina sobre el banco	0,75-1 m/s en la boca	-	35, 36

TABLA 10.9-2 Operaciones standards diversas

Operación o proceso	Ventilación		Velocidad mínima en el conducto (m/s)	Referencia y observaciones
	Tipo de campana	Caudal o velocidad de captura		
Grageadoras (industria farmacéutica)	Flujo hacia el interior de la máquina	0,75-1 m/s en la boca	15	7, 24 Si la grageadora recibe un aporte de aire caliente, añade su volumen al caudal de extracción
Granalladora giratoria	Encerramiento	2,5 m/s en todas las aberturas durante el funcionamiento	18	
Hornos de aluminio	Encerramiento	0,75-1 m/s en la abertura	10	14
Máquinas de embalar	Cabina Flujo descendente Encerramiento completo	0,25-0,5 m/s en la boca 0,5-0,75 m/s hacia abajo 0,5-2 m/s en la abertura	15 a 20	
Máquinas de papel	Campana de techo	1-1,5 m/s en la boca	7,5	35, 36
Marmitas (vapor de agua)	Campana de techo	0,75 m/s en la boca	10	
Marmitas (barniz)	Campana de techo	1-1,25 m/s en la boca	7,5	14, 39
Perforación de rocas	Diseño especial (ver referencias)	0,03 m ³ /s en perforación vertical (hacia abajo) 0,09 m ³ /s en perforación horizontal	*	9, 7, 18 Depende del tamaño y la velocidad de la perforadora
Recubrimiento de cable	Tanques tapados	1 m ³ /s/m ² de abertura	-	46 Naftalenos y bifenilos clorados
Soldadura de plata	Simple	0,5 m/s en el punto de generación	10	
Torneado de noyos	Flujo descendente	0,5 m/s en el punto de generación	18	34
Trituradoras y molinos	Encerramiento	1 m/s en la aberturas	18	30
Túneles de enfriamiento (fundición)	Encerramiento	0,12-0,15 m ³ /s/m de túnel	-	22, 25

Capítulo 11

APÉNDICES

APÉNDICE A

1991-1992 TLVs-Valores Límite para sustancias químicas en el Medio Ambiente de Trabajo. Adaptados por la ACGIH con las Modificaciones propuestas para 1991-92 11-2

APÉNDICE B

Propiedades físicas de distintas sustancias 11-21

Tiempo de secado de disolventes 11-25

1991-1992 TLVs - VALORES LÍMITE para Sustancias Químicas en el Medio Ambiente de Trabajo

**Adoptados por la ACGIH
con las Modificaciones
Propuestas para
1991-92**

COMISIÓN DE TLVs PARA SUSTANCIAS QUÍMICAS PARA 1990-91

- John Doull
Ph. D., M. D. Centro Médico de la Universidad de Kansas. **Presidente.**
- Dennis M. Casserly
Ph. D., CIH, Clear Lake, Universidad de Houston.
- James R. Crawl
CIH, Marina de los EE.UU.
- D. Dwight Culvert
M. D., Universidad de California - Irvine
- Janet Fekete, MS, Michigan. Administración de la Salud y Seguridad Laboral (OSHA)
- Lora E. Fleming
M. D., Escuela de Medicina, Universidad de Miami
- Trent R. Lewis
Ph. D., Retirado. Agencia Protección Medioambiente (EPA)
- Jesse Liberman
PE, CIH, Retirado. Marina de los EE.UU.
- Ernest Mastromatteo
M. D., Universidad de Toronto. Retirado.
- Ronald S. Ratney
Ph. D., CIH, Administración de la Salud y Seguridad Laboral (OSHA).
- Meier Schneider
PE, CIH, Retirado. Distrito Metro Water del Sur de California
- Raghubir Sharma
Ph. D., CIH, Universidad del Estado de Utah.
- Thomas F. Tomb.
Administración de la Seguridad y Salud en Minas (MSHA).
- Robert Spirtas
Dr. PH, Instituto Nacional de la Salud (NIH).

- Vera F. Thomas
Ph. D., Universidad de Miami, conexión con los BEIs
- Elizabeth K. Weisburger
Ph. D., Retirada. Instituto Nacional del Cáncer.
- Calvin Willhite
Ph. D., Estado de California
- Margie E. Zalesak
CIH, Administración de la Seguridad y Salud en Minas (MSHA).

CONSULTORES

- Bernard L. Fontaine, Jr., CIH, SCP. Mutua de Seguros Atlantic.
- Stanley Haimen, M. D., CIH, Centro Médico del Norte, Tampa, Florida.
- Gerald L. Kennedy, Jr., Laboratorios Haskell, Compañía E.I. du Pont de Nemours, Inc.
- Georg Kimmerle, M.D., Bayer AG, Enlace con la Comisión MAK alemana.

DECLARACIÓN DE PRINCIPIOS PARA EL USO DE LOS TLVs Y BEIs

Los Valores Límite Umbral (Threshold Limit Values; TLVs) y los Índices Biológicos de Exposición (Biological Exposure Indices; BEIs) se han desarrollado como guías para la ayuda en el control de los riesgos para la salud. Estos valores recomendados están propuestos para usarlos en la práctica de la higiene industrial, y deben interpretarse y aplicarse sólo por personas con experiencia en esta disciplina. No están pensados para usarlos como estándares legales y la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) no aboga su uso como tal. Sin embargo, es sabido que en ciertas ocasiones algunas personas u organizaciones hacen uso de estos valores como suplemento a sus programas de salud y seguridad en el trabajo. La ACGIH no se opone a que se utilicen en este sentido siempre y cuando esta actuación contribuya a la mejora general de la protección de los trabajadores. Sin embargo, el usuario debe tener en cuenta las restricciones y limitaciones sujetas a su utilización y hacerse cargo de la responsabilidad de su uso.

Las introducciones a las publicaciones de los TLV/BEI y a la Documentación de los mismos dan las bases filosóficas y prácticas para el uso y limitaciones de ambos. La extensión del uso de los TLVs y BEIs que abarquen otras aplicaciones tales como la utilización sin el juicio de un higienista industrial, la aplicación a poblaciones diferentes, desarrollo de nuevos modelos de exposición/tiempo de recuperación o nuevos efectos finales, aumentan la confianza y aún la viabilidad de los datos base de los TLV o BEI como se pone de manifiesto por la propia información existente.

Las organizaciones o personas no deben utilizar los TLVs o BEIs para que bajo sus conceptos se aplique un determinado valor de TLV o BEI, o para trasladar estos valores a los requerimientos de los estándares legales.

Esta Declaración de principios para el uso de los TLVs y BEIs fue aprobada por el Consejo de Dirección de la ACGIH el 1 de Marzo de 1988.

INTRODUCCIÓN EN RELACIÓN CON LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS

Los valores "TLV"(*) hacen referencia a concentraciones de sustancias que se encuentran en suspensión en el aire. Asimismo, representan condiciones por debajo de las cuales se cree que casi todos los trabajadores pueden exponerse repetidamente día tras día a la acción de tales concentraciones sin sufrir efectos adversos para la salud. Sin embargo, dada la gran variabilidad en la susceptibilidad individual, es posible que un pequeño porcentaje de trabajadores experimenten malestar ante algunas sustancias a concentraciones iguales o inferiores al límite umbral, mientras que un porcentaje menor puede resultar afectado más seriamente por la agravación de una condición que ya existía anteriormente o por la aparición de una enfermedad profesional. Fumar tabaco es perjudicial por varias razones. El hecho de fumar puede actuar aumentando los efectos biológicos de los compuestos químicos que se encuentran en los puestos de trabajo y puede reducir los mecanismos de defensa del organismo contra las sustancias tóxicas.

Algunas personas pueden ser también hipersusceptibles o de respuesta inesperada a algunos compuestos químicos de uso industrial debido a factores genéticos, edad, hábitos personales (tabaco, alcohol y uso de otras drogas), medicación o exposiciones anteriores que les han sensibilizado. Tales personas pueden que no sean protegidas adecuadamente de los efectos adversos para su salud a ciertos compuestos químicos a concentraciones próximas o por debajo del TLV. El médico de empresa (médico del trabajo) debe evaluar en estos casos la protección adicional que requieren estos trabajadores.

Los valores TLV se basan en la mejor información disponible obtenida mediante la experiencia en la industria, la experimentación humana y animal y, cuando es posible, por la combinación de las tres. La base sobre la que se establecen los valores TLV puede diferir de una sustancia a otra; para unas, la protección contra el deterioro de la salud puede ser un factor que sirve de guía, mientras que para otras la ausencia razonable de irritación, narcosis, molestias u otras formas de malestar puede constituir el fundamento para fijar dicho valor.

La cantidad y la naturaleza de la información disponible para el establecimiento de un valor TLV varían de una sustancia a otra. Por consiguiente, la exactitud del TLV estimado también está sujeta a variación, debiendo consultarse la edición más reciente de la publicación "Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices" para apreciar la magnitud de los datos disponibles para una sustancia dada.

Estos límites están destinados a ser utilizados en la práctica de la higiene industrial como

(*) NOTA DEL TRADUCTOR

Las siglas TLV corresponden a la expresión inglesa "Threshold Limit Values", que significa "Valores límite Umbral". Dado el uso generalizado que de las citadas siglas inglesas se hace en la práctica, se ha optado por mantenerlas en el texto de la traducción con la palabra "Valores" antepuesta aunque, a veces, también se emplea la expresión "Valores Límite" solamente.

directrices o recomendaciones para el control de riesgos potenciales para la salud y no para ningún otro uso como, por ejemplo, para la evaluación o el control de las molestias de la contaminación atmosférica para la comunidad, la estimación del potencial tóxico de la exposición continua e ininterrumpida u otros períodos de trabajo prolongados, como prueba de la existencia o inexistencia de una enfermedad o un estado físico, o su adopción por países cuyas condiciones de trabajo sean distintas de aquéllas que se dan en los Estados Unidos de América y cuando difieran las sustancias y los procesos. Estos límites no son líneas definidas de separación entre la concentración segura y la peligrosa, no son índices relativos de toxicidad, y tampoco deben ser usados por nadie que carezca de formación en materia de higiene industrial.

Estos valores límite, tal como los publica la ACGIH, son recomendaciones y se deben usar como directrices para la implantación de prácticas adecuadas. Aunque no se considera probable que se produzcan lesiones graves como consecuencia de la exposición a concentraciones límite, la mejor práctica es mantener las concentraciones de toda clase de contaminantes atmosféricos tan bajas como sea posible.

La ACGIH declina toda responsabilidad con respecto al uso de los valores TLV.

Propuestas de modificación

Al comienzo de cada año, se publican en forma de "Propuestas de Modificación" las medidas que la Comisión de TLVs para las Sustancias Químicas, se propone tomar para ese año, con lo que no sólo se ofrece la oportunidad de hacer comentarios, sino que también se invita a sugerir las sustancias que deben ser añadidas a la lista. Dichas sugerencias deben ir acompañadas de datos justificativos. Las relaciones de Propuestas de Modificación figuran a continuación de las listas de Valores Adoptados incluidas en cada una de las secciones de esta publicación. Los valores TLV dados entre paréntesis en la lista de Valores Adoptados han de usarse mientras dure el cambio propuesto para un determinado valor en la lista de compuestos como Propuesta de Modificación.

Definiciones

En la presente publicación, se especifican las tres categorías de TLVs (Valores Límite Umbral) siguientes:

- a) **TLV-TWA (Threshold Limit Value - Time Weighted Average)**
(Valor Límite Umbral - Media Ponderada en el Tiempo)

Concentración media ponderada en el tiempo, para una jornada normal de trabajo de 8 horas y una semana laboral de 40 horas, a la que pueden estar expuestos casi todos los trabajadores repetidamente día tras día, sin efectos adversos.

- b) **TLV-STEL (Threshold Limit Value - Short Term Exposure Limit)**
(Valor Límite Umbral - Límite de Exposición de Corta Duración)

Concentración a la que los trabajadores pueden estar expuestos de manera continua durante un corto espacio de tiempo sin sufrir: 1) irritación, 2) daños crónicos o irreversibles en los tejidos, o 3) narcosis en grado suficiente para aumentar la probabilidad de lesiones accidentales, menoscabar la autorrecuperación o reducir sustancialmente la eficacia en el trabajo, y siempre que no se sobrepase el TLV-TWA diario. No es un límite de exposición independiente, sino que más bien complementa al límite de la media ponderada en el tiempo (TWA) cuando se admite la existencia de efectos agudos de una sustancia cuyos efectos tóxicos son, primordialmente, de carácter crónico. Los STELs se recomiendan solamente cuando se ha denunciado la existencia de efectos tóxicos en seres humanos o animales como resultado de exposiciones intensas de corta duración.

El STEL se define como la exposición media ponderada en un tiempo de 15 minutos, que no se debe sobrepasar en ningún momento de la jornada laboral, aun cuando la media ponderada en el tiempo que corresponda a las ocho horas sea inferior al TLV. Las exposiciones por encima del TLV-TWA hasta el valor STEL no deben tener una duración superior a 15 minutos ni repetirse más de cuatro veces al día. Debe haber por lo menos un período de 60 minutos entre exposiciones sucesivas de este rango. Se podría recomendar un período medio de exposición distinto de 15 minutos cuando lo justifiquen los efectos biológicos observados.

c) **TLV-C (Threshold Limit Value - Ceiling)**
(Valor Límite Umbral - Techo)

Es la concentración que no se debe sobrepasar en ningún momento durante la exposición en el trabajo.

En la práctica convencional de la higiene industrial, si no es posible realizar una medida instantánea, el TLV-C se puede fijar cuando las exposiciones son cortas mediante muestreo durante 15 minutos, excepto para aquellas sustancias que puedan causar irritación de inmediato.

Para algunas sustancias como, por ejemplo, los gases irritantes quizás solamente sea adecuada la categoría de TLV-C. Para otras, pueden ser pertinentes una o dos categorías, según su acción fisiológica. Conviene observar que, si se sobrepasa uno cualquiera de estos valores TLV, se presume que existe un riesgo potencial derivado de esa sustancia.

La Comisión de TLVs para las Sustancias Químicas sostiene que los TLVs basados en la irritación física no deben ser considerados como menos vinculantes que aquéllos que tienen su fundamento en el deterioro físico. Cada vez es mayor la evidencia de que la irritación física puede iniciar, promover o acelerar el deterioro físico mediante su interacción con otros agentes químicos o biológicos.

Concentración media ponderada en el tiempo (TWA) frente a valores techo (C)

Las medias ponderadas en el tiempo (TWA) permiten desviaciones por encima del TLV siempre que estas sean compensadas durante la jornada de trabajo por otras equivalentes por debajo del TLV-TWA. En algunos casos, puede ser permisible calcular la concen-

tración media para una semana de trabajo en lugar de hacerlo para una sola jornada. La relación entre el límite umbral y la desviación permisible es empírica y, en casos determinados, puede no ser de aplicación. La magnitud en que se pueden sobrepasar los límites umbral durante cortos períodos de tiempo sin daño para la salud, depende de diversos factores como la naturaleza del contaminante, de si concentraciones muy elevadas, incluso durante períodos cortos de tiempo, producen intoxicaciones agudas, de que sus efectos sean acumulativos, de la frecuencia con que se dan las concentraciones elevadas, y de la duración de dichos períodos de tiempo. Para determinar si existe una situación peligrosa, hay que tener en cuenta todos los factores en consideración.

Aunque la concentración media ponderada en el tiempo constituye el modo más satisfactorio y práctico de supervisar si los agentes que se encuentran en suspensión en el aire se ajustan a los límites señalados, hay determinadas sustancias para las que no resulta apropiada. En este último grupo figuran sustancias que, predominantemente, son de acción rápida y cuyo límite umbral es más apropiado basarlo en esta respuesta particular. La manera óptima de controlar las sustancias que tienen este tipo de respuesta, es mediante un valor techo, que no se debe sobrepasar. Estas definiciones llevan implícito que la manera de realizar el muestreo para determinar si no se observan los límites correspondientes a cada grupo, tiene que ser distinta: una sola muestra de cierta duración, que corresponde a un valor techo, no es apropiada para el límite ponderado en el tiempo; en este caso, se necesita un número de muestras suficientes para permitir una concentración media ponderada en el tiempo durante un ciclo completo de operaciones o todo el turno de trabajo.

El valor techo fija un tope definido que no se debe permitir que sea sobrepasado por las concentraciones, mientras que el valor medio ponderado en el tiempo (TWA) requiere un límite explícito a las desviaciones que son permisibles por encima de los valores señalados en la relación de TLVs. Es de observar que la Comisión de TLVs para las Sustancias Químicas usa los mismos factores para determinar la magnitud de los STELs o incluir o excluir una sustancia para un valor techo.

Límites de desviación (*)

Para la inmensa mayoría de sustancias que tienen TLV-TWA, no se dispone de datos toxicológicos suficientes que garanticen un STEL. No obstante, se deben controlar las desviaciones o variaciones por encima del TLV-TWA, aun cuando el valor TLV-TWA para ocho horas esté dentro de los límites recomendados. Las ediciones anteriores de la relación de valores TLV incluían dichos límites, que dependían del valor TLV-TWA de la sustancia en cuestión.

Aunque no se daba un fundamento riguroso para estos valores particulares, el concepto básico era intuitivo: en una exposición a un proceso bien controlado, se deben mantener las desviaciones dentro de ciertos límites. Por desgracia, ni la toxicología ni la experiencia colectiva de la higiene industrial proporcionan una base sólida para cuantificar esos límites. En este caso,

(*) Traducción de la expresión "Excursion Limits"

el enfoque consiste en que la desviación máxima recomendada debe estar relacionada con la variabilidad generalmente observada en los procesos industriales reales. Al revisar un gran número de encuestas sobre higiene industrial realizadas por el National Institute for Occupational Safety and Health, Leidel, Busch y Crouse (1) encontraron que, en general, las mediciones correspondientes a exposiciones de corta duración tenían una distribución logarítmica normal con una desviación estándar geométrica que, la mayoría de las veces, fluctuaba entre 1,5 y 2,0.

Aunque una exposición completa de la teoría y las propiedades de la distribución logarítmico-normal escapa al alcance de esta sección, se hace una breve descripción de algunos términos importantes. La desviación estándar geométrica en una distribución logarítmico-normal es el antilogaritmo de la media logarítmica de los valores de la muestra. La distribución es sesgada y la media geométrica es siempre menor que la media aritmética en una cantidad que depende de la desviación estándar geométrica. En la distribución logarítmico normal, la desviación estándar geométrica (sd_g) es el antilogaritmo de los valores de la muestra y el 68,26% de todos los valores están comprendidos entre m_g/sd_g y $m_g \times sd_g$.

Si, en una situación dada, los valores correspondientes a exposiciones de corta duración tienen una desviación geométrica estándar igual a 2,0, el 5% de todos los valores sobrepasan 3,13 veces la medida geométrica. Si un proceso muestra una variabilidad superior a ésta, el control de ese proceso no es adecuado y es preciso esforzarse por restablecer el control. Este concepto es la base para las recomendaciones que se indican a continuación sobre los límites de desviación que se aplica a los valores TLV-TWA que no tienen valores STEL:

Las desviaciones en los niveles de exposición de los trabajadores no deben superar tres veces el valor TLV-TWA durante más de 30 minutos en una jornada de trabajo, no debiendo sobrepasar bajo ninguna circunstancia cinco veces dicho valor, en cualquier caso debe respetarse el TLV-TWA fijado.

Esta aproximación es una simplificación considerable de la idea de la distribución logarítmico-normal de las concentraciones, pero en la práctica de la higiene industrial se considera más cómodo su uso. Si se mantienen las desviaciones de la exposición dentro de los límites recomendados, la desviación estándar geométrica de las concentraciones medidas se aproximará a 2,0, lográndose el objetivo de las recomendaciones.

Cuando se dispone de los datos toxicológicos correspondientes a una sustancia específica para establecer el STEL, este valor tiene prioridad sobre el límite de desviación, con independencia de que sea más o menos riguroso.

Notación "Vía dérmica"

En las listas de las sustancias, tanto en la de los valores recomendados como en la de las propuestas de modificación, cuando un compuesto va seguido de la notación "vía dérmica" significa que hay una contribución potencial significativa de la absorción por vía cutánea a la exposición total de ese compuesto. La

absorción dérmica incluye las membranas mucosas y los ojos, ya sea por contacto con los vapores o, probablemente de mayor significación, por contacto directo del compuesto con la piel. Las sustancias vehiculizantes presentes en las soluciones o en las mezclas también pueden aumentar significativamente la posible absorción dérmica. Las propiedades de algunos materiales de provocar irritación, dermatitis y sensibilización en los trabajadores **no se consideran relevantes** a la hora de decidir la inclusión o no de la notación vía dérmica en un compuesto. Sin embargo, hay que tener en cuenta, que el desarrollo de una situación dermatológica puede afectar significativamente la posibilidad de la absorción dérmica.

