

Hormigón - Evaluación estadística de la resistencia mecánica

Preámbulo

El Instituto Nacional de Normalización, INN, es el organismo que tiene a su cargo el estudio y preparación de las normas técnicas a nivel nacional. Es miembro de la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) y de la COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS (COPANT), representando a Chile ante esos organismos.

La norma NCh1998 ha sido preparada por la División de Normas del Instituto Nacional de Normalización, y en su estudio participaron los organismos y las personas naturales siguientes:

Asociación Chilena de Elaboradores de
Hormigón Premezclado, ACHEP
Cementos Bío-Bío S.A.
Cemento Melón S.A.

Cemento Polpaico S.A.
CODELCO Chile, División El Teniente
Concretos READY MIX S.A.

Departamento de Investigaciones Científicas
y Tecnológicas, Universidad Católica de
Chile, DICTUC
Empresa Nacional de Electricidad S.A.,
ENDESA
Hormigones PETREOS S.A.
Hormigones PREMIX Ltda.

Rodrigo Amenábar
Arnoldo Bucarey C.
Hernán Medina
Pedro Pinto Q.
Patricio Downey A.
Alfredo Wolnitzky R.
Francisco Aldunate B.
Sergio Rojas I.

Carlos Ríos T.

Orlando Hofer P.
Carlos Ríos T.
Juan Carlos Henríquez V.

NCh1998

Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón

Instituto Nacional de Normalización, INN

Instituto Profesional de Santiago

Ministerio de Obras Públicas, Laboratorio
Nacional de Vialidad

Ministerio de Vivienda y Urbanismo, MINVU

Municipalidad de Santiago
Servicio Nacional de Obras Sanitarias,
SENDOS

Universidad Católica de Valparaíso
Universidad de Concepción

Universidad de Chile, Depto. Ingeniería
Civil

Universidad de Chile, Instituto de
Investigaciones y Ensayos de Materiales,
IDIEM

Universidad de Santiago
Universidad de Valparaíso
Universidad de la Frontera
Riffo M. Carlos

Javier I. Morales F.
José Miguel Walker G.
Pablo Carrillo V.
Hernán Pavez G.
Fernando Yáñez U.
M. Cecilia Soto
Armando Soto O.

Fernando Bonhomme C.
Mario Fernández R.
Francisco Osorio M.
Daniel Súnico H.
Jaime Téllez
Enrique Schlesinger S.

Luis Penco
Mario Espinoza B.
Eduardo Faúndez R.
Renato Vargas S.

Luis A. Rosenberg V.

Pablo Carrillo V.
Juan Egaña R.
Patricio Gálvez C.
Luis Madariaga V.
Italo Cicarelli S.
Carlos Riffo M.

Los anexos no forman parte del cuerpo de la norma, se insertan sólo a título informativo.

Esta norma ha sido aprobada por el Consejo del Instituto Nacional de Normalización, en sesión efectuada el 20 de Diciembre de 1988.

Esta norma ha sido declarada norma chilena Oficial de la República, por Decreto N°34, de fecha 15 de Marzo de 1989, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, publicado en el Diario Oficial N°33.342, de fecha 8 de Abril de 1989.

Esta norma es una *"reedición sin modificaciones"* de la norma chilena Oficial NCh1998.Of89, *"Hormigón - Evaluación estadística de la resistencia mecánica"*, vigente por Decreto N°34, de fecha 15 de Marzo de 1989, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Hormigón - Evaluación estadística de la resistencia mecánica

1 Alcance

1.1 Esta norma establece procedimientos de evaluación de la calidad del hormigón cuando la resistencia a compresión es la base de aceptación.

1.2 Los procedimientos de evaluación tienen por objeto determinar la conformidad de los resultados de la resistencia a compresión con respecto a la especificada y evaluar el nivel de control de ensayos.

1.3 Para los efectos de esta norma se supone que la resistencia a compresión del hormigón se distribuye en el lote de acuerdo a una curva normal.

2 Campo de aplicación

2.1 Los procedimientos de evaluación son aplicables a las muestras extraídas según un plan de muestreo al azar de hormigón fresco o endurecido.

2.2 Las probetas de hormigón deben ser fabricadas y conservadas de acuerdo a las normas chilenas respectivas.

3 Referencias

NCh170	Hormigón - Requisitos generales.
NCh171	Hormigón - Extracción de muestras del hormigón fresco.
NCh1017	Hormigón - Confección y curado en obra de probetas para ensayos de compresión y tracción.