Debido a que los datos cuantitativos que normalmente existen en relación con la absorción dérmica de gases, vapores y líquidos son limitados, la Comisión de TLV para las Sustancias Químicas está actualmente examinando la posibilidad de utilizar los métodos de modelo *in vitro* y los datos de toxicidad dérmica aguda que puedan proporcionar justificación adicional en la asignación de la notación vía dérmica. En general, cuando los datos disponibles sugieren una absorción potencial significativa a través de manos y antebrazos, durante la jornada laboral, justificaría la designación del compuesto con la notación vía dérmica. De la misma forma se debería considerar la asignación de vía dérmica para las sustancias en las que, los datos de toxicidad aguda en animales, la DL_{50} dérmica sea relativamente baja y cuando los estudios de aplicación dérmica repetida muestren efectos sistémicos significativos en el tratamiento continuado.

Las sustancias con notación "vía dérmica" y con un valor TLV bajo pueden presentar problemas especiales en los trabajos en los que las concentraciones del contaminante en el aire sean elevadas, particularmente en condiciones en las que haya una superficie considerable de piel expuesta durante un período prolongado de tiempo. En estas condiciones se pueden establecer precauciones especiales para reducir significativamente o excluir el contacto con la piel.

Para determinar la contribución relativa de la exposición dérmica a la dosis total se debe considerar el control biológico.

En esta publicación se incluye una serie de valores adoptados como índices biológicos de exposición, que dan una información adicional para la valoración de la exposición total de los trabajadores a unos compuestos determinados.

El propósito de la notación "vía dérmica" es el de alertar al usuario de que solamente el muestreo ambiental es insuficiente para cuantificar exactamente la exposición y que se deben establecer las medidas suficientes para evitar la absorción cutánea.

Las documentaciones futuras de los TLVs y en todas las revisiones de los documentos existentes, harán énfasis en este tema tan importante, tomándose consideraciones especiales para fundamentar y dar referencias dentro de cada documentación para apoyar la designación de "vía dérmica".

Mezclas

Consideración especial merece, asimismo, la aplicación de los valores TLV al determinar los peligros para la salud que puedan estar relacionados con la exposi-

ción a mezclas de dos o más sustancias. En el Apéndice C se da una discusión breve de las consideraciones básicas concernientes al desarrollo de los TLVs para las mezclas y los métodos para su aplicación documentados con ejemplos concretos.

Polvo total y polvo respirable

Para compuestos sólidos y nieblas líquidas, los TLVs se expresan en términos de polvo total excepto cuando se indica específicamente "polvo respirable". Ver para la definición de polvo respirable (masa de las partículas respirables) el Apéndice D, criterios de muestreo selectivo por tamaño de partícula para aerosoles.

Partículas no clasificadas de otra forma (PNCOF)

En contraste con los polvos fibrogénicos, que dan lugar a la formación de cicatrices en los pulmones cuando se los inhala en cantidades excesivas, los llamados polvos "molestos" presentan, desde hace mucho tiempo, antecedentes de escasos efectos adversos sobre los pulmones, no produciendo trastornos orgánicos significativos ni teniendo efectos tóxicos cuando la exposición a los mismos se mantiene razonablemente controlada. A estos polvos se les ha llamado también polvos (biológicamente) inertes, pero esta última denominación no es apropiada en la medida en que no hay ninguna clase de polvo que no provoque alguna respuesta celular en el pulmón cuando se le inhala en cantidad suficiente. No obstante, la reacción de los tejidos pulmonares causada por la inhalación de PNCOF tiene las características siguientes: 1) la constitución de los espacios para el aire (alveolos) permanece intacta; 2) no se forma colágeno (tejido cicatrizado) en medida significativa; y 3) la reacción de los tejidos es potencialmente reversible.

Las concentraciones excesivas de las PNCOF en el aire en el puesto de trabajo pueden reducir fuertemente la visibilidad, producir depósitos molestos en los ojos, oídos y conductos nasales (p. e. polvo del cemento Portland) o producir lesiones en la piel o en las membranas mucosas por acción química o mecánica "per se" o bien por los rigurosos procedimientos de lavado de la piel que son necesarios para su eliminación.

Para las sustancias comprendidas en esta categoría y aquéllas para las que no se han establecido valores límites específicos, se recomienda un TLV-TWA de 10 mg/m³ de polvo total no conteniendo amianto y menos de un 1% de sílice cristalina. Este límite para una jornada normal de trabajo no es de aplicación a exposiciones cortas con concentraciones superiores ni a aquellas sustancias que, en concentraciones menores, pueden causar deterioro fisiológico aunque aún no se haya adoptado un valor límite para ellas. Se ha suprimido el Apéndice de Polvo Molesto incorporándose las sustancias que contenía en el listado general de valores adoptados.

Asfixiantes Simples gases o vapores "inertes"

Diversos gases y vapores actúan primordialmente sólo como asfixiantes sin más efectos fisiológicos significativos cuando están presentes a altas concentraciones en el aire. No es posible recomendar un TLV para cada asfixiante simple porque el factor limitador es el oxígeno disponible. En condiciones normales de presión atmosférica (equivalente a una presión parcial,

pO₂, de 135 torr), el contenido mínimo de oxígeno debe ser el 18% en volumen. Las atmósferas deficientes en O₂ no proporcionan signos de alarma adecuados y la mayoría de los asfixiantes simples son inodoros. Por otro lado, varios asfixiantes simples suponen un peligro de explosión, factor que debe tomarse en cuenta al limitar la concentración del asfixiante. Se ha suprimido el Apéndice que contenía ejemplos de algunos gases asfixiantes incorporándose estos en orden alfabético en el listado general de valores adoptados.

Índices Biológicos de Exposición (BEI)

Las sustancias que además del valor TLV se les ha establecido un Índice Biológico de Exposición aparecen señaladas con el símbolo ▲. Para evaluar la exposición total (p. e. absorción dérmica, ingestión o exposición no laboral) de estas sustancias se debe realizar el control biológico. Ver el apartado correspondiente en esta publicación.

Factores físicos

Está admitido que factores físicos tales como el calor, la radiación ultravioleta e ionizante, la humedad, la presión (altitud) anormal, etc. pueden aumentar el estrés a que se ve sometido el cuerpo, con lo que pueden producirse alteraciones en los efectos derivados de la exposición a un valor límite. La mayoría de estos tipos de estrés actúan negativamente aumentando la respuesta tóxica de una sustancia. Aunque la mayoría de los valores límites llevan incorporados coeficientes de seguridad para proteger contra los efectos adversos ante desviaciones moderadas de los medios ambientales normales, los coeficientes de seguridad de la mayoría de las sustancias no alcanzan una magnitud que justifique el ocuparse de las desviaciones fuertes. Así, por ejemplo, el trabajo continuo a temperaturas por encima de los 32,2°C (90°F) o la realización de más de un 25% de horas extraordinarias a lo largo de la semana laboral podrían considerarse como desviaciones fuertes. En tales casos, hay que actuar con prudencia al efectuar los reajustes adecuados de los valores límite.

Sustancias no indicadas en la lista

Muchas sustancias que están presentes o se manipulan en los procesos industriales, no aparecen en la relación de valores TLV. En algunos casos, la sustancia raramente se encuentra presente como partícula, vapor u otro contaminante en suspensión en el aire, no siendo necesario un valor TLV. En otros casos, la Comisión de TLVs para las Sustancias Químicas no dispone de información suficiente que justifique el establecimiento de un valor TLV, incluso de manera provisional. Otras sustancias, de baja toxicidad, podrían clasificarse como partículas no clasificadas de otra forma (PNCOF).

Además, hay algunas sustancias de toxicidad considerable que se han omitido principalmente porque sólo se conoce la existencia de un número limitado de trabajadores (como, por ejemplo, los empleados de una sola instalación industrial) que están potencialmente expuestos a concentraciones posiblemente nocivas.

Turnos de trabajo con horario especial

La aplicación de los TLVs a trabajadores con turnos

de trabajo marcadamente diferentes de la jornada laboral de las 8 h/día, 40 h/semana requiere una consideración particular si se quiere proteger a estos trabajadores en la misma medida que se hace con los que realizan la jornada normal de trabajo.

Como orientación en la valoración del riesgo en estos casos los higienistas aplican el "modelo de Brief y Scala" o el "modelo de la OSHA" (Occupational Safety and Health Administration) publicados ambos en la obra de Patty (2).

El modelo de Brief y Scala, el más conservador de los dos, reduce el TLV proporcionalmente tanto en el caso de un incremento del tiempo de exposición como en la reducción que se produce en el tiempo de no exposición. El modelo de la OSHA clasifica a los contaminantes por tipos de efectos tóxicos y recomienda procedimientos de ajuste diferentes para los límites de exposición, sobre esta base, incluyendo el ajuste de cero.

Ambos modelos se aplican generalmente a turnos de trabajo superiores a 8/h. día ó 40 h/semana. Estos modelos no deben usarse para justificar exposiciones muy elevadas como "permisibles" cuando los períodos de exposición son cortos, por ejemplo: exposición a 8 veces el valor TLV-TWA durante 1 hora y el resto del turno de trabajo a exposición cero. En estos casos se deben aplicar las limitaciones generales de los límites de desviación de TLVs y STELs para evitar el uso incorrecto de estos modelos cuando el tiempo de exposición es muy corto dentro del turno completo de trabajo.

Debido a que el ajuste de los TLVs para turnos de trabajo con horario especial no han gozado de un uso general ni de observación a lo largo del tiempo, se recomienda una supervisión médica durante el uso inicial de los valores TLVs ajustados por alguno de estos dos métodos. Los higienistas, por su parte, deben evitar la exposición innecesaria de los trabajadores aún en el caso de que el modelo indique que la exposición puede ser "permitida" ni tampoco deben usar modelos para justificar exposiciones más elevadas de lo necesario.

Los modelos de la OSHA y de Brief y Scala son más fáciles de aplicar que algunos otros más complejos basados en modelos farmacocinéticos. Sin embargo, los higienistas familiarizados con estos últimos pueden hacer una evaluación más exacta del riesgo en casos específicos. Para la aplicación de estos modelos se necesita saber el valor de la vida media biológica de cada sustancia química a evaluar y en algunos casos otros datos adicionales.

Los higienistas deben tener en cuenta que, trabajos que ocupan menos de una semana pueden permitir a los trabajadores realizar dos trabajos a dedicación completa (8 h/día) quizás con exposiciones similares, que pueden conducir a una sobreexposición aún cuando ninguno de los dos trabajos en sí conlleve sobreexposición.

Conversión de los valores TLVs en ppm a mg/m³

Los valores de los TLVs para gases y vapores se dan generalmente en partes por millón de compuesto por volumen de aire (ppm). Para facilidad del usuario, estos valores TLVs se han convertido también a miligramos de compuesto por metro cúbico de aire

(mg/m³). La conversión se ha hecho en condiciones normales de 760 torr de presión barométrica y 25°C (77°F) de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$\text{TLV en mg/m}^3 = \frac{(\text{TLV en ppm}) (\text{peso molecular del compuesto en gramos})}{24,45}$$

en donde 24,45 es el volumen molar en litros.

Recíprocamente, la ecuación para convertir los valores TLV mg/m³ en ppm es:

$$\text{TLV en ppm} = \frac{(\text{TLV en mg/m}^3) (24,45)}{(\text{peso molecular del compuesto en gramos})}$$

Los valores resultantes se han aproximado a dos cifras significativas si el valor calculado es inferior a 100 y a tres cifras significativas si está por encima de 100. Esta aproximación no se hace para que los valores convertidos tengan mayor precisión que el valor original de cada TLV, sino para evitar un aumento o disminución significativo debido a la conversión de unidades.

La ecuación anterior puede usarse para convertir los valores TLVs en cualquier rango de precisión deseada. Cuando los valores TLVs se convierten en mg/m³ para otras temperaturas y presiones deben usarse como punto de partida los valores TLVs de referencia. Para convertir los valores expresados con respecto a un elemento (p.e. como Fe, como Ni) se debe utilizar el peso atómico del elemento y no el peso molecular del compuesto entero.

Para la conversión de sustancias con pesos moleculares variables se asumen o estiman estos de forma adecuada (véase la Documentación sobre TLVs).

Normas de procedimiento

El Consejo de Dirección de la ACGIH ha adoptado los Principios Generales de Operación y Procedimientos para la Comisión de Estudio de TLVs para Sustancias Químicas. Dichas normas de procedimiento establecen: las tareas, la autoridad, los planes, los miembros, la organización y los procedimientos operativos, incluyendo en los planes los procedimientos para los recursos. El documento en el que se recogen estas normas de procedimiento se puede adquirir en la Oficina de Publicaciones de la ACGIH al precio de 5 dólares el ejemplar. Estas normas de procedimiento se han publicado también en el número de Septiembre de 1989 de la revista Applied Industrial Hygiene. Estas guías permiten una información pública.

Bibliografía

1. Leidel, N. A.; K. A. Busch y W. E. Crouse: Exposure Measurement, Action Level and Occupational Environmental Variability. Publicación n.º 76-131 (Diciembre 1975) del NIOSH.
2. Paustenbach, D. J.: Occupational Exposure Limits, Pharmacokinetics, and Unusual Work Schedules. En: Patty's, Industrial Hygiene and Toxicology, 2.ª ed., Vol. 3 A. The Work Environment, Capítulo 6, págs. 111-277. L. J. Cralley and L. V. Cralley, editores. John Wiley and Sons, Inc., Nueva York 1985.

NOTA: Con el fin de que la presente publicación tenga la menor extensión posible, las notas pertinentes sobre equivalencia de los símbolos que aparecen en las tablas de valores adoptados y en la de propuesta de modificación se dan al final de las mismas.

SUSTANCIA	(#CAS)	VALORES ADOPTADOS				SUSTANCIA	(#CAS)	VALORES ADOPTADOS			
		TWA		STEL				TWA		STEL	
		ppm ^a	mg/m ^{3b}	ppm ^a	mg/m ^{3b}			ppm ^a	mg/m ^{3b}	ppm ^a	mg/m ^{3b}
Aceite mineral, nieblas (1976)	-	-	5 ^a	-	10						
Aceite vegetal, nieblas ^a (1972)	-	-	10	-	-						
■ Acetaldehído (75-07-0) (1976)		100	180	150	270						
■ Acetato de n-amilo (628-63-7) (1987)		100	532	-	-						
■ Acetato de sec-amilo (626-38-0) (1987)		125	665	-	-						
■ Acetato de n-butilo (123-86-4) (1976)		150	713	200	950						
■ Acetato de sec-butilo (105-46-4) (1987)		200	950	-	-						
■ Acetato de ter-butilo (540-88-5) (1987)		200	950	-	-						
■ Acetato de éter monoetilico del etilenglicol, véase Acetato de 2-Etoxietilo											
■ Acetato del éter monometilico del etilenglicol, véase Acetato de 2-Metoxietilo											
■ Acetato de etilo (141-78-6) (1977)		400	1.440	-	-						
■ Acetato de 2-etoxietilo (EGEEA) (111-15-9) Via dérmica (1984)		5	27	-	-						
■ Acetato de sec-hexilo (108-84-9) (1977)		50	295	-	-						
■ Acetato de isoamilo (123-92-2) (1987)		100	532	-	-						
■ Acetato de isobutilo (110-19-0) (1990)		150	713	-	-						
■ Acetato de isopropilo (108-21-4) (1976)		250	1.040	310	1.290						
■ Acetato de metilo (79-20-9) (1976)		200	606	250	757						
■ Acetato de 2-metoxietilo (EGMEA) (110-49-6) Via dérmica (1984)		5	24	-	-						
■ Acetato de n-propilo (109-60-4) (1976)		200	835	250	1.040						
● Acetato de vinilo (108-05-4) (1976)		10	35	(20)	(70)						
■ Acetileno (74-86-2) (1981)		-	-	-	-						
● Acetona (67-64-1) (1982)		750	1.780	1.000	2.380						
● Acetonitrilo (75-05-8) (1976)		40	67	60	101						
● Acido acético (64-19-7) (1976)		10	25	15	37						
● Acido acetilsalicílico (Aspirina) (50-78-2) (1980)		-	5	-	-						
● Acido acrílico (79-10-7). Via dérmica (1990)		2	5,9	-	-						
* Acido 2-cloropropiónico (598-78-7) Via dérmica (1991)		0,1	0,44	-	-						
● Acido 2,2-dicloropropiónico (75-99-0) (1980)		1	5,8	-	-						
* Acido fórmico (64-18-6) (1991)		5	9,4	10	19						
● Acido fosfórico (7664-38-2) (1976)		-	1	-	3						
● Acido metacrílico (79-41-4) (1981)		20	70	-	-						
● Acido nítrico (7697-37-2) (1976)		2	5,2	4	10						
● Acido oxálico (144-62-7) (1976)		-	1	-	2						
● Acido p-terico (88-89-1) (1990)		-	0,1	-	-						
● Acido propiónico (79-09-4) (1990)		10	30	-	-						
● Acido sulfúrico (7664-98-9) (1989)		-	1	-	3						
● Acido tioglicólico (68-11-1). Via dérmica (1978)		1	3,8	-	-						
● Acido tricloroacético (76-03-9) (1980)		1	6,7	-	-						
■ Acrilamida (79-06-1). Via dérmica (1987)		-	0,03,A2	-	-						
■ Acrilato de butilo (141-32-2) (1978)		10	52	-	-						
■ Acrilato de etilo (140-88-5) (1990)		5,A2	20,A2	15,A2	61,A2						
■ Acrilato de 2-hidroxipropilo (999-61-1). Via dérmica (1980)		0,5	2,8	-	-						
■ Acrilato de metilo (96-33-3). Via dérmica (1977)		10	35	-	-						
● Acrilonitrilo (107-13-1). Via dérmica (1984)		2,A2	4,3,A2	-	-						
● Acroleína (107-02-8) (1976)		0,1	0,23	0,3	0,69						
● Aguarrás (8006-64-2) (1987)		100	556	-	-						
● Alcanfor sintético (76-22-2) (1976)		2	12	3	19						
● Alcohol alílico (107-18-6). Via dérmica (1976)		2	4,8	4	9,5						
● Alcohol n-butílico (71-36-3). Via dérmica (1977)		C50	C152	-	-						
● Alcohol sec-butílico (78-92-2) (1990)		100	308	-	-						
● Alcohol ter-butílico (75-65-0) (1976)		100	308	150	455						
● Alcohol etílico (64-17-5) (1977)		1.000	1.880	-	-						
● Alcohol furfuralico (98-00-0). Via dérmica (1982)		10	40	15	60						
● Alcohol isoamílico (123-51-3) (1976)		100	361	125	452						
● Alcohol isobutílico (78-83-1) (1987)		50	152	-	-						
● Alcohol isoetilico (26952-21-6). Via dérmica (1982)		50	266	-	-						
● Alcohol isopropílico (67-63-0) (1976)		400	983	500	1.230						
● Alcohol metilamínico, véase Metil isobutil carbinol											
▲ Alcohol metílico (67-56-1). Via dérmica (1976)		200	262	250	328						
● Alcohol propargílico (107-19-7). Via dérmica (1987)		1	2,3	-	-						
● Alcohol n-propílico (71-23-8). Via dérmica (1976)		200	492	250	614						
■ Aldehído crotonico (4170-30-3) (1987)		2	5,7	-	-						
■ Aldehído n-valeriano (110-62-3) (1978)		50	176	-	-						
● Aldrin (309-00-2). Via dérmica (1986)		-	0,25	-	-						
● Algodón en rama, polvo (1986)		-	0,2 ^a	-	-						
● Almidón (9005-25-8) (1986)		-	10	-	20						
● Alquitrán de hulla (65996-93-2) Compuestos volátiles, como solubles en benceno (1981)		-	0,2A1	-	-						
● α-Alúmina, véase Óxido de aluminio											
● Aluminio (7429-90-5) como Al											
● Alquilos (NCOF ^a) (1979)		-	2	-	-						
● Humos de soldadura (1979)		-	5	-	-						
● Metal en polvo (1986)		-	10	-	-						
● Polvos de aluminotermia (1979)		-	5	-	-						
● Sales solubles (1979)		-	2	-	-						
●● Amianto ^b											
● Amosita (12172-73-5) (1980)									(0,5 fibras/cc,A1)		
● Crisotilo (12001-29-5) (1980)									(2 fibras/cc,A1)		
● Crocidolita (12001-28-4) (1980)									(0,2 fibras/cc,A1)		
● Otras formas (1980)									(2 fibras/cc,A1)		
■ 4-Aminodifenilo (92-67-1). Via dérmica (1972)		-	A1	-	-						
● 2-Aminoetanol. Véase Etanolamina											
● 2-Aminopiridina (504-29-0) (1986)		0,5	1,9	-	-						
● 3-Amino-1,2,4-triazol, véase Amitrol											
■ Amitrol (61-82-5) (1986)		-	0,2	-	-						
● Amoníaco (7664-41-7) (1976)		25	17	35	24						
● Amosita. Véase Amianto											
● Anhídrido acético (108-24-7) (1976)		C5	C21	-	-						
● Anhídrido ftálico (85-44-9) (1987)		1	6,1	-	-						
● Anhídrido maleico (108-31-6) (1977)		0,25	1,0	-	-						
± Anhídrido trimelítico (562-30-7) (1981)		(0,005)	(0,039)	-	-						
▲ Anilina (62-53-3) y homólogos. Via dérmica (1986)		2	7,6	-	-						
■ Anisidina (29191-52-4) (Isómeros orto y para). Via dérmica (1977)		0,1	0,50	-	-						
● Antimonio (7440-36-0) y compuestos como Sb (1980)		-	0,5	-	-						
● ANTU (86-88-4) (1986)		-	0,3	-	-						
● Argón (7440-37-1) (1981)		-	-	-	-						
● Arsenamina (7784-42-1) (1977)		0,05	0,16	-	-						
● Arseniato de plomo (7784-40-9) como PbH ₃ O ₂ (1985)		-	0,15	-	-						
▲●● Arsénico (7440-38-2) y compuestos solubles como As (1980)		-	0,2	-	-						
● Asfalto (petróleo) humos (8052-42-4) (1987)		-	5	-	-						
● Atrazina (1912-24-9) (1983)		-	5	-	-						
● Azida sódica (26628-22-8) (1977)		C0,11	C0,29	-	-						
● Azinphos-metil (86-50-0). Via dérmica (1986)		-	0,2	-	-						
● Bario (7440-39-3), compuestos solubles como Ba (1977)		-	0,5	-	-						
±▲●● Benceno (71-43-2) (1987)		(10,A2)	(32,A2)	-	-						
■ Benicidina (92-37-5). Via dérmica (1982)		-	A1	-	-						
● Benomyl (17804-35-2) (1986)		0,84	10	-	-						
■ Benzo(a)pireno (50-32-8) (1976)		-	A2	-	-						
● p-Benzoquinona, véase Quinona											
● Berilio (7440-41-7) y compuestos como Be (1979)		-	0,002,A2	-	-						
● Bifenilo (92-52-4) (1987)		0,2	1,3	-	-						
● Bisulfito sódico (7631-90-5) (1980)		-	5	-	-						
● Bromacil (314-40-9) (1986)		-	10	-	-						

SUSTANCIA	(#CAS)	VALORES ADOPTADOS			
		TWA		STEL	
		ppm ^a	mg/m ³	ppm ^a	mg/m ³
Bromo (7726-95-6) (1976)		0,1	0,66	0,3	2,0
Bromoclorometano. Véase Clorobromometano					
Bromoforno (75-25-2). Vía dérmica (1977)		0,5	5,2	-	-
‡ Bromuro de etilo (74-96-4) (1976)	(200)	(891)	(250)	(1.110)	
Bromuro de hidrógeno (10035-10-6) (1986)	C3	C9,9	-	-	
● Bromuro de metilo (74-83-9). Vía dérmica (1986)		5	19	-	-
● Bromuro de vinilo (583-60-2) (1980)	5,A2	22,A2	-	-	
■ 1,3 Butadieno (106-99-0) (1986)	10,A2	22,A2	-	-	
Butano (106-97-8) (1981)	800	1.900	-	-	
2-Butanona, véase Metiltilcetona MEC					
Butanotiol, véase Butil mercaptano					
Butilamina (109-73-9). Vía dérmica (1976)	C5	C15	-	-	
o-sec-Butilfenol (89-72-5). Vía dérmica (1980)		5	31	-	-
Butilmercaptano (109-79-5) (1977)	0,5	1,8	-	-	
p-ter-Butilobeno (98-51-1) (1976)	10	61	20	121	
2-Butoxietanol (EGBE) (111-76-2). Vía dérmica (1987)		25	121	-	-
▲ Cadmio (7440-43-9) polvos y sales, como Cd (1976)		-	(0,05)	-	-
Caliza, véase carbonato de calcio					
■ Canfeno clorado (8001-35-2). Vía dérmica (1976)		-	0,5	-	1
‡ Caolín (1332-58-7) (1986)		-	(10 ^e)	-	-
‡ Caprolactama (105-60-2) Polvo (1974)		-	(1)	-	(3)
Vapor (1974)	(4,3)	(20)	(8,6)	(40)	
Captafol (2425-06-1). Vía dérmica (1977)		-	0,1	-	-
Captan (133-06-2) (1986)		-	5	-	-
Carbaryl (63-25-2) (1986)		-	5	-	-
Carbofuran (1563-66-2) (1977)		-	0,1	-	-
Carbón, polvo (1987)		-	2 ^e , fracción respirable	-	-
Carbonato de calcio (1317-65-3) (1986)		-	10 ^e	-	-
Carburo de silicio (409-21-2) (1986)		-	10 ^e	-	-
‡ Catecol (120-80-9) (1977)		5	23	-	-
Celulosa (9004-34-6) (1986)		-	10	-	-
Cemento Portland (65997-15-1) (1986)		-	10 ^e	-	-
Cera de parafina, humos (8002-74-2) (1987)		-	2	-	-
Cereales (avena, trigo, cebada), polvo (1986)		-	4 ^o	-	-
Ceteno (463-51-4) (1976)	0,5	0,86	1,5	2,6	
Cianamida (420-04-2) (1977)		-	2	-	-
Cianamida cálcica (156-62-7) (1986)		-	0,5	-	-
2-Cianoacrilato de metilo (137-05-3) (1976)	2	9,1	4	18	
Cianógeno (460-19-5) (1977)	10	21	-	-	
Cianuros, como CN. Vía dérmica (1977)		-	5	-	-
Cianuro de hidrógeno (74-90-8). Vía dérmica (1980)	C10	C11	-	-	
Cianuro de vinilo, véase Acrilonitrilo					
Ciclohexano (110-82-7) (1987)	300	1.030	-	-	
Ciclohexanol (108-93-0). Vía dérmica (1977)	50	206	-	-	
Ciclohexanona (108-94-1). Vía dérmica (1987)		25	100	-	-
Ciclohexeno (110-83-3) (1977)	300	1.010	-	-	
Ciclohexilamina (108-91-8) (1977)	10	41	-	-	
Cielonita (121-82-4). Vía dérmica (1990)		-	1,5	-	-
Ciclopentadieno (542-92-7) (1987)	75	203	-	-	
Ciclopentano (287-92-3) (1987)	600	1.720	-	-	
Circonio compuestos como Zr (7440-67-7) (1976)		-	5	-	10
Clopidol (2971-90-6) (1990)		-	10	-	-
■ Clordano (57-74-9). Vía dérmica (1990)		-	0,5	-	-
Clorhidrina etilénica (107-07-3). Vía dérmica (1977)	C1	C3,3	-	-	
Cloro (7782-50-5) (1989)	0,5	1,5	1	2,9	
Cloroacetaldehído (107-20-0) (1977)	C1	C3,2	-	-	
α-Cloroacetofenona (532-27-4) (1977)	0,05	0,32	-	-	

SUSTANCIA	(#CAS)	VALORES ADOPTADOS			
		TWA		STEL	
		ppm ^a	mg/m ³	ppm ^a	mg/m ³
Cloroacetona (78-95-5) Vía dérmica (1989)		C1	C3,8	-	-
* Clorobenceno (108-90-7) (1991)		10	46	-	-
▲ o-Clorobencilideno malononitrilo (2698-41-1). Vía dérmica (1983)		C0,05	C0,39	-	-
Clorobromometano (74-97-5) (1990)		200	1.060	-	-
2-Cloro-1,3-Butadieno, véase β-Cloropreno					
● Clorodifenilo (42% Cl) (53469-21-9). Vía dérmica (1990)		-	1	-	-
● Clorodifenilo (54% Cl) (11097-69-1). Vía dérmica (1990)		-	0,5	-	-
Clorodifluorometano (75-45-6) (1990)		1.000	3.540	-	-
1-Cloro-2,3-Epoxipropano, véase Epiclorhidrina					
o-Cloroestireno (2039-87-4) (1976)		50	283	75	425
2-Cloroetanol, véase Clorhidrina etilénica					
Cloroetileno, véase cloruro de vinilo					
● Cloroformo (67-66-3) (1986)		10,A2	49,A2	-	-
■ bis (Clorometil) éter (542-88-1) (1981)	0,001,A1	0,0047,A1	-	-	-
■ Clorometil metil éter (107-30-2) (1983)		A2	A2	-	-
1-Cloro-1-Nitropropano (600-25-9) (1981)		2	10	-	-
Cloropentafluoretano (76-15-3) (1981)		1.000	6.320	-	-
Cloropiricina (76-06-2) (1990)		0,1	0,67	-	-
● β-Cloropreno (126-99-8). Vía dérmica (1980)		10	36	-	-
o-Clorotolueno (95-49-8) (1990)		50	259	-	-
2-Cloro-6-(Triclorometil) piridina, véase Nitrapirina					
Clorpirifos (2921-88-2). Vía dérmica (1990)		-	0,2	-	-
■ Cloruro de alilo (107-05-1) (1976)		1	3,0	2	6,0
Cloruro amónico, humos (12125-02-9) (1976)		-	10	-	20
■ Cloruro de bencilo (100-44-7) (1977)		1	5,2	-	-
Cloruro de carbonilo, véase Fosgeno					
Cloruro de cianógeno (506-77-4) (1980)		C0,3	C0,75	-	-
Cloruro de cinc, humos (7646-85-7) (1976)		-	1	-	2
* Cloruro de cloroacetilo (79-04-9). Vía dérmica (1991)		0,05	0,23	0,15	0,69
● Cloruro de cromilo (14977-61-8) (1982)		0,025	0,16	-	-
■ Cloruro de dimetil carbamilo (79-44-7) (1978)		A2	A2	-	-
Cloruro de etilideno, véase 1,1-Dicloroetano					
Cloruro de etilo (75-00-3) (1986)		1.000	2.640	-	-
Cloruro de fenacilo, véase α-Cloroacetofenona					
Cloruro de hidrógeno (7647-01-0) (1977)		C5	C7,5	-	-
● Cloruro de metileno (75-09-2) (1983)		50,A2	174,A2	-	-
● Cloruro de metilo (74-87-3) Vía dérmica (1981)		50	103	100	207
Cloruro de tionilo (7719-09-7) (1986)		C1	C4,9	-	-
● Cloruro de vinilideno (75-35-4) (1984)		5	20	20	79
● Cloruro de vinilo (75-01-4) (1980)		5,A1	13,A1	-	-
■ Cobalto (7440-48-4) como Co, polvo y humos (1987)		-	0,05	-	-
Cobalto carbonilo (10210-68-1) como Co (1983)		-	0,1	-	-
Cobalto hidrocarbonilo (16842-03-8) como Co (1983)		-	0,1	-	-
Cobre (7440-50-8) Humos (1977)		-	0,2	-	-
Polvo y nieblas, como Cu (1986)		-	1	-	-
● Cresol (1319-77-3). Todos los isómeros. Vía dérmica (1977)		5	22	-	-
■ Criseno (218-01-9) (1981)		A2	A2	-	-
Crisotilo, véase Amianto					
Cristobalita, véase Silice-Cristalina					
* Cromato cálcico (13765-19-0) como Cr (1991)		-	0,001,A2	-	-
●● Cromato de plomo (7758-97-6) como Pb (1991)		-	0,05,A2	-	-
como Cr (1991)		-	0,012,A2	-	-

		VALORES ADOPTADOS						VALORES ADOPTADOS			
SUSTANCIA	(#CAS)	TWA		STEL		SUSTANCIA	(#CAS)	TWA		STEL	
		ppm ^a	mg/m ³	ppm ^a	mg/m ³			ppm ^a	mg/m ³	ppm ^a	mg/m ³
Divinilbenceno (1321-74-0) (1980)		10	53	-	-	Fenilfosfina (638-21-1) (1977)		C0,05	C0,23	-	-
Endosulfán (115-29-7). Via dérmica (1986)		-	0,1	-	-	● Fenilhidracina (100-63-0). Via dérmica (1991)		0,1,A2	0,44,A2	-	-
Endrin (72-20-8). Via dérmica (1988)		-	0,1	-	-	● Fenilmercaptano (108-98-5) (1978)		0,5	2,3	-	-
Enflurane (13838-16-9) (1988)		75	566	-	-	▲ Fenol (108-95-2). Via dérmica (1987)		5	19	-	-
Enzimas, véase Subtilisinás						▲ Fenotiocina (92-84-2). Via dérmica (1986)		-	5	-	-
● Epiclorhidrina (106-89-8).						▲ Fensulfotihion (115-90-2) (1977)		-	0,1	-	-
Via dérmica (1986)		(2)	(7,6)	-	-	▲ Fenthion (55-38-9). Via dérmica (1983)		-	0,2	-	-
▲ E.P.N. (2104-64-5). Via dérmica (1986)		-	0,5	-	-	● Ferbam (14484-64-1) (1986)		-	10	-	-
1,2-Epoxipropano, véase Oxido de propileno						● Ferrovandio, polvo (12604-58-9) (1983)		-	1	-	3
2,3-Epoxi-1-propanol, véase Glicidol						● Fibra de vidrio, polvo (1978)		-	10	-	-
Esmeril (1302-74-5) (1986)		-	10 ^o	-	-	● Flúor (7782-41-4) (1976)		1	1,6	2	3,1
Estañó (7440-31-5)						Fluoracetato de sodio (62-74-8)					
† Compuestos orgánicos como Sn						Via dérmica (1976)		-	0,05	-	0,15
Via dérmica (1965)		-	0,1	-	(-)	Fluortriclorometano, véase Triclorofluorometano					
Metal (1982)		-	2	-	-	Fluoruro de carbonilo (353-50-4) (1981)		2	5,4	5	13
Oxido y comp. inorgánicos						Fluoruro de hidrógeno (7664-39-3)					
excepto SnH ₄ , como Sn (1982)		-	2	-	-	como F (1986)		C3	C2,6	-	-
Estearatos ^b (1988)		-	10	-	-	Fluoruro de perclorilo (7616-94-6) (1976)		3	13	6	25
Estilbamina (7803-52-3) (1986)		0,1	0,51	-	-	Fluoruro de sulfuro (2699-79-8) (1976)		5	21	10	42
▲ Estireno, monómero (100-42-5)						▲ Fluoruros, como F (1977)		-	2,5	-	-
Via dérmica (1981)		50	213	100	426	▲ Fonofos (944-22-9). Via dérmica (1977)		-	0,1	-	-
Estricnina (57-24-9) (1986)		-	0,15	-	-	Forato (238-02-2). Via dérmica (1976)		-	0,05	-	0,2
Etano (74-84-0) (1981)		-	-	-	-	● Formaldehido (50-00-0) (1985)		(1,A2)	(1,2,A2)	(2,A2)	(2,5,A2)
Etanol, véase Alcohol etílico						Formamida (75-12-7). Via dérmica (1988)		10	18	-	-
Etanolamina (141-43-5) (1978)		3	7,5	6	15	Formiato de etilo (109-94-4) (1987)		100	303	-	-
Etanotiol, véase Etilmercaptano						Formiato de metilo (107-31-3) (1976)		100	246	150	368
Eter alilglicídico (E.A.G.) (106-92-3) (1976)		5	23	10	47	Fosfato de dibutilfenilo (2528-36-1)					
● Eter n-butilglicídico (E.B.G.)						Via dérmica (1990)		0,3	3,5	-	-
(2426-08-6) (1981)		25	133	-	-	Fosfato de dibutilo (107-66-4) (1976)		1	8,6	2	17
Eter dicloroetílico (111-44-4). Via dérmica (1976)		5	29	10	58	Fosfato de dimetil-1,2-dibromo-2-dicloroetilo					
● Eter diglicídico (E.D.G.) (2238-07-5) (1981)		0,1	0,53	-	-	véase Naled					
Eter etílico (60-29-7) (1976)		400	1.210	500	1.520	Fosfato de tributilo (126-73-8) (1986)		0,2	2,2	-	-
● Eter fenilglicídico (E.F.G.)						Fosfato de trifenilo (115-86-6) (1986)		-	3	-	-
(122-60-1) (1982)		1	6,1	-	-	Fosfato de triortocresilo (78-30-8)					
Eter fenílico, vapores (101-84-8) (1976)		1	7	2	14	Via dérmica (1986)		-	0,1	-	-
● Eter isopropilglicídico (E.I.G.)						Fosfina (7803-51-2) (1976)		0,3	0,42	1	1,4
(4016-14-2) (1976)		50	238	75	356	Fosfito de trimetilo (121-45-9) (1986)		2	10	-	-
Eter isopropílico (108-20-3) (1976)		250	1.040	310	1.300	Fósforo (Amarillo) (7723-14-0) (1986)		0,02	0,1	-	-
Eter metílico de dipropilenglicol						Fosgeno (75-44-5) (1978)		0,1	0,40	-	-
(34590-94-8). Via dérmica (1976)		100	606	150	909	Ftalato de dibutilo (84-74-2) (1987)		-	5	-	-
Eter metílico de propilenglicol						Ftalato de dieilo (84-66-2) (1987)		-	5	-	-
(107-98-2) (1976)		100	369	150	553	Ftalato de dimetilo (131-11-3) (1986)		-	5	-	-
Eter monobutilico del etilenglicol,						Ftalato de di-2-etilhexilo, véase					
véase 2-Butoxi-etanol						Ftalato de di-sec-octilo					
Eter monoetílico del etilenglicol,						● Ftalato de di-sec-octilo (117-81-7) (1976)		-	5	-	10
véase 2-Etoxi-etanol						m-Ftalodinitrilo (626-17-5) (1977)		-	5	-	-
Eter monometílico del etilenglicol,						▲ Furfural (98-01-1). Via dérmica (1987)		2	7,9	-	-
véase 2-Metoxi-etanol						Gases licuados del petróleo (G.L.P.)					
Etilamilcetona (541-85-5) (1977)		25	131	-	-	(68476-85-7) (1987)		1.000	1.800	-	-
Etilamina (75-04-7) (1977)		10	18	-	-	● Gasolina (8006-61-9) (1982)		300	890	500	1.480
▲ Etilbenceno (100-41-4) (1976)		100	434	125	543	Gel de Sílice, véase Sílice amorfa					
Etilbutilcetona (106-35-4) (1987)		50	234	-	-	Glicerina, nieblas (56-81-5) (1981)		-	10 ³	-	-
Etilendiamina (107-15-3) (1977)		10	25	-	-	Glicidol (556-52-5) (1987)		25	76	-	-
Etilenglicol (107-21-1) Vapor y nieblas (1981)		C50	C127	-	-	Glutaraldehido (111-30-8) (1979)		C0,2	C0,82	-	-
Etileno (74-85-1) (1981)		-	-	-	-	† Grafito (todas las formas excepto fibras)					
● Etilenimina (151-56-4). Via dérmica (1977)		0,5	0,88	-	-	(7782-42-5) (1991)		-	2,5 ^P , polvo respirable	-	-
Etilidennorbormeno (16219-75-3) (1977)		C5	C25	-	-	Hafnio (7440-58-6) (1986)		-	0,5	-	-
Etilmercaptano (75-08-1) (1986)		0,5	1,3	-	-	Halotano (151-67-7) (1988)		50	404	-	-
N-Etilmorfolina (100-74-3). Via dérmica (1986)		5	24	-	-	Helio (7440-59-7) (1981)		-	-	-	-
▲ Ethion (563-12-2). Via dérmica (1977)		-	0,4	-	-	● Heptacoloro (76-44-8). Via dérmica (1986)		-	(0,5)	-	-
● 2-Etoxi-etanol (EGEE) (110-80-5)						Heptano (142-82-5) (n-Heptano) (1976)		400	1.640	500	2.050
Via dérmica (1984)		5	18	-	-	2-Heptanona, véase Metil-n-amilcetona					
▲ Fenamifos (22224-92-6). Via dérmica (1984)		-	0,1	-	-	3-Heptanona, véase Etilbutilcetona					
● N-Fenil-β-naftilamina (135-88-6) (1979)		A2	A2	-	-	● Hexaclorobutadieno (87-68-3)					
● o-Fenilendiamina (95-54-5) (1991)		-	0,1,A2	-	-	Via dérmica (1982)		0,02,A2	0,21,A2	-	-
● m-Fenilendiamina (108-45-2) (1991)		-	0,1	-	-	Hexaclorociclopentadieno (77-47-4) (1986)		0,01	0,11	-	-
● p-Fenilendiamina (106-50-3). Via dérmica (1991)		-	0,1	-	-	† Hexacloroetano (67-72-1) (1989)		(1)	(9,7)	-	-
Feniletileno, véase Estireno, monómero						Hexacloronaftaleno (1335-87-1)					
						Via dérmica (1986)		-	0,2	-	-