NCh1998

NCh1018	Hormigón - Preparación de mezclas de prueba en laboratorio.
NCh1019	Hormigón - Determinación de la docilidad - Método del asentamiento del cono de Abrams.
NCh1037	Hormigón - Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas.
NCh1038	Hormigón - Ensayo de tracción por flexión.
NCh1170	Hormigón - Ensayo de tracción por hendimiento.
NCh1172	Hormigón - Refrentado de probetas.
NCh1564	Hormigón - Determinación de la densidad aparente, del rendimiento, del contenido de cemento y del contenido de aire del hormigón fresco.

4 Definiciones

4.1 Simbología

d_2	=	factor estadístico según el número de probetas n_0 que conforman cada muestra;
f_c	=	resistencia especificada a la rotura por compresión, en MPa;
f_i	=	resistencia individual de cada muestra, en MPa;
f_m	=	resistencia media del lote, en MPa;
f_3	=	resistencia media de cualquier grupo de 3 muestras consecutivas, en MPa;
f_0	=	límite inferior para la resistencia f_i de cada muestra, en MPa;
f_r	=	resistencia media requerida o de dosificación, en MPa;
MPa	=	megapascal;
k_1	=	constante de evaluación para f_3 , en MPa;
k_2	=	constante de evaluación para f_i , en MPa;
N	=	número total de muestras que representan al lote;
n_0	=	número de probetas que conforman una muestra;
R	=	intervalo de la muestra, en MPa;
$\bar{R}$	=	intervalo promedio, en MPa;

- s_1 = desviación normal de ensayos, en MPa;
- s = desviación normal de las resistencias individuales f_i , en MPa;
- t = factor estadístico según la fracción defectuosa y número de muestras;
- V_1 = coeficiente de variación promedio de las resistencias X_i entre probetas compañeras, en %;
- X_i = resistencia de una probeta, en MPa.

4.2 coeficiente de variación de ensayos, V_1 : porcentaje de la desviación normal de ensayos s_1 con respecto al promedio de las resistencias.

4.3 desviación normal de ensayos, s_1 : valor calculado en función del intervalo promedio $\bar{R}$ de resistencias entre probetas compañeras y el número n_0 de ellas.

4.4 desviación normal de las resistencias f_i , s : es la raíz cuadrada del cociente entre la suma de los cuadrados de la diferencia de cada resistencia f_i respecto al promedio f_m , y $N-1$.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=N} (f_i - f_m)^2}{N - 1}} \text{ (MPa)}$$

4.5 fracción defectuosa: fracción del total del lote, expresada en porcentaje o en fracción decimal, con resistencias menores que un valor especificado.

4.6 intervalo R: es la diferencia entre la resistencia X_i mayor y menor de una muestra, en MPa.

4.7 lote: volumen de hormigón de igual grado, representado por N muestras, que se somete a evaluación en forma parcial o total, de acuerdo a lo establecido en la presente norma y en la especificación particular de la obra.

4.8 muestra: fracción de hormigón extraída del lote de acuerdo con la norma NCh171 o testigo de hormigón endurecido.

4.9 muestreo al azar: es aquel en que cada fracción del lote tiene igual probabilidad de ser elegida.

4.10 resistencia de ensayo, X_i : resistencia mecánica de una probeta, en MPa.

4.11 resistencia individual, f_i : valor representativo de una muestra. Resultado, en MPa.

$$f_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n_o} X_i}{n_o}$$

4.12 resistencia media, f_m : promedio aritmético de los resultados de la resistencia mecánica del hormigón de un mismo lote, en MPa

$$f_m = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} f_i}{N}$$

4.13 resistencia mínima, f_o : límite inferior exigido para las resistencias individuales f_i , en MPa.

5 Procedimiento de evaluación

5.1 Plan de muestreo

5.1.1 El plan de muestreo debe quedar establecido en la norma de diseño o en la especificación particular de la obra.

NOTA - Ver anexo C - Procedimiento para seleccionar al azar muestras de hormigón.

5.1.2 Si el plan de muestreo para el hormigón fresco no está especificado, deberá usarse por lo menos, lo indicado en la tabla 1.