SUSTANCIA	(#CAS)	VALORES ADOPTADOS			
		TWA		STEL	
		ppm ^a	mg/m ^{3b}	ppm ^a	mg/m ^{3b}
Hexafluoracetona (684-16-2).					
Via dérmica (1986)		0,1	0,68	-	-
Hexafluoruro de azufre (2551-62-4) (1986)		1.000	5.970	-	-
Hexafluoruro de selenio (7783-79-1)					
como Se (1979)		0,05	0,16	-	-
Hexafluoruro de telurio (7783-80-4)					
como Te (1977)		0,02	0,10	-	-
■ Hexametilfosforamida (680-31-9)					
Via dérmica (1978)		A2	A2	-	-
▲ Hexano (n-Hexano) (110-54-3) (1982)		50	176	-	-
● Otros isómeros (1982)		500	1.760	1.000	3.500
2-Hexanona, véase Metil-n-butilcetona					
Hexilenglicol (107-41-5) (1977)		C25	C121	-	-
Hexona, véase Metilisobutilcetona					
● Hidraeina (302-01-2). Via dérmica (1977)		(0,1,A2)	(0,13,A2)	-	-
Hidrocarburos aromáticos policíclicos en partículas (HAPP), véase Alquitrán de hulla, volátiles					
Hidrógeno (1333-74-0) (1981)		50	-	-	-
Hidroquinona (123-31-9) (1987)		-	2	-	-
Hidróxido cálcico (1305-62-0) (1978)		-	5	-	-
Hidróxido de cesio (21351-79-1) (1977)		-	2	-	-
Hidróxido potásico (1310-58-3) (1977)		-	C2	-	-
Hidróxido sódico (1310-73-2) (1977)		-	C2	-	-
Hidróxido de trielohexilestaño, véase Cyhexatin					
4-Hidroxi-4-metil-2-pentanona, véase Diacetona alcohol					
Hidruro de litio (7580-67-8) (1977)		-	0,025	-	-
Hierro, sales solubles como Fe (1986)		-	1	-	-
Indeno (95-13-6) (1987)		10	48	-	-
Indio (7440-74-6) y compuestos, como In (1986)		-	0,1	-	-
Isocianato de metilén-bisfenilo (M.D.I.) (101-68-8) (1988)		0,005	0,051	-	-
Isocianato de metilo (624-83-9)					
Via dérmica (1977)		0,02	0,047	-	-
Isóforona (78-59-1) (1977)		C5	C28	-	-
Isopropilamina (75-31-0) (1976)		5	12	10	24
N-Isopropilaminina (768-52-5).					
Via dérmica (1986)		2	11	-	-
Isopropoxietanol (109-59-1) (1987)		25	106	-	-
Itrio (7440-65-5) metal y compuestos, como Y (1988)		-	1	-	-
Jabón de sastre.					
Fracción respirable (1985)		-	3 ^o	-	-
Polvo total (1985)		-	6 ^o	-	-
Lactato de n-butilo (138-22-7) (1977)		5	30	-	-
Lana mineral, fibra (1974)		-	10 ^o	-	-
■ Lindano (58-89-9). Via dérmica (1986)		-	0,5	-	-
■ Madera, polvo. (Algunas maderas duras como haya y roble) (1981)		-	1	-	-
■ Maderas blandas (1981)		-	5	10	-
Magnesita (546-93-0) (1986)		-	10 ^o	-	-
▲ Malathion (121-75-5). Via dérmica (1977)		-	10	-	-
Manganeso (7439-96-5) como Mn					
● Polvo y compuestos (1988)		-	5	-	-
Humos (1979)		-	1	-	3
Manganeso ciclopentadieniltri-carbonilo (12079-65-1) como Mn					
Via dérmica (1986)		-	0,1	-	-
Mármol, véase carbonato de calcio					
▲ Mercurio (7439-97-5) como Hg. Via dérmica.					
Compuestos alquídicos (1980)		-	0,01	-	0,03
Todas las formas excepto alquídicos					
Vapor (1982)		-	0,05	-	-
● Comp. arídicos e inorgánicos (1982)		-	0,1	-	-
Metabisulfito sódico (7681-57-4) (1980)		-	5	-	-
Metacrilato de metilo (80-62-6) (1987)		100	410	-	-

SUSTANCIA	(#CAS)	VALORES ADOPTADOS			
		TWA		STEL	
		ppm ^a	mg/m ^{3b}	ppm ^a	mg/m ^{3b}
Metano (74-82-8) (1981)		50	-	-	-
Metanol, véase Alcohol metílico					
Metanotiol, véase Metilmercaptano					
▲ Methomil (16752-77-5) (1977)		-	2,5	-	-
Metilacetileno (74-99-7) (1990)		1.000	1.640	-	-
Metilacetileno-propadieno, mezcla (M.A.P.P.) (1976)		1.000	1.640	1.250	2.050
Metilacrilonitrilo (126-98-7)					
Via dérmica (1986)		1	2,7	-	-
Metilal (109-87-5) (1987)		1.000	3.110	-	-
Metil-n-amilcetona (110-43-0) (1987)		50	233	-	-
‡ Metilamina (74-89-5) (1977)		(10)	(13)	(-)	(-)
▲ N-Metilaminina (100-61-8). Via dérmica (1986)		0,5	2,2	-	-
● Metil-n-butil-cetona (591-78-6).					
Via dérmica (1981)		5	20	-	-
Metilciclohexano (108-87-2) (1987)		400	1.610	-	-
Metilciclohexanol (25639-42-3) (1987)		50	234	-	-
o-Metilciclohexanona (583-60-8).					
Via dérmica (1976)		50	229	75	344
2-Metilciclopentadienilmanganeso tricarbonilo (12108-13-3) como Mn. Via dérmica (1986)		-	0,2	-	-
▲ Metilcloroforfo (71-55-6) (1976)		350	1.910	450	2.460
▲ Metil demeton (8022-00-2). Via dérmica (1986)		-	0,5	-	-
Metilenobis (4-ciclohexilisocianato) (5124-30-1) (1988)		0,005	0,054	-	-
▲● 4,4'-Metilenobis (2-cloroanilina) [MOCA] (101-14-4). Via dérmica (1974)		(0,02,A2)	(0,22,A2)	-	-
■ 4,4'-Metilendianilina (101-77-9)					
Via dérmica (1986)		0,1,A2	0,81,A2	-	-
α-Metilestireno (98-83-9) (1981)		50	242	100	483
Metilacetona (MEK) (78-93-3) (1976)		200	590	300	885
5-Metil-3-heptanona, véase Etilamilcetona					
●● Metilhidraeina (60-34-4).					
Via dérmica (1976)		(C0,2,A2)	(C0,38,A2)	-	-
Metilisoamilcetona (110-12-3) (1982)		50	234	-	-
Metil-isobutil-carbinol (108-11-2)					
Via dérmica (1976)		25	104	40	167
▲ Metilisobutilcetona (108-10-1) (1981)		50	205	75	307
Metilisopropilcetona (563-80-4) (1981)		200	705	-	-
● Metilmercaptano (74-93-1) (1977)		0,5	0,98	-	-
▲ Metilparathion (298-00-0). Via dérmica (1986)		-	0,2	-	-
● Metilpropilcetona (107-87-9) (1976)		200	705	250	881
▲ Methomyl (16752-77-5) (1977)		-	2,5	-	-
Metoxicloro (72-43-5) (1977)		-	10	-	-
● 2-Metoxietanol (EGME) (109-86-4)					
Via dérmica (1984)		5	16	-	-
4-Metoxifenol (150-76-5) (1982)		-	5	-	-
Metribuzin (21087-64-9) (1984)		-	5	-	-
▲ Mevinphos (7786-34-7). Via dérmica (1976)		0,01	0,092	0,03	0,27
Mica (12001-26-2) (1986)		-	3 ^o polvo respirable	-	-
Molibdeno (7439-98-7) como Mo					
Compuestos insolubles (1986)		-	10	-	-
Compuestos solubles (1986)		-	5	-	-
Monoclorobenceno, véase Clorobenceno					
Monocloruro de azufre (10025-67-9) (1986)		C1	C5,5	-	-
Monocrotophos (6923-22-4) (1977)		-	0,25	-	-
▲● Monóxido de carbono (630-08-0) (1976)		(50)	(57)	(400)	(468)
§ Morfina (110-91-8). Via dérmica (1966)		20	71	-	-
Nafta VM y P (8032-32-4) (1987)		300	1.370	-	-
Naftaleno (91-20-3) (1976)		10	52	15	79
■ β-Naftilamina (91-59-8) (1972)		-	A1	-	-
▲ Naled (300-76-5). Via dérmica (1986)		-	3	-	-
■ Negro de humo (1333-86-4) (1986)		-	3,5	-	-
Neón (7440-01-9) (1981)		-	-	-	-
Nicotina (54-11-5). Via dérmica (1986)		-	0,5	-	-
■ Niquel (7440-02-0)					
‡ Compuestos insolubles como Ni (1974)		-	(1)	-	-
●● Compuestos solubles como Ni (1976)		-	(0,1)	-	-
‡ Metal (1966)		-	(1)	-	-

SUSTANCIA	(#CAS)	VALORES ADOPTADOS			
		TWA		STEL	
		ppm ^u	mg/m ³	ppm ^u	mg/m ³
● Niquel carbonilo (13463-39-3) como Ni (1977)		(0,05)	(0,12)	-	-
Nitrapirina (1929-82-4) (1982)		-	10	-	20
▲ Nitrate de n-propilo (627-13-4) (1978)		25	107	40	172
▲ p-Nitroanilina (100-01-6). Vía dérmica (1982)		-	3	-	-
▲ Nitrobenceno (98-95-3). Vía dérmica (1986)		1	5	-	-
▲ p-Nitroclorobenceno (100-00-5)					
Vía dérmica (1988)		0,1	0,64	-	-
■ 4-Nitrodifenilo (92-93-3) (1976)		-	A1	-	-
Nitroetano (79-24-3) (1986)		100	307	-	-
Nitrógeno (7727-37-9) (1989)		- ^u	-	-	-
● Nitroglicerina (NG) (55-63-0)					
Vía dérmica (1985)		0,05	0,46	-	-
‡ Nitrometano (72-52-5) (1986)		(100)	(250)	-	-
1-Nitropropano (108-03-2) (1986)		25	91	-	-
■ 2-Nitropropano (79-46-9) (1987)		10,A2	36,A2	-	-
■ N-Nitrosodimetilamina (62-75-9)					
Vía dérmica (1972)		-	A2	-	-
▲ Nitrotolueno (88-72-2; 99-08-1; 99-99-0)					
Vía dérmica (1982)		2	11	-	-
Nitrotriclorometano, véase Cloropierina					
Nonano (111-84-2) (1976)		200	1.050	-	-
Octacloronaftaleno (2234-13-1)					
Vía dérmica (1976)		-	0,1	-	0,3
Octano (111-65-9) (1976)		300	1.400	375	1.750
Oxocloruro de fósforo (10025-87-3) (1990)		0,1	0,53	-	-
Oxido de aluminio (1344-28-1) como Al (1986)		-	10 ^u	-	-
Oxido de boro (1303-86-2) (1986)		-	10	-	-
‡ Oxido de cadmio (1306-19-0)					
Humos, como Cd (1974)		-	(0,05)	-	-
Producción (1983)		-	(0,05)	-	-
Oxido de calcio (1305-78-8) (1978)		-	2	-	-
Oxido de cinc (1314-13-2)					
Humos (1976)		-	5	-	10
Polvo (1976)		-	10 ^u	-	-
Oxido de difenilo clorado (55720-99-5) (1990)		-	0,5	-	-
■ Oxido de etileno (75-21-8) (1984)		1,A2	1,8,A2	-	-
Oxido de hierro (Fe ₂ O ₃), humos (1309-37-1) como Fe (1986)		B2	5	-	-
Oxido de magnesio, humos (1309-48-4) (1977)		-	10	-	-
● Oxido de mesitilo (141-79-7) (1981)		15	60	25	100
▲ Oxido nítrico (10102-43-9) (1986)		25	31	-	-
Oxido nítrico (10024-97-2) (1989)		50	90	-	-
■ Oxido de propileno (75-56-9) (1981)		20	48	-	-
Ozono (10028-15-6) (1989)		C0,1	C0,20	-	-
Paraquat (4685-14-7)					
Polvo total (1978)		-	0,5	-	-
Fracción respirable (1978)		-	0,1	-	-
▲ Parathion (56-38-2). Vía dérmica (1986)		-	0,1	-	-
Partículas molestas, véase Partículas no clasificadas de otra forma (PNCOF)					
Partículas NCOF (1986)		-	10 ^u	-	-
Pentaborano (19624-22-7) (1976)		0,005	0,013	0,015	0,039
Pentacarbonilo de hierro (13463-40-6) como Fe (1982)		0,1	0,23	0,2	0,45
▲ Pentaclorofenol (87-86-5). Vía dérmica (1986)		-	0,5	-	-
Pentacloronaftaleno (1321-64-8) (1986)		-	0,5	-	-
‡ Pentacloronitrobenceno (82-68-8) (1991)		-	0,5	-	-
Pentacloruro de fósforo (10026-13-8) (1980)		0,1	0,85	-	-
Pentaeritritol (115-77-5) (1986)		-	10	-	-
Pentafluoruro de azufre (5714-22-7) (1986)		C0,01	C0,10	-	-
Pentafluoruro de bromo (7789-30-2) (1986)		0,1	0,72	-	-
● Pentano (109-66-0) (1976)		600	1.770	750	2.210
2-Pentanona, véase Metilpropilcetona					
Pentasiluro de fósforo (1314-80-3) (1976)		-	1	-	3
▲ Percloroetileno (127-18-4) (1984)		50	339	200	1.357
Perclorometilmercaptano (594-42-3) (1977)		0,1	0,76	-	-
Perfluorooctanoato amónico (3825-26-1) (1988)		-	0,1	-	-
Perlita (93763-70-3) (1986)		-	10 ^u	-	-
Peróxido de benzoilo (94-36-0) (1977)		-	5	-	-

SUSTANCIA	(#CAS)	VALORES ADOPTADOS			
		TWA		STEL	
		ppm ^u	mg/m ³	ppm ^u	mg/m ³
Peróxido de hidrógeno (7722-84-1) (1986)		1	1,4	-	-
Peróxido de metil-etil-cetona (1338-23-4) (1977)		C0,2	C1,5	-	-
Phosdrin, véase Mevinphos					
Picloram (1918-02-1) (1990)		-	10	-	-
Pindona (83-26-1) (1987)		-	0,1	-	-
Piretrinas (8003-34-7) (1981)		-	5	-	-
Piridina (110-86-1) (1987)		5	16	-	-
Pirocatecol, véase Catecol					
Pirofosfato tetrasódico (7722-88-5) (1980)		-	5	-	-
2-Pivalil-1,3-Indandiona, véase Pindona					
Plata (7440-22-4)					
● Metal (1981)		-	0,1	-	-
Compuestos solubles, como Ag (1981)		-	0,01	-	-
Platino (7440-06-4)					
Metal (1981)		-	1	-	-
Sales solubles como Pt (1981)		-	0,002	-	-
●●● Plomo inorgánico (7439-92-1)					
humos y polvo como Pb (1986)		-	0,15	-	-
● Plomo tetraetilo (78-00-2) como Pb					
Vía dérmica (1986)		-	0,1 ^u	-	-
● Plomo tetrametilo (75-74-1) como Pb					
Vía dérmica (1986)		-	0,15 ^u	-	-
Polielorobifenilos, véase Clorodifenilos					
Politetrafluoretileno, productos de su descomposición (1972)		-	B1	-	-
● Propano (74-98-6) (1981)		- ^u	-	-	-
■ Propanosultona (1120-71-4) (1977)		A2	A2	-	-
■ Propilenimina (75-55-8). Vía dérmica (1983)		2,A2	4,7,A2	-	-
Propileno (115-07-1) (1976)		- ^u	-	-	-
Propino, véase Metilacetileno					
■ β-Propiolactona (57-57-8) (1987)		0,5,A2	1,5,A2	-	-
Propoxur (114-26-1) (1987)		-	0,5	-	-
Quinona (106-51-4) (1987)		0,1	0,44	-	-
RDX, véase Ciclonita					
Resinas colofónicas, núcleo soldadura; productos de pirólisis, como formaldehído (1987)		-	0,1	-	-
Resorcinol (108-46-3) (1976)		10	45	20	90
● Rodio (7440-16-6)					
● Metal (1982)		-	1	-	-
● Compuestos insolubles, como Rh (1984)		-	1	-	-
● Compuestos solubles, como Rh (1984)		-	0,01	-	-
Rojo de pulir (1986)		-	10 ^u	-	-
Ronnel (299-84-3) (1977)		-	10	-	-
Rotenona, comercial (83-79-4) (1987)		-	5	-	-
Sacarosa (57-50-1) (1986)		-	10	-	-
Selenio y compuestos (7782-49-2) como Se (1977)		-	0,2	-	-
Seleniuro de hidrógeno (7783-07-5) como Se (1977)		0,05	0,16	-	-
Sesone (136-78-7) (1986)		-	10	-	-
Silano, véase Tetrahidruro de silicio					
‡ Silicato cálcico sintético (1344-95-2) (1991)		-	10 ^u	-	-
Silicato de etilo (78-10-4) (1986)		10	85	-	-
Silicato de metilo (681-84-5) (1986)		1	6	-	-
Silice Amorfa					
● Gel de sílice (112926-00-8) (1987)		-	10 ^u	-	-
● Sílice precipitada (112926-00-8)		-	10 ^u	-	-
● Tierra de diatomeas (sin calcinar) (61790-53-2) (1986)		-	10 ^u	-	-
■ Sílice Cristalina					
Cristobalita (14464-46-1) (1986)		-	0,05 ² Polvo respirable	-	-
● Cuarzo (14808-60-7) (1986)		-	0,1 ² Polvo respirable	-	-
● Sílice fundida (60676-86-0) (1985)		-	0,1 ² Polvo respirable	-	-
Tridimita (15468-32-3) (1986)		-	0,05 ² Polvo respirable	-	-
● Tripoli (1317-95-9) (1985)		-	0,1 ² , del contenido respirable de polvo de cuarzo	-	-
Silicio (7440-21-3) (1986)		-	10 ^u	-	-

SUSTANCIA	(#CAS)	VALORES ADOPTADOS				SUSTANCIA	(#CAS)	VALORES ADOPTADOS			
		TWA		STEL				TWA		STEL	
		ppm ^{a)}	mg/m ^{3b)}	ppm ^{a)}	mg/m ^{3b)}			ppm ^{a)}	mg/m ^{3b)}	ppm ^{a)}	mg/m ^{3b)}
Soldadura, humos. (NCOF ³⁰⁾ (1977)		-	5,2	-	-						
Subtilisinas (1395-21-7; 9014-01-1) (enzimas proteolíticas como enzima pura cristalina al 100% (1977)		-	0,00006 ³⁰⁾	-	-						
Sulfamato amónico (7773-06-0) (1986)		-	10	-	-						
Sulfato de bario (7727-43-7) (1986)		-	10 ³⁾	-	-						
Sulfato cálcico (7778-18-9) (1986)		-	10 ³⁾	-	-						
■ Sulfato de dimetilo (77-78-1)											
Vía dérmica (1977)		0,1,A2	0'52 A2	-	-						
Sulfato de sodio 2,4-Diclorofenoxietilo, véase Sesone											
▲ Sulfotep (3689-24-5). Vía dérmica (1986)		-	0,2	-	-						
● Sulfuro de carbono (75-15-0)											
Vía dérmica (1986)		10	31	-	-						
● Sulfuro de hidrógeno (7783-06-4) (1976)		10	14	15	21						
■ Sulfuro de níquel, tostación, humos y polvo, como Ni (1978)		-	(1,A1)	-	-						
Sulprofos (35400-43-2) (1984)		-	1	-	-						
Systox, véase Demeton											
2,4,5-T (93-76-5) (1986)		-	10	-	-						
Talco (sin fibras de amianto) (14807-96-6) (1983)		-	2 ^o Polvo respirable	-	-						
■ Talco (con fibras de amianto) (1985)											
Talio (7440-23-0) compuestos solubles como Tl. Vía dérmica (1977)		-	0,1	-	-						
Tántalo (7440-25-7), polvo de óxido y de metal, como Ta (1314-61-0) (1988)		-	5	-	-						
TEDP, véase Sulfotep											
Teluro y compuestos (13494-80-9) como Te (1977)		-	0,1	-	-						
Teluro de bismuto (1304-82-1) (1986)		-	10	-	-						
Dopado con Se (1986)		-	5	-	-						
▲ Temephos (3383-96-8) (1986)		-	10	-	-						
▲ TEPP (107-49-3). Vía dérmica (1986)		0,004	0,047	-	-						
Terfenilos (26140-60-3) (1980)		C0,5	C4,7	-	-						
Terfenilos hidrogenados (61788-32-7) (1977)		0,5	4,9	-	-						
Tetraborato, sales sódicas (1303-96-4)											
Anhidro (1977)		-	1	-	-						
Decahidrato (1977)		-	5	-	-						
Pentahidrato (1977)		-	1	-	-						
Tetrabromuro de acetileno (79-27-6) (1986)		1	14	-	-						
Tetrabromuro de carbono (558-13-4) (1976)		0,1	1,4	0,3	4,1						
1,1,1,2-Tetracloro-2,2-difluoretano (76-11-9) (1986)		500	4.170	-	-						
1,1,2,2-Tetracloro-1,2-difluoretano (76-12-0) (1986)		500	4.170	-	-						
■ 1,1,2,2-Tetracloroetano (79-34-5)											
Vía dérmica (1986)		1	6,9	-	-						
Tetracloroetileno, véase Percloroetileno											
Tetraclorometano, véase Tetracloruro de carbono											
Tetracloronaftaleno (1335-88-2) (1986)		-	2	-	-						
● Tetracloruro de carbono (56-23-5)											
Vía dérmica (1986)		5,A2	31,A2	-	-						
Tetrafluoruro de azufre (7783-60-0)		C0,1	C0,44	-	-						
Tetrahidrofurano (109-99-9) (1976)		200	590	250	737						
Tetrahidruro de germanio (7782-65-2) (1986)		0,2	0,63	-	-						
Tetrahidruro de silicio (7803-62-5) (1983)		5	6,6	-	-						
Tetrametilsuccinonitrilo (3333-52-6)											
Vía dérmica (1986)		0,5	2,8	-	-						
Tetranitrometano (509-14-8) (1977)		1	8	-	-						
● Tetralo (479-45-8) (1986)		-	1,5	-	-						
Tetróxido de osmio (20816-12-0) como Os (1976)		0,0002	0,0016	0,0006	0,0047						
Thiram (137-26-8) (1990)		-	1	-	-						
Tierra de diatomeas, véase Sílice Amorfa											
4,4'-Tiobis (6-Terbutil-m-cresol) (96-69-5) (1986)		-	10	-	-						
■ o-Tolidina (119-93-7). Vía dérmica (1982)		A2	A2	-	-						
± Tolueno (108-88-3) (1976)		(100)	(377)	(150)	(565)						
■ Tolueno-2,4-diisocianato (TDI) (584-84-9) (1983)		0,005	0,036	0,02	0,14						
▲ o-Toluidina (95-53-4). Vía dérmica (1984)		2,A2	8,8,A2	-	-						
■ m-Toluidina (108-44-1). Vía dérmica (1986)		2	8,8	-	-						
▲ p-Toluidina (106-49-0). Vía dérmica (1986)		2,A2	8,8,A2	-	-						
Toluol, véase Tolueno											
Toxafeno, véase Canfeno clorado											
Tribromuro de boro (10294-33-4) (1986)		C1	C10	-	-						
1,2,4-Triclorobenceno (120-82-1) (1978)		C5	C37	-	-						
1,1,1-Tricloroetano, véase Metilcloroformo											
● 1,1,2-Tricloroetano (79-00-5).											
Vía dérmica (1986)		10	55	-	-						
▲ Tricloroetileno (79-01-6) (1984)		50	269	200	1.070						
Triclorofluorometano (75-69-4) (1982)		C1.000	C5.620	-	-						
Triclorometano, véase Cloroformo											
Tricloronaftaleno (1321-65-9).											
Vía dérmica (1986)		-	5	-	-						
Tricloronitrometano, véase Cloropicrina											
1,2,3-Tricloropropano (96-18-4)											
Vía dérmica (1987)		10	60	-	-						
1,1,2-Tricloro-1,2,2-Trifluoretano (76-13-1) (1976)		1.000	7.670	1.250	9.590						
Tricloruro de fósforo (7719-12-2) (1982)		0,2	1,1	0,5	2,8						
Tridimita, véase Sílice cristalina											
Trietilamina (121-44-8) (1983)		10	41	15	62						
Trifenilamina (603-34-9) (1980)		-	5	-	-						
Trifluorobromometano (75-63-8) (1986)		1.000	6.090	-	-						
Trifluoruro de boro (7637-07-2) (1977)		C1	C2,8	-	-						
Trifluoruro de cloro (7790-91-2) (1977)		C0,1	C0,38	-	-						
▲ Trifluoruro de nitrógeno (7783-54-2) (1986)		10	29	-	-						
± Trimetilamina (75-50-3) (1983)		(10)	(24)	(15)	(36)						
Trimetilbenceno (25551-13-7) (1987)		25	123	-	-						
2,4,6-Trinitrofenilmetilnitramina, véase Tetralo											
2,4,6-Trinitrofenol, véase Ácido picrico											
▲ 2,4,6-Trinitrotolueno (TNT) (118-96-7). Vía dérmica (1986)		-	0,5	-	-						
■ Trióxido de antimonio (1309-64-4)											
Manipulación y uso como Sb (1978)		-	0,5	-	-						
Producción (1980)		-	A2	-	-						
Trióxido de arsénico (1327-53-3)											
producción (1980)		-	A2	-	-						
Tripoli, véase Sílice cristalina											
Tungsteno (7440-33-7) como W											
Compuestos insolubles (1976)		-	5	-	10						
Compuestos solubles (1976)		-	1	-	3						
● Uranio (natural) (7440-61-1) compuestos solubles e insolubles, como U (1976)		-	0,2	-	0,6						
Vanadio (1314-62-1) como V ₂ O ₅ , Humos y polvo respirable (1982)		-	0,05	-	-						
Vidrio, fibra o polvo, véase Fibra de vidrio, polvo											
Vinilbenceno, véase Estireno											
Vinitolueno (25013-15-4) (1981)		50	242	100	483						
Warfarina (81-81-2) (1987)		-	0,1	-	-						
▲ Xileno (1330-20-7; 95-47-6; 108-38-3; 106-42-3) (o-, m-, p-isómeros) (1976)		100	434	150	651						
m-Xileno α, α'-diamina (1477-55-0)											
Vía dérmica (1977)		-	C0,1	-	-						
▲ Xilidina (mezcla de isómeros) (1300-73-8)											
Vía dérmica (1990)		0,5,A2	2,5,A2	-	-						
Yeso, véase Sulfato cálcico											
Yeso de París, véase Sulfato cálcico											
Yodo (7553-56-2) (1977)		C0,1	C1,0	-	-						
Yodoformo (75-47-8) (1986)		0,6	10	-	-						
● Yoduro de metilo (74-88-4). Vía dérmica (1986)		2,A2	12,A2	-	-						

**PROPUESTAS DE MODIFICACIÓN
(PARA 1991-92)**

Bajo este epígrafe, se indican con sus valores correspondientes las sustancias para las que se ha propuesto un límite por vez primera o una modificación de los "valores adoptados". En ambos casos, los valores propuestos deben considerarse como límites provisionales que figurarán en la relación durante un año, por lo menos, y, si transcurrido ese tiempo, no sale a la luz ningún hecho que cuestione la adecuación de los valores aquí indicados, éstos serán considerados de nuevo para su inclusión en la relación de "valores adoptados". Se dispone de documentación respecto a cada una de estas sustancias.

SUSTANCIA	(#CAS)	VALORES ADOPTADOS			
		TWA		STEL	
		ppm ^a	mg/m ^{3b}	ppm ^a	mg/m ^{3b}
† Acetato de vinilo (108-05-04)		10,A2	35,A2	15,A2	53,A2
† Amianto, todas las formas (1332-21-4)		-	0,2f/cc ^c , A1	-	-
† Anhídrido trimelítico (552-30-7)		-	C0,01	-	-
Benceno (71-43-2). Vía dérmica		0,1,A1	0,3,A1	-	-
† Benzo [b] fluoranteno (205-99-2)		-	A2	-	-
Bromuro de etilo (74-96-4). Vía dérmica		5,A2	22,A2	-	-
Cadmio (7440-43-9) y compuestos, como Cd		-	0,01,A2, Polvo total	-	-
		-	0,002,A2, Fracción respirable ^c	-	-
† Caolín (1332-58-7)		-	2, Polvo respirable ^c	-	-
Caprolactama (105-60-2)		-	1	-	3
Polvo		5	23	10	46
Vapor		5	23	-	-
† Catecol (120-80-9). Vía dérmica		-	0,0005,A2	-	-
Formato de estroncio (7789-06-2), como Cr		25	150	50	301
† o-Diclorobenceno (95-50-1)		10,A2	60,A2	-	-
† p-Diclorobenceno (106-46-7)		100	405	-	-
† 1,1-Dicloroetano (75-34-3)		5	9,2	15	27,5
† Dimetilamina (124-40-3)		0,01,A2	0,025,A2	-	-
1,1-Dimetilhidracina (57-14-7). Vía dérmica		-	0,15,A2	-	-
† Dinitrotolueno (25321-14-6). Vía dérmica		-	0,5, Polvo total	-	-
† Diquat (231-36-7)		-	0,1, Fracción respirable ^c	-	-
Epiclorhidrina (106-89-8). Vía dérmica		0,1,A2	0,38,A2	-	-
Estaño, compuestos orgánicos, como Sn		-	0,1	-	0,2
Vía dérmica		C0,3,A2	C0,37,A2	-	-
Formaldehído (50-00-0)		-	0,05,A2	-	-
Heptaclor y Heptaclor epóxido (76-44-8)		-	0,025,A2	-	-
Vía dérmica		1,A2	9,7,A,2	-	-
† Hexaclorobenceno (118-74-1). Vía dérmica		0,5	2,3	-	-
Hexacloroetano (67-72-1). Vía dérmica		0,01,A2	0,013,A2	-	-
† 1,6-Hexanodiamina (124-09-4)		5	6,4	15	19
Hidracina (302-01-2). Vía dérmica		A1	A1	-	-
† Metilamina (74-89-5)		0,01,A2	0,019,A2	-	-
4,4'-Metileno-bis (2-cloroanilina)		25	29	-	-
(101-14-4). Vía dérmica		-	0,05,A1	-	-
Metilhidracina (60-34-4). Vía dérmica		-	0,05,A1	-	-
† Monóxido de carbono (630-08-0)		-	0,05,A1	-	-
Níquel (7440-02-0)		Suprimir del listado; aplicar el valor dado más arriba para el Ni			
Metal		20	50	-	-
Compuestos insolubles como Ni		C0,01	C0,082	-	-
Compuestos solubles, como Ni		-	0,1 ^c Polvo respirable	-	-
Níquel carbonilo (13463-39-3), como Ni		-	2- Polvo respirable	-	-
Nitrometano (75-52-5)		-	-	-	-
Perfluorobutileno (382-21-8)		-	-	-	-
Sílice fundida (amorfa) (60676-86-0)		-	-	-	-
Sílice humos (amorfa) (69012-64-2)		-	-	-	-

SUSTANCIA	(#CAS)	VALORES ADOPTADOS			
		TWA		STEL	
		ppm ^a	mg/m ^{3b}	ppm ^a	mg/m ^{3b}
Sulfuro de níquel, tostación, humos y polvo, como Ni		Suprimir del listado; aplicar el valor dado más arriba para el Ni			
† Tolueno (108-88-3). Vía dérmica		50	147	-	-
† Trietanolamina (102-71-6)		0,5	3,1	-	-
† Trimetilamina (75-50-3)		5	12	15	36
† 4-Vinilciclohexeno (100-40-3)		0,1,A2	0,4,A2	-	-

EQUIVALENCIA DE LOS SÍMBOLOS EN LAS TABLAS DE VALORES ADOPTADOS Y EN LAS DE PROPUESTAS DE MODIFICACIÓN

- A) Ver apéndice A - Cancerígenos
- B) Ver apéndice B - Sustancias de composición variable
- C) Significa "valor techo"
 - a) Partes de vapor o gas por millón de partes de aire contaminado, expresado en volumen, a 25°C y 760 torr.
 - b) Miligramos de compuesto por metro cúbico de aire.
 - c) Asfixiante simple; véase definición en la "Introducción a las sustancias químicas".
 - d) NCOF. No clasificado de otra forma.
 - e) Este valor es para polvo total que no contenga amianto y menos de un 1% de sílice cristalina.
 - f) Fibras mayores de 5µm de longitud con una relación longitud/diámetro (aspecto) ≥ 3:1 determinado por el método de la membrana filtrante a 400-450 x aumentos (objetivo de 4 mm.) con iluminación de contraste de fase.
 - g) El valor es para polvo conteniendo menos del 5% de sílice libre. Para el polvo que contenga un porcentaje mayor de sílice libre, la evaluación debe hacerse frente al TLV-TWA de 0,1 mg/m³ para el cuarzo respirable. La concentración de polvo respirable para la aplicación de este límite se ha de determinar de la fracción que pase un selector de tamaño de partícula con las características definidas en el apartado "c" del Apéndice D.
 - h) Partículas de polvo sin fibras medido con el muestreador de polvo de algodón elutriador vertical descrito en Transaction of the National Conference on Cotton Dust pág. 33, de J. R. Lynch (2 de Mayo de 1970).
 - i) Polvo total/materia particulada.
 - j) Estos valores TLVs son para la fracción respirable del polvo (masa de las partículas respirables) del compuesto listado. La concentración de polvo respirable para la aplicación de este límite se ha de determinar de la fracción que pase un selector de tamaño de partícula con las características definidas en el apartado "c" del Apéndice D.
 - k) Muestreado por el método que no recoge vapor.
 - l) No incluye los estearatos de metales tóxicos.
 - m) Basado en el muestreo de "Volumen elevado".
 - n) Sin embargo, no debe exceder de 2 mg/m³ de polvo respirable.

- o) Respecto al control de la exposición ambiental en general es esencial el muestreo biológico para control del personal.
- p) Excepto aceites de ricino, tupi o aceites irritantes similares.
- ▲ Compuestos para los cuales existen BEIs (véase la sección de Índices Biológicos de Exposición; BEIs).
Esta notación también incluye a los compuestos identificados en la publicación de la Documentación de los BEIs como inductores de metahemoglobina (para los cuáles esta sustancia es la causa principal de la toxicidad) y organofosfóricos inhibidores de la colinesterasa.
- Compuesto identificado por otras fuentes como sospechoso o confirmado de ser cancerígeno en el hombre.
- Compuesto con TLV superior al Límite de Exposición Permisible (PEL) de la OSHA y/o al límite de Exposición Recomendado (REL) del NIOSH.
- ‡ Véanse las Propuestas de Modificación.
- * Adopción en 1991-92.
- () Valores adoptados para los cuáles se ha propuesto modificación. Ver la lista de Propuestas de Modificación.
- † Revisión o adición en la lista de Propuestas de Modificación para 1991-92.
- § Suprimido el valor STEL para 1991-92.

PROPUESTAS DE MODIFICACIÓN

† Apéndice A - Cancerígenos

La comisión de TLVs para las sustancias químicas es consciente del incremento en la preocupación pública sobre los compuestos o procesos industriales que causan o contribuyen al aumento del riesgo de cáncer en los trabajadores. Métodos más sofisticados de bioensayo así como la utilización de modelos matemáticos complicados para extrapolar los niveles de riesgo en los trabajadores, han conducido a interpretaciones diferentes de los compuestos o procesos que deberían ser clasificados como cancerígenos humanos y sobre cuál debería ser el nivel máximo de exposición. El propósito de la Comisión ha sido el de sintetizar la información disponible de forma que sea útil en la práctica de los higienistas industriales sin abrumarles con datos innecesarios. El motivo principal de la preocupación es que en la práctica corriente la Comisión no considera adecuadamente los grados de incertidumbre con respecto a los resultados obtenidos de los estudios en humanos y animales. La Comisión ha resuelto que el método utilizado de clasificar los cancerígenos en dos grupos es inadecuado y ha revisado los métodos de clasificación usados actualmente por otros grupos, desarrollando un nuevo procedimiento para su aplicación futura en esta publicación de TLVs. Las categorías propuestas para los cancerígenos de interés laboral son las siguientes:

A1 - Cancerígenos confirmados en el humano: El agente es cancerígeno en los humanos de acuerdo con los hallazgos de los estudios epidemiológicos,

o en la evidencia clínica convincente, en los humanos expuestos.

- A2 - Cancerígenos con sospecha de serlo en el humano: El agente es cancerígeno en los animales de experimentación a dosis y por vías de administración que se consideran importantes en la exposición de los trabajadores. Los estudios epidemiológicos disponibles son conflictivos, discutibles o inadecuados para confirmar un aumento del riesgo de cáncer en los humanos expuestos.
- A3 - Cancerígenos en los animales: El agente es cancerígeno en los animales de experimentación a dosis relativamente elevadas o por vías de administración que no se consideran importantes para la exposición de los trabajadores. Los estudios epidemiológicos disponibles no confirman un incremento del riesgo de cáncer en los humanos expuestos. La evidencia sugiere que el agente no es probable que cause cáncer en el humano excepto en situaciones de exposiciones no corrientes o poco probables.
- A4 - No clasificados como cancerígenos humanos: En la actualidad no hay datos o son inadecuados para clasificar el agente por su efecto cancerígeno en humanos y/o animales.
- A5 - No sospechoso como cancerígeno en humanos: El agente no es sospechoso de ser cancerígeno en humanos basándose en los estudios epidemiológicos realizados adecuadamente en éstos. De estos estudios se dispone de suficientes historias fiables de seguimiento de la exposición durante largo tiempo y del tratamiento estadístico adecuado para concluir que la exposición al agente no conlleva un riesgo significativo de cáncer para el humano.

† Apéndice D - Criterios de muestreo selectivo por tamaño de partícula para aerosoles

Para las sustancias químicas que se encuentran en el aire inhalado en forma de suspensiones de partículas sólidas o gotículas, el riesgo en potencia depende del tamaño de las partículas así como de la concentración másica a causa de: 1) los efectos del tamaño de las partículas sobre el lugar de deposición en el tracto respiratorio y 2) la tendencia a asociar muchas enfermedades profesionales con el material depositado en determinadas regiones del tracto respiratorio.

Desde hace muchos años, la Comisión de TLVs para las Sustancias Químicas recomienda valores TLV selectivos por tamaño de partícula para la sílice cristalina, en reconocimiento de la asociación claramente establecida entre la silicosis y las concentraciones másicas respirables. La Comisión en la actualidad ha emprendido una revisión de otras sustancias químicas que se encuentran en forma de partículas en los ambientes profesionales, con objeto de definir: 1) el tamaño de las partículas de cada fracción que está estrechamente asociado, para cada sustancia, con el efecto producido en la salud, y 2) la concentración másica correspondiente con el tamaño de las partículas de cada fracción que debe representar al TLV.

Los valores TLV Selectivos por Tamaño de Partícula

(PSS-TLVs, "Particle Size-Selective TLVs") se expresarán en las tres formas siguientes:

- a. Valores TLV de la Masa de Partículas Inhalable (IPM-TLVs, "Inhalable Particulate Mass TLVs") correspondientes a aquellos materiales que resultan peligrosos cuando se depositan en cualquier parte del tracto respiratorio.
- b. Valores TLV de la Masa de Partículas Torácica (TPM-TLVs "Thoracic Particulate Mass TLVs") para aquellos materiales que son peligrosos al depositarse en cualquier parte de las vías pulmonares y la región de intercambio de gases.
- c. Valores TLV de la Masa de Partículas Respirable (RPM-TLVs "Respirable Particulate Mass TLVs") para aquellos materiales que resultan peligrosos cuando se depositan en la región de intercambio de gases.

Las tres fracciones másicas de partículas descritas anteriormente se definen en términos cuantitativos de acuerdo con las ecuaciones siguientes:^(1,2)

- a. La Masa de Partículas Inhalable consiste en aquellas partículas que se recogen de acuerdo con la eficacia de captación siguiente, con independencia de la orientación del muestreador con respecto al viento:

$$SI(d) = 50\% (1 + e^{-0.06d})$$

para $0 < d \leq 100 \mu\text{m}$

en donde:

SI(d) = eficacia de captación para partículas con diámetro aerodinámico d en μm

- b. La Masa de Partículas Torácica consiste en aquellas partículas que se recogen de acuerdo con la eficacia de captación siguiente:

$$ST(d) = SI(d) [1 - F(x)]$$

en donde:

$$x = \frac{\ln(d/\Gamma)}{\ln(\Sigma)}$$

$$\Gamma = 11,64 \mu\text{m}$$

$$\Sigma = 1,5$$

F(x) = la función de probabilidad acumulada de una variable normal estandarizada.

- c. La Masa de Partículas Respirable consiste en aquellas partículas que se recogen de acuerdo con la eficacia de captación siguiente:

$$SR(d) = SI(d) [1 - F(x)]$$

en donde:

F(x) tiene el mismo significado que en la fórmula anterior para $\Gamma = 4,25 \mu\text{m}$ y $\Sigma = 1,5$

Las eficacias de captación representativas de varios tamaños de partícula para cada una de las masas de fracciones respectivas, se dan en las Tablas I, II y III.

En las referencias 2 y 3 se da la documentación para los algoritmos respectivos, representativos de las tres masas de fracciones.

El cambio más significativo de esta propuesta es el incremento en el punto medio de corte para la muestra de polvo respirable, que pasa de $3,5 \mu\text{m}$ a $4,0 \mu\text{m}$. Esta propuesta está de acuerdo con el protocolo⁽³⁾ de la International Standards Organization/European Standardization Committee (ISO/CEN) recomendado por

la Comunidad Económica Europea. Es de esperar que para algunas distribuciones de tamaños de partícula el criterio revisado de una mayor concentración de polvo⁽⁴⁾.

TABLA-I INHALABLE

Diámetro aerodinámico de la partícula (μm)	Masa de partículas inhalable (IPM) %
0	100
1	97
2	94
5	87
10	77
20	65
30	58
40	54,5
50	52,5
100	50

TABLA-II TORÁCICA

Diámetro aerodinámico de la partícula (μm)	Masa de partículas torácica (TPM) %
0	100
2	94
4	89
6	80,5
8	67
10	50
12	35
14	25
16	15
18	9,5
20	6
25	2

TABLA-III RESPIRABLE

Diámetro aerodinámico de la partícula (μm)	Masa de partículas respirable (RPM) %
0	100
1	97
2	91
3	74
4	50
5	30
6	17
7	9
8	5
10	1

Referencias

1. American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Particle Size-Selective Sampling in the Workplace ACGIH, Cincinnati, OH (1985).
2. Soderholm, S.C.: Proposed International Conventions for Particle Size-Selective Sampling. Ann. Occup. Hyg. 33: 301-320 (1989).
3. European Standardization Committee: Size Fraction Definitions for Measurement of Airborne Particles in the Workplace. CEN/TC137/WG3/N66(E) versión en borrador (1990).
4. Soderholm, S.C.: Why Change ACGIH's Definition of Respirable Dust? Appl. Occup. Env. Hyg. 6 (4): 248-250 (1991).

APÉNDICES ADOPTADOS

‡ APÉNDICE A

Cancerígenos

El Comité de Valores Límite Umbral para los Compuestos Químicos clasifica a ciertos compuestos encontrados en el ambiente laboral como cancerígenos confirmados o sospechosos de serlo para el hombre. La lista de compuestos identificados como cancerígenos que se facilita agrupa dos clases: aquellos para los cuales se les ha asignado un TLV y aquellos en que las condiciones ambientales de exposición no están bien definidas para poder asignarles un TLV. La asignación de un TLV no implica necesariamente la existencia de un umbral biológico; sin embargo, si la exposición se controla a este nivel, no hay porqué esperar un incremento en la incidencia de cáncer o mortalidad.

El Comité de Valores Límite Umbral tiene en cuenta como fuentes de información para considerar un compuesto como potencialmente cancerígeno en el humano los siguientes estudios: epidemiológicos, toxicológicos y en menor grado historias de casos aislados. El debate científico sobre la existencia o no existencia de un umbral biológico para los compuestos cancerígenos es posible que se resuelva en un futuro próximo. Debido al largo período de latencia para la mayoría de los compuestos cancerígenos y a razones éticas, es imposible basándose en los tiempos de exposición tomar decisiones de los resultados de los estudios en humanos.

Para establecer diferencias cualitativas en los resultados de las investigaciones se designan en este libro dos categorías de compuestos cancerígenos que son:

- A1 - Compuestos cancerígenos confirmados en el humano. Compuestos químicos o sustancias asociadas con procesos industriales, a los que se les reconoce tener un efecto potencial cancerígeno.
- A2 - Compuestos sospechosos de ser cancerígenos en el humano. Compuestos químicos o sustancias asociadas con procesos industriales sospechosos de inducir cáncer, basándose, bien en la evidencia epidemiológica disponible o en la manifestación de carcinogénesis por métodos apropiados en una o más especies animales.

La exposición a los compuestos cancerígenos debe ser mínima. Los trabajadores expuestos a los cancerígenos A1 sin TLV deben ser equipados adecuadamente para eliminar lo máximo posible toda exposición a estos compuestos.

Para los cancerígenos tipo A1 con TLV y para los de tipo A2 la exposición de los trabajadores por cualquier vía de penetración debe ser cuidadosamente controlada a niveles tan bajos como razonablemente se puedan alcanzar por debajo del valor TLV.

Para una descripción más completa y origen de estas clasificaciones consúltese la publicación DOCUMENTATION OF THE THRESHOLD LIMIT VALUES, Apéndice A, "Identificación y clasificación de cancerígenos".

APÉNDICE B

SUSTANCIAS DE COMPOSICIÓN VARIABLE

B1. Productos de la descomposición del politetrafluoretileno*

La descomposición térmica, en el aire, de la cadena fluorocarbonada provoca la formación de productos oxidados que contienen carbono, fluor y oxígeno. Dado que estos productos se descomponen en parte por hidrólisis en solución alcalina, se los puede determinar cuantitativamente en el aire como fluoruro con objeto de dar un índice de exposición. Al estar pendiente la determinación de la toxicidad de los productos, no se recomienda ningún valor TLV, pero la concentración en el aire debe ser mínima. (*Marcas registradas: Algoflón, Fluón, Teflón, Tetran).

B2. Humos de soldadura. Partículas Totales (NCOF)^(d)
TLV-TWA, 5 mg/m³

Los humos de soldadura no son sencillos de clasificar. La composición y cantidad de los humos y el total de partículas dependen de la aleación que se suelda y del proceso y los electrodos que se usan. No se puede realizar un análisis fiable de los humos sin tomar en cuenta la naturaleza del proceso y el sistema de soldadura objeto del examen: metales reactivos como el aluminio y el titanio y las aleaciones se sueldan al arco en una atmósfera protectora inerte, por ejemplo, de argón. Estos arcos originan una cantidad relativamente pequeña de humos, pero dan lugar a una intensa radiación que puede producir ozono. Para soldar aceros al arco, se emplean procesos similares, que también originan un nivel relativamente bajo de humos. También se sueldan al arco aleaciones de hierro en entornos oxidantes, lo que genera una cantidad considerable de humo y puede producir monóxido de carbono en lugar de ozono. Generalmente, tales humos se componen de partículas discretas de escorias amorfas que contienen hierro, manganeso, sílice y otros elementos constituyentes metálicos según las aleaciones de que se trate. Cuando se sueldan al arco aceros inoxidable, en los humos se encuentran compuestos de cromo y níquel. En la formulación de algunos electrodos revestidos y de núcleo de fundente, entran fluoruros y los humos asociados con ellos pueden contener una cantidad significativamente mayor de fluoruros que de óxidos. Debido a los factores apuntados, frecuentemente hay que verificar si los humos de soldadura tienen los elementos individuales que es probable que estén presentes en ellos, para determinar si se sobrepasan los valores TLV específicos. Las conclusiones basadas en la concentración total de humos son, generalmente, adecuadas si en la varilla para soldar el metal o el revestimiento metálico no hay elementos tóxicos y las condiciones no contribuyen a la formación de gases tóxicos.

La mayoría de los tipos de soldadura, incluso con ventilación elemental, no producen en el interior del casco para soldar exposiciones por encima de los 5 mg/m³, debiendo controlarse el tipo de soldadura que las produzca.

APÉNDICE C

VALORES LÍMITE UMBRAL (TLVs) PARA MEZCLAS

Cuando estén presentes dos o más sustancias peligrosas que actúen sobre el mismo sistema de órganos, se deberá prestar atención primordialmente a su efecto combinado más que al de cualquiera de dichas sustancias por separado. A falta de información en contrario, los efectos de los distintos riesgos se deben considerar como aditivos. Es decir, si la suma de las fracciones

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n}$$

es mayor que la unidad, se debe considerar que se sobrepasa el valor límite correspondiente a la mezcla. C_1 indica la concentración atmosférica observada y T_1 el valor límite correspondiente (véanse los ejemplos A. 1 y B. 1).

Se pueden hacer excepciones a esta regla cuando haya motivo suficiente para creer que los efectos principales de las distintas sustancias nocivas no son, en realidad, aditivos sino **independientes** como ocurre cuando los distintos componentes de la mezcla producen efectos puramente locales en distintos órganos del cuerpo. En tales casos, ordinariamente se sobrepasa el valor TLV sólo cuando un miembro, por lo menos, de la misma serie ($C_1/T_1 + \delta C_2/T_2$, etc.) tiene un valor mayor que la unidad. (Véase el ejemplo B. 1).

Con algunas combinaciones de contaminantes atmosféricos, pueden darse efectos de acción sinérgica potenciadora, teniendo tales casos que ser determinados por separado, en la actualidad. Los agentes potenciadores sinérgicos no son necesariamente nocivos por sí mismos y también es posible potenciar los efectos de la exposición a dichos agentes por vías distintas de la inhalación como, por ejemplo, la ingestión de alcohol y la inhalación de un narcótico (tricloroetileno). La potenciación se presenta, de manera característica, a concentraciones altas y, con menor probabilidad, cuanto éstas son bajas.

Cuando una operación o un proceso determinado se caracteriza por la emisión de diversos polvos, humos, vapores o gases nocivos, frecuentemente sólo es factible tratar de evaluar el riesgo mediante la medición de una sólo sustancia. En tales casos, el valor límite usado para esa sustancia debe reducirse por un factor adecuado cuya magnitud dependerá del mismo, la toxicidad y la cantidad relativa de los demás contaminantes presentes de ordinario.

Ejemplos de procesos típicamente asociados a dos o más contaminantes atmosféricos nocivos son la soldadura, la reparación de automóviles, la voladura con explosivos, la pintura, el lacado, ciertas operaciones de fundición, el escape de los motores diesel, etc.

Ejemplos de valores TLV para mezclas

A. Efectos aditivos

Las fórmulas que a continuación se indican, sólo se aplican cuando los componentes de una mezcla tienen efectos toxicológicos similares, no debiendo hacerse

uso de ellas para mezclas cuya reactividad difiera ampliamente como, por ejemplo, las del cianuro de hidrógeno y el dióxido de azufre, en cuyo caso se debe emplear la fórmula correspondiente a los efectos independientes (B).

1. Caso general. Cuando se analiza el aire para determinar el contenido de cada componente, el valor TLV de la mezcla es:

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_3}{T_3} \dots = 1$$

Nota: Es esencial analizar la atmósfera tanto cualitativa como cuantitativamente respecto a cada uno de los componentes presentes a fin de evaluar si se cumple o no este TLV calculado.

Ejemplo A. 1. El aire contiene 400 ppm de acetona (TLV, 750 ppm), 150 ppm de acetato de secbutilo (TLV, 200 ppm) y 100 ppm de metiletilcetona (TLV, 200 ppm).

Concentración atmosférica de la mezcla = 400 + 150 + 100 = 650 ppm de mezcla.

$$\frac{400}{750} + \frac{150}{200} + \frac{100}{200} = 0,53 + 0,75 + 0,5 = 1,78$$

Se sobrepasa el valor límite.

2. Un caso especial es cuando la fuente de contaminación es una mezcla líquida y se **presume** que la composición atmosférica es similar a la del material original como, por ejemplo, cuando sobre la base de la exposición media ponderada en el tiempo, la mezcla líquida (disolvente) se evapora, eventualmente, en su totalidad. Cuando se conoce la composición porcentual (en peso) de la mezcla líquida, los valores TLV de los elementos componentes hay que indicarlos en mg/m³.

$$\text{TLV de la mezcla} = \frac{1}{\frac{f_a}{\text{TLV}_a} + \frac{f_b}{\text{TLV}_b} + \frac{f_c}{\text{TLV}_c} + \dots + \frac{f_n}{\text{TLV}_n}}$$

Nota: Para evaluar el cumplimiento con este TLV, en el laboratorio se deben calibrar los instrumentos de toma de muestra de campo para obtener la respuesta cualitativa y cuantitativa a esta mezcla específica de vapor y aire, así como a las concentraciones fraccionarias de la misma como por ejemplo las correspondientes a: 1/2 TLV, 1/10 TLV, 2 X TLV, 10 X TLV, etc.

Ejemplo A. 2. El líquido contiene (en peso):

50% de heptano:

$$\text{TLV} = 400 \text{ ppm } \delta \text{ 1.600 mg/m}^3$$

$$1 \text{ mg/m}^3 = 0,25 \text{ ppm}$$

30% de metilcloroformo:

$$\text{TLV} = 350 \text{ ppm } \delta \text{ 1.900 mg/m}^3$$

$$1 \text{ mg/m}^3 = 0,18 \text{ ppm}$$

20% de percloroetileno:

$$\text{TLV} = 50 \text{ ppm } \delta \text{ 335 mg/m}^3$$

$$1 \text{ mg/m}^3 = 0,15 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} \text{TLV de la mezcla} &= \frac{1}{\frac{0,5}{1.600} + \frac{0,3}{1.900} + \frac{0,2}{335}} \\ &= \frac{1}{0,00031 + 0,00016 + 0,0006} \\ &= \frac{1}{0,00107} = 935 \text{ mg/m}^3 \end{aligned}$$

De esta mezcla,

el 50% ó (935) (0,5) = 468 mg/m³ son de heptano

el 30% ó (935) (0,3) = 281 mg/m³ son de metilcloroformo

el 20% ó (935) (0,2) = 187 mg/m³ son de percloroetileno

Estos valores pueden ser convertidos a ppm de la siguiente manera:

heptano: 468 mg/m³ x 0,25 = 117 ppm

metilcloroformo: 281 mg/m³ x 0,18 = 51 ppm

percloroetileno: 187 mg/m³ x 0,15 = 29 ppm

TLV de la mezcla = 117 + 51 + 29 = 197 ppm ó 935 mg/m³

B. Efectos independientes

TLV correspondiente a la mezcla

$$\frac{C_1}{T_1} = 1; \quad \frac{C_2}{T_2} = 1; \quad \frac{C_3}{T_3} = 1; \text{ etc.}$$

Ejemplo B. 1. El aire contiene 0,15 mg/m³ de plomo (TLV = 0,15) y 0,7 mg/m³ de ácido sulfúrico (TLV = 1)

$$\frac{0,15}{0,15} = 1; \quad \frac{0,7}{1} = 0,7$$

por lo que no se ha sobrepasado el valor límite.

C. Valor TLV para mezclas de polvo minerales

Para mezclas de polvos minerales biológicamente activos, se puede usar la fórmula general para mezclas que se da en A.2.

‡ APÉNDICE D

CRITERIOS DE MUESTREO SELECTIVO POR TAMAÑO DE PARTÍCULA PARA AEROSOLES

Para las sustancias químicas que se encuentran en el aire inhalado en forma de suspensiones de partículas sólidas o gotículas, el riesgo en potencia depende del tamaño de las partículas así como de la concentración másica a causa de: 1) los efectos del tamaño de las partículas sobre el lugar de deposición en el tracto respiratorio y 2) la tendencia a asociar muchas enfermedades profesionales con el material depositado en determinadas regiones del tracto respiratorio.

Desde hace muchos años, la ACGIH recomienda valores TLV selectivos por tamaño de partícula para la sílice cristalina, en reconocimiento de la asociación claramente establecida entre la silicosis y las concentraciones másicas respirables. En la actualidad, ha emprendido una revisión de otras sustancias químicas que se encuentran en forma de partículas en los ambientes profesionales, con objeto de definir: 1) el tamaño de las partículas de cada fracción que está

estrechamente asociado, para cada sustancia, con el efecto producido en la salud, y 2) la concentración másica correspondiente con el tamaño de las partículas de cada fracción que debe representar al TLV.

Los Valores TLV Selectivos por Tamaño de Partícula (PSS-TLVs, "Particle Size-Selective TLVs") se expresarán de las tres formas siguientes:

- Valores TLV de la Masa de Partículas Inspirable (IPM-TLVs, "Inspirable Particulate Mass TLVs") correspondientes a aquellos materiales que resultan peligrosos cuando se depositan en cualquier parte del tracto respiratorio.
- Valores TLV de la Masa de Partículas Torácica (TPM-TLVs "Thoracic Particulate Mass TLVs") para aquellos materiales que son peligrosos al depositarse en cualquier parte de las vías pulmonares y la región de intercambio de gases.
- Valores TLV de la Masa de Partículas Respirable (RPM-TLVs "Respirable Particulate Mass TLVs") para aquellos materiales que resultan peligrosos cuando se depositan en la región de intercambio de gases.

Las tres fracciones másicas de partículas descritas anteriormente se definen en términos cuantitativos de la siguiente manera:

- La Masa de Partículas Inspirable consiste en aquellas partículas que se recogen de acuerdo con la eficacia de captación siguiente, con independencia de la orientación del muestreador con respecto al viento:

$$E = 50 (1 + \exp [-0,06 d_a]) \pm 10$$

$$\text{para } 0 < d_a \leq 10 \mu\text{m}$$

Las características de recogida para $d_a > 100 \mu\text{m}$ son desconocidas en la actualidad. E es la eficacia de recogida expresada porcentualmente y d_a es el diámetro aerodinámico en μm .

- La Masa de Partículas Torácica consiste en aquellas partículas que penetran en un separador cuya eficacia de captación por tamaños viene descrita por una función lognormal acumulativa con un diámetro aerodinámico medio de $10 \mu\text{m} \pm 1,0 \mu\text{m}$ y una desviación estándar geométrica igual a 1,5 ($\pm 0,1$).
- La Masa de Partículas Respirable consiste en aquellas partículas que penetran en un separador cuya eficacia de captación por tamaños viene descrita por una función lognormal acumulativa con un diámetro aerodinámico medio igual a $3,5 \mu\text{m} \pm 0,3 \mu\text{m}$ y una desviación estándar geométrica igual a 1,5 ($\pm 0,1$). De esta forma se incorporan y aclaran los anteriores Criterios de la ACGIH para la Toma de Muestra de Polvo Respirable.

Estas definiciones proporcionan un rango de rendimiento aceptable para cada tipo de muestreador selectivo por tamaño, disponiéndose de información más amplia sobre los antecedentes y criterios de rendimiento correspondientes a estas recomendaciones para la toma de muestras selectiva por tamaño de partículas⁽¹⁾.

Referencias

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Particle Size-Selective Sampling in the Workplace. Pub. No. 0830, Cincinnati, Ohio (1984).

APÉNDICE B
PROPIEDADES FÍSICAS DE DISTINTAS SUSTANCIAS

Sustancia	Fórmula	Peso molecular	Densidad	Punto de inflamación °C			Límites de inflamabilidad (en porcentaje en volumen)		
				Copa cerrada	Copa abierta	Gas	Inferior	Superior	
Acetaldehído	CH ₃ CHO	44,05	0,821	-27,2	-	-	3,97	57,00	
Acetato de n-amilo	CH ₃ CO ₂ C ₅ H ₁₁	130,18	0,879	24,4	26,7	-	1,10	-	
Acetato de n-butilo	CH ₃ CO ₂ C ₄ H ₉	116,16	0,882	22,2	32,2	-	1,39	7,55	
Acetato de etilo	CH ₃ CO ₂ C ₂ H ₅	88,10	0,901	-4,4	-1,1	-	2,18	11,40	
Acetato de 2-etoxietilo	CH ₃ CO ₂ C ₂ H ₄ O	132,16	0,975	51,1	57,2	-	1,71	-	
Acetato de metilo	CH ₃ CO ₂ CH ₃	74,08	0,928	-9,4	-6,7	-	3,15	15,60	
Acetato de 2-metoxietilo	CH ₃ OCH ₂ CH ₂ OOCCH ₃	118,13	1,007	55,6	60,0	-	-	-	
Acetato de n-propilo	CH ₃ CO ₂ CH ₂ C ₂ H ₅	102,13	0,886	6,1	15,6	-	1,77	8,00	
Acetona	CH ₃ COCH ₃	58,08	0,792	-17,8	-8,4	-	2,55	12,80	
Ácido acético	CH ₃ COOH	60,05	1,049	40	43,3	-	5,40	-	
Acritilonitrilo	CH ₂ :CHCN	53,06	0,806	-	0	Gas	3,05	17,00	
Acroleína	CH ₂ :CHCHO	56,06	0,841	-	-	Gas	Inestable	-	
Alcohol n-butílico	C ₄ H ₉ CH ₂ CH ₂ OH	74,12	0,810	28,9	43,3	-	1,45	11,25	
Alcohol etílico	C ₂ H ₅ OH	46,07	0,789	12,8	-	-	3,28	18,95	
Alcohol isoamílico	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CH ₂ OH	88,15	0,812	42,8	46,1	-	1,20	-	
Alcohol isopropílico	(CH ₃) ₂ CHOH	60,09	0,785	11,7	15,6	-	2,02	11,80	
Alcohol metílico	CH ₃ OH	32,04	0,792	12,2	15,6	Gas	6,72	36,50	
Amoníaco	NH ₃	17,03	0,597	-	-	-	15,50	27,00	
Anhidrido acético	(CH ₃ CO) ₂ O	102,09	1,082	49,4	54,4	-	2,67	10,13	
Anilina	C ₆ H ₅ NH ₂	93,12	1,022	75,6	-	-	-	-	
Arsenammina	Ash ₃	77,93	2,695(A)	-	-	Gas	-	-	
Benceno	C ₆ H ₆	78,11	0,879	-11,1	-	-	1,40	7,10	
Bromo	Br ₂	159,83	3,119	-	-	-	-	-	
Bromuro de etilo	C ₂ H ₅ Br	109,98	1,430	-	-	-	6,75	11,25	
Bromuro de metilo	CH ₃ Br	94,95	1,732	-	-	-	13,50	14,50	
1,3 Butadieno	(CH ₂ :CH) ₂	54,09	0,621	-	-	Gas	2,00	11,50	
Butano	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₃	58,12	2,085	-	-	Gas	1,86	8,41	
2-Butoxietanol	C ₄ H ₉ OCH ₂ CH ₂ OH	118,17	0,903	60,6	73,9	-	-	-	
Cianuro de hidrógeno	HCN	27,03	0,688	-	-	Gas	5,60	40,00	
Ciclohexano	C ₆ H ₁₂	84,16	0,779	-17,2	-	-	1,26	7,75	
Ciclohexanol	CH ₂ (CH ₂) ₄ CHOH	100,16	0,962	67,8	-	-	-	-	
Ciclohexanona	CH ₂ (CH ₂) ₄ CO	98,14	0,948	63,9	-	-	-	-	
Ciclohexeno	CH ₂ (CH ₂) ₃ CH:CH	82,14	0,810	-	-	-	-	-	
Ciclopropano	CH ₂ CH ₂ CH ₂	42,08	0,720	-	-	Gas	2,40	10,40	
Clorhidrina etilénica	ClCH ₂ CH ₂ OH	80,52	1,213	-	60,0	-	-	-	
Cloro	Cl ₂	70,91	3,214	-	-	Gas	-	-	
Clorobenceno	C ₆ H ₅ Cl	112,56	1,107	32,2	-	-	-	-	

Sustancia	Fórmula	Peso molecular	Densidad	Punto de inflamación °C			Límites de inflamabilidad (en porcentaje en volumen)		
				Copa cerrada	Copa abierta	Copa	Inferior	Superior	
Cloroformo	CHCl_3	119,39	1,478	No inflamable					
1-Cloro-1-Nitropropano	$\text{NO}_2\text{C}(\text{Cl})\text{C}_2\text{H}_5$	139,54	1,209	62,2	-	-	-	-	
β -Cloropireno	$\text{CH}_2=\text{CClCH}_2\text{CH}_2$	88,54	0,958	-	-	-	-	-	
Cloruro de etilo	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	64,52	0,921	-50	-42,8	3,6	14,80		
Cloruro de hidrógeno	HCl	36,47	1,268(A)	-	-	-	-	-	
Cloruro de metileno	H_2CCl_2	84,94	1,336	-	-	-	-	-	
Cloruro de metilo	CH_3Cl	50,49	1,785	-	-	8,25	18,70		
Cloruro de vinilo	$\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$	62,50	0,908	Gas	Gas	4,00	21,70		
o-Diclorobenceno	$\text{Cl}_2\text{C}_6\text{H}_4$	147,01	1,305	66,1	73,9	-	-	-	
Diclorodifluorometano	CCl_2F_2	120,92	1,486	No inflamable					
Diclorofluorometano	HCCl_2F	102,93	1,426	-	-	-	-	-	
1,1-Dicloroetano	CH_3CHCl_2	98,97	1,175	-	-	-	-	-	
1,2-Dicloroetileno	ClCHCHCl	96,95	1,291	6,1	-	9,7	12,80		
1,1-Dicloro-1-Nitroetano	$\text{H}_3\text{C}_2\text{Cl}_2\text{NO}_2$	143,97	1,692	-	-	-	-	-	
Diclorotetrafluoroetano	CCl_2CF_2	170,93	1,433	No inflamable					
Dicloruro de azufre	SCl_2	102,97	1,621	-	-	-	-	-	
Dicloruro de etileno	$\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$	98,97	1,257	13,3	18,3	6,2	15,90		
Dicloruro de propileno	$\text{CH}_3\text{CHClCH}_2\text{Cl}$	112,99	1,159	15,0	18,3	3,4	14,50		
Dioxano	$\text{O}(\text{CH}_2)_6\text{O}$	88,10	1,034	-	1,7	-	-	-	
Dióxido de carbono	CO_2	44,01	1,530	-	-	-	-	-	
Dióxido de azufre	SO_2	64,07	2,264(A)	Gas	Gas	-	-	-	
Dimetilnilina	$(\text{CH}_3)_2\text{NC}_6\text{H}_4$	121,18	0,956	62,8	76,7	-	-	-	
Estibamina	SbH_3	124,78	4,344(A)	-	-	-	-	-	
Estireno, monómero	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$	104,14	0,903	32,2	-	1,1	6,10		
Éter dicloroetilico	$(\text{ClCH}_2\text{CH}_2)_2\text{O}$	143,02	1,222	55,0	82,2	-	-	-	
Éter etílico	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$	74,12	0,713	-	-	-	-	-	
Éter isopropílico	$(\text{CH}_3)_2(\text{CH})_2\text{O}$	102,17	0,725	-27,8	-26,1	-	-	-	
Etilbenceno	$\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5$	106,16	0,867	15,0	23,9	-	-	-	
Etilendiamina	$\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$	60,10	0,899	-	-	-	-	-	
2-Etoxietanol	$\text{C}_2\text{H}_5\text{O}(\text{CH}_2)_2\text{OH}$	90,12	0,931	40,0	48,9	2,6	15,70		
Fluoruro de hidrógeno	HF	20,01	0,987	Gas	Gas	-	-	-	
Formaldehído	HCHO	30,03	0,815	Gas	Gas	7,0	73,00		
Formiato de etilo	$\text{HCO}_2\text{C}_2\text{H}_5$	74,08	0,917	-	-	2,75	16,40		
Formiato de metilo	HCO_2CH_3	60,05	0,974	-18,9	-	4,5	20,00		
Fosfamina	PH_3	34,00	1,146(A)	-	96,1	-	-	-	
Fosgeno	$\text{O}=\text{C}=\text{Cl}_2$	98,92	1,392	-	-	-	-	-	
Gasolina	CH_2^{100-20}	86,00	0,660	-45,6	-	1,3	6,00		

Sustancia	Fórmula	Peso molecular	Densidad	Punto de Inflamación °C			Límites de Inflamabilidad (en porcentaje en volumen)		
				Copa cerrada	Copa abierta	Copa	Inferior	Superior	
Heptano	$CH_3(CH_2)_6CH_3$	100,20	0,684	-3,9	-	-	1,1	6,70	
Hexano	$CH_3(CH_2)_5CH_3$	86,17	0,660	-21,7	-	-	1,18	7,40	
Isoforona	$(CH_3)_3C(CH_2)_2CCHCO$	138,20	0,923	-	96,1	-	-	-	
Metilciclohexano	$CH_3(CH_2)_5CH_3$	98,18	0,769	-3,9	-	-	1,15	-	
Metilciclohexanol	$CH_3(CH_2)_4CH_2CHOH$	114,18	0,934	67,8	-	-	-	-	
Metilciclohexanona	$CH_3C_6H_4CO$	122,17	0,925	47,8	-	-	-	-	
Metilacetona	$CH_3COC_2H_5$	72,10	0,805	-1,1	-	-	1,81	9,50	
Metilisobutilcetona	$CH_3COC_4H_9$	100,16	0,801	22,8	-	-	-	-	
Metilisopropilcetona	$CH_3COCH(CH_3)_2$	86,13	0,803	-	-	-	-	-	
Metilpropilcetona	$CH_3COCH_2C_2H_5$	86,13	0,816	7,2	15,6	-	1,55	8,15	
2-Metoxietanol	$HOCH_2CH_2OCH_3$	76,06	0,965	41,7	46,1	-	-	-	
Monocloruro de azufre	S_2Cl_2	135,03	1,678	118,3	Ninguno	-	-	-	
Monóxido de carbono	CO	28,10	0,968	37,8-43,3	Gas	-	12,5	74,20	
Nafta (alquitran de hulla)	$C_6H_4(CH_3)_2$	106,16	0,850	-	-	-	-	-	
Níquel carbonilo	$Ni(CO)_4$	170,73	1,310	-	-	-	-	-	
Nitrobenzeno	$C_6H_5NO_2$	123,11	1,205	87,8	-	-	-	-	
Nitroetano	$CH_3CH_2NO_2$	75,07	1,052	27,8	41,1	-	1,8(93,3°C)	-	
Nitroglicerina	$C_3H_5(ONO)_2$	227,09	1,601	-	-	-	-	-	
Nitrometano	CH_3NO_2	61,04	1,130	35,0	44,4	-	-	-	
2-Nitropropano	$CH_3CHNO_2CH_3$	89,09	1,003	-	39,4	-	-	-	
Nitrotolueno	$CH_3C_6H_4NO_2$	137,13	1,163	106,1	-	-	-	-	
Octano	$CH_3(CH_2)_7CH_3$	114,22	0,703	13,3	-	-	0,95	3,2	
Óxido de etileno	CH_2CH_2O	44,05	0,887	-	-	-	3,0	80,00	
Óxido de mesitilo	$(CH_3)_2CHCOCH_3$	98,14	0,857	30,6	-	-	-	-	
Óxidos de nitrógeno	NO	30,00	1,0367(A)	-	-	-	-	-	
	N_2O	44,02	1,530	-	-	-	-	-	
	N_2O_3	76,02	1,447	-	-	-	-	-	
	NO_2	46,01	1,448	-	-	-	-	-	
	N_2O_5	108,02	1,642	-	-	-	-	-	

Sustancia	Fórmula	Peso molecular	Densidad	Punto de inflamación °C		Límites de inflamabilidad (en porcentaje en volumen)		
				Copa cerrada	Copa abierta	Inferior	Superior	Superior
Ozono	O ₃	48,0	1,658(A)	-	-	-	-	-
Pentano	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₃	72,15	0,626	-40,0	-	1,4	7,80	-
Percloroetileno	Cl ₂ C:CCl ₂	165,85	1,624	No inflamable	-	-	-	-
Propano	CH ₃ CH ₂ CH ₃	44,09	1,554	Gas	Gas	2,12	9,35	-
Seleniuro de hidrógeno	H ₂ Se	80,98	2,120	Gas	Gas	-	-	-
Silicato de etilo	(C ₂ H ₅) ₂ SiO ₄	208,30	0,933	-	51,7	-	-	-
Sulfato de dimetilo	(CH ₃) ₂ SO ₄	126,13	1,332	83,3	115,6	-	-	-
Sulfuro de carbono	CS ₂	76,13	1,263	-30,0	-	1,25	50,00	-
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	34,08	1,189(A)	Gas	Gas	4,3	45,50	-
1,1,2,2-Tetracloroetano	Cl ₂ CHCHCl ₂	167,86	1,588	-	-	-	-	-
Tetracloruro de azufre	SCl ₄	173,89	-	-	-	-	-	-
Tetracloruro de carbono	CCl ₄	153,84	1,595	No inflamable	No inflamable	-	-	-
Tolueno	C ₆ H ₅ CH ₃	92,13	0,866	4,4	7,2	1,27	6,75	-
Toluidina	CH ₃ C ₆ H ₄ NH ₂	107,15	0,999	86,7	96,1	-	-	-
Trementina (terpenos)	C ₁₀ H ₁₆	136,23	-	35,0	-	0,8	-	-
Tricloroetileno	C1CHCl ₂	131,40	1,466	No inflamable	No inflamable	-	-	-
Triclorofluorometano	Cl ₃ CF	137,38	1,494	No inflamable	No inflamable	-	-	-
Tricloruro de fósforo	PCl ₃	137,35	1,574	-	-	-	-	-
Xileno	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	106,16	0,881	17,2	23,9	1,0	6,00	-
Yodo	I ₂	253,82	4,930	-	-	-	-	-

TIEMPO DE SECADO DE DISOLVENTES

Disolvente	Tiempo de secado relativo	Margen de ebullición		Peso por litro kg
		Grados °C	Grados F	
Éter etílico, C.P.	1,0	34-35	93-95	0,72
Petroleno	1,8	61-96	142-205	0,70
Tetracloruro de carbono	1,9	76	169	1,59
Acetona	2,0	55-58	133-136	0,76
Acetato de metilo	2,2	56-62	133-144	0,93
Acetato de etilo 85-88 %	2,5	74-77	165-171	0,88
Tricloroetileno	2,5	87	189	1,46
Benzol (industrial)	2,6	79-81	174-178	0,88
Metil-etil cetona	2,7	77-82	171-180	0,83
Acetato de isopropilo 8 %	2,7	84-93	183-199	0,87
Dicloroetileno	3,0	84	183	1,26
Solvol 19/27	3,7	86-123	187-254	0,79
Cloruro de etileno	4,0	81-87	178-189	1,26
Dicloruro de propileno	4,1	93-97	199-207	1,15
Toluoil	4,1	90-122	194-252	0,74
Metanol	5,0	64-65	147-149	0,79
Tolueno (industrial)	5,0	109-111	229-232	0,86
Metil-propil cetona	5,2	101-107	214-225	0,81
Disolvente universal para barnices y pinturas	5,8	95-141	203-286	0,75
Percloroetileno	6,0	121	250	1,62
Acetato de n-propilo	6,1	97-101	207-214	0,90
Acetato de sec-butilo	6,5	106-135	223-275	0,85
Solox (anhidro)	6,5	71-78	160-172	0,81
Acetato de isobutilo (90 %)	7,0	106-117	223-243	0,87
Apochinner	7,0	115-143	239-289	0,76
Alcohol etílico Den. N.º 1	7,7	78	172	0,80
Solox	8,0	76-78	169-172	0,81
Alcohol isopropílico 99 %	8,6	79-82	174-180	0,81
Alcohol n-propílico	9,1	96-98	205-208	0,81
Solvsol 24/34	9,4	101-168	214-334	0,81
Acetato de n-butilo	9,6	110-132	230-270	0,87
Carbonato de dietilo	9,6	100-130	212-266	0,98
Metil butil cetona	9,7	114-137	237-279	0,82
Xileno (industrial)	9,7	127-144	261-291	0,86
Clorobenceno	10,0	130-132	266-270	1,10
Alcohol ter-butílico	11,9	82-83	180-181	0,78
Alcohol iso-butílico	14,0	99-100	210-212	0,82
Acetato isoamílico	16,9	121-144	250-291	0,86
Acetato amílico	17,4	105-142	221-288	0,87
Alcohol isobutílico	17,7	107-111	225-232	0,80
Metil cellosolve	18,0	121-126	250-259	0,97
Propionato de butilo	18,0	124-171	255-340	0,88
Pentacetate	20,0	121-155	250-311	0,86
Turpentine	20,0	155-173	311-343	1,47
Alcohol butílico	21,0	116-119	241-246	0,81
Alcohol isoamílico	25,0	105-125	221-257	0,81
2-50 W Hi-Flash Naphta	27,5	148-187	298-369	0,86
Alcohol amílico (Fuel oil)	32,1	126-130	259-266	0,81
Diisopropil cetona	33,9	164-169	327-336	0,81
Etil cellosolve	36,2	133-137	271-279	0,93
Destilados de petróleo inodoros	38,6	150-201	302-394	0,78
Lactato de etilo	40,0	119-176	246-349	1,03
Alcohol isohexílico	41,7	157	315	0,84
Sovsol 30/40	43,2	142-199	288-390	0,85
Pentasol	45,0	112-140	234-284	0,81
Destilados de petróleo de alto poder disolvente	46,7	152-200	306-392	0,81
Destilado de petróleo N.º 380	47,0	151-196	304-385	0,79

Disolvente	Tiempo de secado relativo	Margen de ebullición		Peso por litro kg
		Grados °C	Grados F	
Destilado de petróleo N.º 10	55,0	154-196	309-385	0,78
Agua destilada	60,0	100	212	1,00
Apco N.º 125	60,5	162-200	324-392	0,78
Acetato de cellosolve	65,0	145-166	293-331	0,98
Lactato de isobutilo	73,0	172	342	0,98
Acetato de isohexilo	76,5	129-158	264-316	0,86
Butil cellosolve	88,5	163-172	325-342	0,91
Dipenteno	89,2	149-215	300-419	0,85
N.º 140 Thinner	91,0	185-210	365-410	0,79
Acetato de octilo	152,5	195-203	383-397	0,86
Lactato de isobutilo	156,5	168-200	334-392	0,98
Hexalin	177,5	159-162	318-324	0,95
Solvsol 40/50	270,5	191-248	376-478	0,89
Metil hexalin	276,5	170-190	338-374	0,92
Lactato de butilo	339,0	185-195	365-383	0,98
Excellene	384,0	162-260	324-500	0,78
Nafta pesada	403,0	202-242	396-468	0,81
Dispersol	425,0	193-242	379-468	0,79
Keroseno N.º 50	626,7	178-256	352-493	0,81
Trietilen glicol	>5200	276-310	529-590	1,11
Ftalato de dibutilo	>5200	195-200	383-392	1,05

Tiempo de secado relativo: < 5 Rápido.
5-15 Medio.
15-75 Lento.
> 75 Despreciable.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Air Filter Co., "Rotoclone Dust Control," January 1946.
2. American Society of Heating, Air-Conditioning and Refrigerating Engineers, *Heating, Ventilating and Air Conditioning Guide*, 1963.
3. American Society of Mechanical Engineers, "Power Test Code 21," Test Code for Dust-Separating Apparatus, 1941.
4. American Society of Mechanical Engineers, "Power Test Code 19.2.5," Liquid Column Gauges, 1942.
5. Anemostat Corporation, "Anemotherm Air Meter," 10 East 29th St., New York, NY 10016.
6. Bloomfield, J.J., and DallaValle, J.M., "The Application of Engineering Surveys to the Hatters Fur Cutting Industry," U.S.P.H.S.
7. Brandt, A.D., *Industrial Health Engineering*, John Wiley and Sons, New York, 1947.
8. Brandt, Allen D., "Should Air Be Recirculated from Industrial Exhaust Systems?" *Heating, Piping and Air Conditioning*, 19, 69, August 1947.
9. DallaValle, J.M., *Exhaust Hoods*, Industrial Press, New York, 1946.
10. Dreesen, W.C., et al., "A Study of Asbestosis in the Asbestos Textile Industry," Public Health Bulletin 241, August 1938.
11. Drinker, P., and Hatch, T., *Industrial Dust*, McGraw-Hill, New York, 1936.
12. Drinker, P., and Snell, J.R., "Ventilation of Motion Picture Booths," *Journal of Industrial Hygiene and Toxicology*, 20, 321, April 1938.
13. Fen, O.E., "The Collection and Control of Dust and Fumes from Magnesium Alloy Processing," Peters-Dalton, Inc., January 1945.
14. Hartzell Propeller Fan Company, Bulletin 1001.
15. Hastings Instrument Company, "Air Meter," Box 1275, Hampton, Virginia.
16. Hatch, T., "Design of Exhaust Hoods for Dust Control Systems," *Journal of Industrial Hygiene and Toxicology*, 18, 595, 1936.
17. Hatch, T., et al., "Control of the Silicosis Hazard in the Hard Rock Industries. II. An Investigation of the Kelley Dust Trap for Use with Pneumatic Rock Drills of the Jackhammer Type," *Journal of Industrial Hygiene*, 14, 69, February 1932.
18. Hay, P.S., Capt., "Modified Design of Hay Dust Trap," *Journal of Industrial Hygiene*, 12, 28, January 1930.
19. Hemeon, W.C.L., "Air Dilution in Industrial Ventilation," *Heating and Ventilating*, 38, 41, February 1941.
20. Huebscher, R.G., "Friction Equivalents for Round, Square and Rectangular Ducts," *Heating, Piping and Air Conditioning*, 19, 127, December 1947.
21. Illinois Testing Laboratory, "Anor Thermo-Anemometer," Chicago, IL 60010.
22. Kane, J.M., "Foundry Ventilation," *The Foundry*, February and March 1946.
23. Kane, J.M., "The Application of Local Exhaust Ventilation to Electric Melting Furnaces," *Trans. Am. Foundrymen's Assoc.*, 52, 1351, 1945.
24. Kane, J.M., "Design of Exhaust Systems," *Heating and Ventilating*, 42, 68, November 1945.
25. Kane, J.M., "Foundry Ventilation," University of Michigan Inservice Training Course, October 1945.
26. Madison, R.D., and Elliot, W.R., "Friction Charts for Gases Including Correction for Temperature, Viscosity and Pipe Roughness," *Heating, Piping and Air Conditioning*, 18, 107, October 1946.
27. Moucher, S.C., "Principles of Air Flow," Sheet Metal Workers, September 1947.
28. Air Movement and Control Association, Inc., 30 West University Dr., Arlington Heights, IL 60004, AMCA Standard 210-74.
29. Neal, P.A., et al., "Mercurialism and Its Control in the Felt-Hat Industry," Public Health Bulletin 263, 1941.
30. New York Department of Labor, "Rules Relating to the Control of Silica Dust in Stone Crushing Operations," Industrial Code Rule No. 34, July 1942.
31. Oddie, W.M., "Pottery Dusts: Their Collection and Removal," *Pottery Gazette*, 53, 1280, 1928.
32. Page, R.T., and Bloomfield, J.J., "A Study of Dust Control Methods in an Asbestos Fabricating Plant," Reprint No. 1883, Public Health Reports, November 26, 1937.

33. Pennsylvania Department of Labor and Industry, "Abrasive Wheel Manufacture," Safe Practice Bulletin No. 13.
34. Postman, B.F., "Practical Application of Industrial Exhaust Ventilation for the Control of Occupational Exposures," *American Journal of Public Health*, 30, 149, 1940.
35. Riley, E.C., et al, "How to Design Exhaust Hoods for Quartz-Fusing Operations," *Heating and Ventilating*, 37, 23, April 1940.
36. Riley, E.C., and DallaValle, J.M., "A Study of Quartz-Fusing Operatings with Reference to Measurement and Control of Silica Fumes," *Public Health Reports*, 54, 532, 1939.
37. Rothmann, S.C., "Economic Recovery of Pottery Glazes with Reduction of Dust," *American Journal of Public Health*, 29, 511, 1939.
38. Silverman, Leslie, "Velocity Characteristics of Narrow Exhaust Slots," *Journal of Industrial Hygiene and Toxicology*, 24, 267, November 1942.
39. B. F. Startevant Company, "What We Make," Catalog No. 500.
40. Tuve, G. L., and Wright, D. K., "Air Flow Measurements at Intake and Discharge Openings and Grilles," *Heating, Piping and Air Conditioning*, 12, 501, August 1940.
41. Tuve, G. L., "Measuring Air Flow at Intake or Exhaust Grilles," *Heating, Piping and Air Conditioning*, 13, 740, December 1941.
42. Underwriters Laboratories, Inc., "Control of Floating Dust in Grain Elevators," Underwriters Laboratories Bulletin of Research No. 1, December 1937.
43. Whalen, F.G., "The Whalen Gage," Engineering Experimental Station Bulletin 10, University of Illinois, March 1921.
44. Witheridge, W.N., "Principles of Industrial Process Ventilation," University of Michigan Inservice Training Course, October 1945.
46. Yaglou, C.P., "Ventilation of Wire Impregnating Tanks Using Chlorinated Hydrocarbons," *Journal of Industrial Hygiene and Toxicology*, 20, 401, June 1938.
47. Yaglou, C.P., Committee on Atmospheric Comfort, A.P.H.A., "Report Presented at the 77th Annual Meeting, A.P.H.A., New York City, October 27, 1949."
48. Adolph, E.E., "Tolerance of Man Toward Hot Atmospheres," Supplement #192, Public Health Reports, 1946.
49. "Your Place in the 'Smart Man's War'," *Heating, Piping and Air Conditioning*, 14, 463, August 1942.
50. Factory Mutual Insurance Company, "Properties of Flammable Liquids, Gases and Solids," Factory Mutual Solvent Data Sheet 36.10, January 1945.
51. Malin, Benjamin S., "Practical Pointers on Industrial Exhaust Systems," *Heating and Ventilating*, 42, 75, February 1945.
52. National Board of Fire Underwriters, "Standard for Class A Ovens and Furnaces," Pamphlet #86.
53. United States Bureau of Mines, "Limits of Flammability of Gases and Vapors," Bulletin #503.
54. Silverman, Leslie, "Centerline Velocity Characteristics of Round Openings Under Suction," *Journal of Industrial Hygiene and Toxicology*, 24, 259, November 1942.
55. Schulte, H.F., Hyatt, E.C., and Smith, Jr., F.S., "Exhaust Ventilation for Machine Tools Used on Materials of High Toxicity," *A.M.A. Archives of Industrial Hygiene and Occupational Medicine*, 5, 21, January 1952.
56. Mitchell, R.N., and Hyatt, E.C., "Beryllium — Hazard Evaluation and Control Covering a Five-Year Study," *American Industrial Hygiene Quarterly*, 18, No. 3, September 1957.
57. Hemeon, W.C.L., *Plant and Process Ventilation*, Industrial Press.
58. Manufacturing Chemists' Association, "Technical Data on Plastics," February 1957.
59. First, M.W., and Silverman, L., "Airfoil Pitometer," *Industrial Engineering and Chemistry*, 42, 301-308, February 1950.
60. Stoll, H.W., "The Pitot-Venturi Flow Element," *Transactions ASME*, pp. 963-969, October 1951.
61. Republic Flow Meters Co., "Air Speed Nozzle," Bulletin ME-186-A, Chicago, IL, April 1948.
62. University of Michigan, "Encyclopedia of Instrumentation for Industrial Hygiene," Institute of Industrial Health, Ann Arbor, MI.
63. Dwyer Manufacturing Company, "Magnehelic Gage," P.O. Box 373, Michigan City, IN.
64. Burton, J.R., "Friction Chart," Quaker Oats Company, Chicago, IL.
65. U.S. Dept. of Health and Welfare, Public Health Service, Syllabus, "Short Course for Industrial Hygiene Engineers," p. B-25,7.
66. National Fire Protection Association, "Ventilation of Cooking Equipment 1971," Bulletin 96.
67. American Air Filter Co., Inc., "Usual Exhaust Requirements (for) Grain Elevators, Feed and Flour Mills," April 1956.
68. Air Movement and Control Association, Inc., 30 West University Drive, Arlington Heights, IL 60004.
69. Print, Robert T., "Dust Control in Large-Scale Ore-Concentrating Operations," American Institute of Mining and Metallurgical Engineering, Tech. Publication #1225, February 1940.
70. Langley, M.Y., Harris, Jr., R.L., Lee, D.H.K., "Calculation of Complex Radiant Heat Load from Surrounding Radiator Surface Temperatures," *American Industrial Hygiene Association Journal*, 24, 103-112, March 1963.
71. Thor Power Tool Company, Aurora, IL.
72. Chamberlin, Richard I., "The Control of Beryllium Machining Operations," *A.M.A. Archives of Industrial*

- Health*, 19, No. 2, February 1959.
73. The Black and Decker Tool Company, Towson, MD.
 74. Hoffman Air and Filtration Div., Clarkson Industries, Inc., New York, NY.
 75. Alexander, J.M., Croley, Jr., J.J., and Messick, R.R., "Use of Vortex Tube for Cooling Wearers of Industrial Protective Clothing," U.S. Atomic Energy Commission Report DP-861, Office of Technical Services, U.S. Dept. of Commerce, Washington, DC, October 1963.
 76. Trickler, C.J., Engineering Letter E-4R, New York Blower Co., LaPorte, IN.
 78. New York State Department of Labor, Division of Industrial Hygiene.
 79. *Air Conditioning, Heating and Ventilating*, Vol. 60, No. 3, March 1963.
 80. Hama, G., Frederick, W., and Monteith, H., "Air Flow Requirements for Underground Parking Garages," *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 22, No. 6, December 1961.
 81. Feiner, B., and Kingsley, I., "Ventilation of Industrial Ovens," *Air Conditioning, Heating and Ventilating*, pp. 82-89, December 1956.
 82. U.S. Air Force Technical Order 00-25-203, "Standards and Guidelines for the Design and Operation of Clean Rooms and Clean Work Stations," Office of Technical Services, Department of Commerce, Washington, DC, July 1963.
 83. Federal Standard No. 290B, "Clean Room and Work Station Requirements, Controlled Environment," General Services Administration, Specifications Activity, Printed Material Supply Div., Bldg. 197, Naval Weapons Plant, Washington, DC 20407.
 84. Austin, Philip R., and Timmerman, Stuart W., *Design and Operation of Clean Rooms*, Business News Publishing Co., Detroit, MI, 1965.
 85. Constance, J.A., "Estimating Air Friction in Triangular Ducts," *Air Conditioning, Heating and Ventilating*, Vol. 60, No. 6, pp. 85-86, June 1963.
 86. McKarns, J.S., Confer, R.G., and Brief, R.S., "Estimating Length Limits for Drain Type Stacks," *Heating, Piping and Air Conditioning*, Vol. 37, No. 7, July 1965.
 87. Clarke, J.H., "Air Flow Around Buildings," *Heating, Piping and Air Conditioning*, Vol. 39, No. 5, pp. 145-154, May 1967.
 88. British Steel Castings Research Association, "Dust Control on Stand Grinding Machines," *Conditions in Steel Foundries*, First Report of Joint Standing Committee, London, 1961.
 89. The Kirk and Blum Mfg. Co., "Woodworking Plants," pp. W-9, Cincinnati, OH.
 90. American Foundrymen's Society, *Engineering Manual for Control of In-Plant Environment in Foundries*, Des Plaines, IL, 1956.
 91. Alden, John L., *Design of Industrial Exhaust Systems*, Industrial Press, 200 Madison Ave., New York, NY 10016, 1939.
 92. The Quickdraft Corporation, P.O. Box 1353, Canton, OH.
 93. Boles, Robert B., "Air Eductors Used to Handle Noxious and Corrosive Fumes," *Air Engineering*, Vol. 7, No. 6, June 1965.
 94. Private Communication, E.A. Carsey, The Kirk and Blum Mfg. Co., Cincinnati, OH 45209.
 95. Harris, W.B., Christofano, E.E., and Lippman, M., "Combination Hot Plate and Hood for Multiple Beaker Evaporation," *American Industrial Hygiene Assoc. Journal*, Vol. 22, No. 4, August 1961.
 96. Dieter, W.E., Cohen, L., and Kundick, M.E., *A Stainless Steel Fume Hood for Safety in Use of Perchloric Acid*, U.S. Dept. of Interior, 1964.
 97. Lynch, Jeremiah R., "Computer Design of Industrial Exhaust Systems," *Heating, Piping and Air Conditioning*, September 1968.
 98. Hama, George, "A Calibrating Wind Tunnel for Air Measuring Instruments," *Air Engineering*, pp. 18-20, 41, December 1967.
 99. Hama, George, "Calibration of Anor Velometers," *American Industrial Hygiene Assoc. Journal*, December 1958.
 100. Hama, George, and Curley, L.S., "Instrumentation for the Measurement of Low Velocities with a Pitot Tube," *Air Engineering*, July 1967, and *American Industrial Hygiene Assoc. Journal*, May, June 1967.
 101. Yaffe, C.D., Byer, D.H., and Hosey, A.D., *Encyclopedia of Instrumentation for Industrial Hygiene*, pp. 703-709, University of Michigan, Ann Arbor, MI, 1956.
 102. Airflow Developments Ltd., Lancaster Rd., High Wycombe, Bucks., England.
 103. *Heating and Cooling for Man and Industry*, American Industrial Hygiene Association, 1969.
 104. *ASHRAE Guide & Data Book*, p. 243, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, 1961.
 105. F.W. Dwyer Company, Michigan City, IN.
 106. HPAC Data Sheet, "How to Design Drain Type Stacks," *Heating, Piping and Air Conditioning*, p. 143, June 1964.
 107. Air Movement and Control Association, Inc., 30 W. University Dr., Arlington Heights, IL 60064, AMCA Standard 99-2408-69.
 108. Adapted from U.S. Dept. of Labor, Occupational Safety and Health Administration, Washington, DC, *Federal Register*, Vol. 36, No. 105, May 29, 1971, "Occupational Safety and Health Standards; National Consensus Standards and Established Federal Standards."
 109. Hama, George, "How Safe Are Direct-fired Makeup Units," *Air Engineering*, p. 22, September 1962.
 110. Hama, George M., and Butler, Jr., Kerrel E., "Ventila-

- tion Requirements for Lift Truck Operation," *Heating, Piping and Air Conditioning*, January 1970.
111. Hama, George M., "Is Makeup Air Necessary?" *Air Conditioning, Heating and Ventilating*, November 1959.
 112. Hama, George, and Bonkowski, K.J., "Ventilation Requirements for Airless Spray Painting," *Heating, Piping and Air Conditioning*, pp. 80-82, October 1970.
 113. National Fire Protection Association, 470 Atlantic Ave., Boston, MA 02210.
 114. L.J. Wing Mfg. Co., Bulletin IFB-61, p. 4, Linden, NJ.
 115. Hart & Cooley Mfg. Co., Bulletin E-6, Holland, MI.
 116. Hama, George, "The Characteristics of Weather Caps," *Air Engineering*, December 1973.
 117. U.S. Dept. of Health, Education and Welfare, Health Services and Mental Health Administration, NIOSH, Report HSM 72-10269, *Criteria for a Recommended Standard...Occupational Exposure to Hot Environments*.
 118. Rajhans, G.S., and Thompkins, R.W., "Critical Velocities of Mineral Dusts," *Canadian Mining Journal*, pp. 85-88, October 1967.
 119. Djamgowz, O.T., and Ghoneim, S.A.A., "Determining the Pick-up Air Velocity of Mineral Dusts," *Canadian Mining Journal*, pp. 25-28, July 1974.
 120. Baliff, J., Greenburg, L., and Stern, A.C., "Transport Velocities for Industrial Dusts — An Experimental Study," *Industrial Hygiene Quarterly*, Vol. 9, No. 4, pp. 85-88, December 1948.
 121. DallaValle, J.M., "Determining Minimum Air Velocities for Exhaust Systems," *Heating, Piping and Air Conditioning*, 1932.
 122. Hatch, T.F., "Economy in the Design of Exhaust Systems."
 123. NIOSH Research Report #75-107, *Ventilation Requirements for Grinding, Buffing and Polishing Operations*.
 124. Hutcheson, J.R.M., "Environmental Control in the Asbestos Industry of Quebec," *C I MM Bulletin*, Vol. 64, No. 712, pp. 83-89, August 1971.
 125. Goldfield, J., and Brandt, F.E., "Dust Control Techniques in the Asbestos Industry," a paper presented at the A.I.H. Conference, Miami Beach, FL, May 12-17, 1974.
 126. Private Communications, Occupational Health Protection Branch, Ontario Ministry of Labour, October 1976.
 127. Hama, G.M., "Ventilation Control of Dust from Bagging Operations," *Heating and Ventilating*, p. 91, April 1948.
 128. Ventilation and Air Contracting Contractors Association of Chicago, *Testing and Balancing Manual for Ventilating and Air Conditioning Systems*, 228 N. LaSalle St., Chicago, IL, 1963.
 129. Langner, Ralph R., "How to Control Carcinogens in Chemical Production," *Occupational Health and Safety*, March-April 1977.
 130. Wright, Jr., D.K., "A New Friction Chart for Round Ducts," ASHVE Research Report No. 1280, *ASHVE Transactions*, Vol. 51, p. 303, 1945.
 131. Leith, David, First, Melvin K.W., and Feldman, Henry, "Performance of a Pulse-Jet at High Filtration Velocity II, Filter Cake Redeposition," *Journal of the Air Pollution Control Assoc.*, Vol. 27, p. 636, 1977.
 132. Beake, E., "Optimizing Filtration Parameters," *Journal of the Air Pollution Control Assoc.*, Vol. 24, p. 1150, 1974.
 133. Leith, David, Gibson, Dwight D., and First, Melvin W., "Performance of Top and Bottom Inlet Pulse-Jet Fabric Filters," *Journal of the Air Pollution Control Association*, Vol. 28, p. 696, July 1978.
 134. National Council on Radiation Protection and Measurements, *Basic Radiation Protection Criteria*, NCRP Report No. 39, January 15, 1971, 4201 Connecticut Ave., N.W., Washington, DC 20008.
 135. Rajhans, G.S., and Bragg, G.M., *Engineering Aspects of Asbestos Dust Control*, Ann Arbor Science Publications, Inc., Ann Arbor, MI, 1978.
 136. Caplan, K.J., and Knutson, G.W., "Laboratory Fume Hoods: A Performance Test," *ASHRAE Transactions*, Vol. 84, Part 1, 1978.
 137. Caplan, K.J., and Knutson, G.W., "Laboratory Fume Hoods: Influence of Room Air Supply," *ASHRAE Transactions*, Vol. 84, Part 2, 1978.
 138. Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Assoc., Inc., *Round Industrial Duct Construction Standards*, 1977, 8224 Old Courthouse Rd., Tysons Corner, Vienna, VA 22180.
 139. Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Assoc., Inc., *Rectangular Industrial Duct Construction Standards*, 8224 Old Courthouse Rd., Tysons Corner, Vienna, VA 22180.
 140. Air Movement and Control Association, Inc., 30 W. University Dr., Arlington Heights, IL 60004, AMCA Publication 201.
 141. Huebener, D.J., and Hughes, R.T.: "Development of Push-Pull Ventilation," *American Industrial Hygiene Assoc. Journal*, Vol. 46, pp. 262-267, 1985.
 142. Hughes, R.T., "Design Criteria for Plating Tank Push-Pull Ventilation," *Ventilation '85*, Elsevier Press, Amsterdam, 1986.
 143. Hughes, R.T., Unpublished data.
 144. Loeffler, J.J., "Simplified Equations for HVAC Duct Friction Factors," *ASHRAE Journal*, January 1980, pp. 76-79.
 145. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, *Guide and Data Book — Fundamentals and Equipment*, 1985.
 146. Air Moving and Control Association, Inc., AMCA Publication 203-81, *Field Performance Measurements*, 30 W. University Dr., Arlington Heights, IL 60004.

147. American Society of Mechanical Engineers, *Fluid Meters — Their Theory and Applications*, 1959.
148. Farant, J.P., McKinnon, D.L., and McKenna, T.A., "Tracer Gases as a Ventilation Tool: Methods and Instrumentation," *Ventilation '85 — Proceedings of the First International Symposium on Ventilation for Contaminant Control*, pp. 263-274, October 1-3, 1985, Toronto, Ont., Canada.
149. ASME Power Test Codes, Chapter 4, "Flow Measurement," P.T.C., 19.5:4-1959.
150. U.S. Dept. of Health, Education and Welfare, PHS, CDC, NIOSH, *The Industrial Environment — Its Evaluation and Control*, 1973.
151. U.S. Air Force, AFOSH Standard 161.2.
152. U.S. Dept. of Health and Human Services, PHS, CDC, NIOSH, *Occupational Exposure to Hot Environments, Revised Criteria*, 1986.
153. American Welding Society, (AWS D1.1-72), P.O. Box 351040, Miami, FL 33135.
154. Gibson, N., Lloyd, F.D., and Perry, G.R., *Fire Hazards in Chemical Plants from Friction Sparks Involving the Thermite Reaction*, Symposium Series No. 25, Instn. Chemical Engineers, London, 1968.
155. Air Movement and Control Association, Inc., *AMCA Standard 210-74*, 30 W. University Dr., Arlington Heights, IL 60004.
156. Hughes, R.T., and Amendola, A.A., "Recirculating Exhaust Air: Guides, Design Parameters and Mathematical Modeling," *Plant Engineering*, March 18, 1982.
157. U.S. Dept. of Health, Education and Welfare (NIOSH), *The Recirculation of Industrial Exhaust Air — Symposium Proceedings*, Pub. No. 78-141, 1978.
158. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, *Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants*, 6th ed., Chapters U and V, Cincinnati, OH, 1983.
159. Baturin, V.V., *Fundamentals Industrial Ventilation*, Pergamon Press, NY, 1972.
160. U.S. Public Health Service, *Air Pollution Engineering Manual*, Publication No. 999-AP-40, 1973.
161. Hampl, V., and Johnson, O.E.: "Control of Wood Dust from Horizontal Belt Sanding," *American Industrial Hygiene Assoc. Journal*, Vol. 46, No. 10, pp. 567-577, 1985.
162. Hampl, V., Johnston, O.E., and Murdock, D.M.: "Application of an Air Curtain Exhaust System at a Milling Process," *American Industrial Hygiene Assoc. Journal*, Vol. 49, No. 4, pp. 167-175, 1988.
163. Air Movement and Control Association, Inc., AMCA Publication 99-83, *Standards Handbook*, 30 W. University Dr., Arlington Heights, IL 60004.

*Se terminó de imprimir
en Artes Gráficas Soler, S. A.,
de la ciudad de Valencia,
el día 27 de mayo de 1992*