Tabla 1 - Plan de muestreo mínimo para hormigón fresco

Procedencia del hormigón	Volumen de hormigón de la obra, m ³	
	> 250	≤ 250
Fabricado en obra		
Volumen máximo de hormigón por muestra	100	50
Número mínimo de muestras	5	3
De central hormigonera		
Volumen máximo de hormigón por muestra	150	75
Número mínimo de muestras	5	3

NOTA - En una obra con un hormigón de grado igual o inferior a H15 y cuyo volumen total sea igual o menor a 50 m³, el Profesional responsable del proyecto puede sustituir los ensayos de resistencia mecánica por el control de docilidad según NCh1019 y el control de rendimiento según NCh1564, por cada 10 m³ de hormigón.

5.1.3 Si se ha establecido la necesidad de realizar un muestreo del hormigón endurecido y éste no se encuentra definido en las especificaciones debe considerarse, como mínimo, lo indicado en la tabla 2.

Tabla 2 - Plan de muestreo mínimo del hormigón endurecido

Hormigón de pavimentos	1	testigo cada 1 000 m ² de superficie con un mínimo de tres
Hormigones en general	3	testigos por zona a evaluar

5.2 Evaluación de los resultados de la resistencia mecánica

Esta norma entrega dos métodos de evaluación para el lote:

- por grupos de muestras consecutivas (sólo si $N \geq 10$);
- por el total de muestras.

El método elegido deberá quedar estipulado en las especificaciones particulares de la obra o en la norma de diseño correspondiente. En ausencia de ello deberá adoptarse el método de evaluación por muestras consecutivas, salvo que el número total de muestras del lote sea inferior a diez, en cuyo caso se debe emplear el método de evaluación por el total de muestras.

5.2.1 Evaluación del lote por parcialidades mediante grupos de muestras consecutivas

Se considera que la resistencia de cada parcialidad del lote de hormigón es satisfactoria, si se cumplen las siguientes condiciones simultáneamente:

$$a) \quad f_3 \geq f_c + k_1$$

$$b) \quad f_i \geq f_o = f_c - k_2$$

en que:

f_3 = resistencia media de las tres muestras consecutivas correspondientes a cada parcialidad del lote de hormigón, en MPa;

f_c = resistencia especificada a la rotura por compresión, en Mpa;

f_i = resistencia individual de cada muestra, en MPa;

f_o = límite inferior para la resistencia f_i de cada muestra, en MPa;

k_1 y k_2 = constantes de evaluación (ver tabla 3).

Tabla 3 - Constantes de evaluación, MPa

Fracción defectuosa aceptada, %	Grado de hormigón				
		H5	H10	H15	H20 o superior
5	k_1	0,3	0,5	0,8	1,0
	k_2	0,6	1,2	1,9	2,5
10	k_1	0	0	0	0
	k_2	0,9	1,7	2,6	3,5
20	k_1	- 0,4	- 0,7	- 1,1	- 1,5
	k_2	1,4	2,7	4,1	5,5

NOTA - Las constantes indicadas se aplicarán tanto para probetas cúbicas como cilíndricas.

5.2.2 Evaluación del lote considerando el total de muestras

Se considera que la resistencia de un determinado lote de hormigón es satisfactoria, si se cumplen las siguientes condiciones simultáneamente:

$$a) \quad f_m \geq f_c + s \cdot t$$

$$b) \quad f_i \geq f_o = f_c - k_2$$

en que:

f_m = resistencia media del lote, en MPa;

f_c = resistencia especificada a la rotura por compresión, en MPa;

s = desviación normal de las resistencias individuales f_i , en MPa;

t = factor estadístico (ver tabla 4);

f_i = resistencia individual de cada muestra, en MPa;

f_o = límite inferior para la resistencia f_i de cada muestra, en MPa;

f_c = resistencia especificada a la rotura por compresión, en MPa;

k_2 = constante de evaluación (ver tabla 3).

Tabla 4 - Factor estadístico, t

Número de muestras	Fracción defectuosa, %		
	5	10	20
3	2,920	1,886	1,061
4	2,353	1,638	0,978
5	2,132	1,533	0,941
6	2,015	1,476	0,920
7	1,943	1,440	0,906
8	1,895	1,415	0,896
9	1,860	1,397	0,889
10	1,833	1,383	0,883
11	1,812	1,372	0,879
12	1,796	1,363	0,876
13	1,782	1,356	0,873
14	1,771	1,350	0,870
15	1,761	1,345	0,868
16	1,753	1,341	0,866
17	1,746	1,337	0,865
18	1,740	1,333	0,863
19	1,734	1,330	0,862
20	1,729	1,328	0,861
21	1,725	1,325	0,860
22	1,721	1,323	0,859
23	1,717	1,321	0,858
24	1,714	1,319	0,858
25	1,711	1,318	0,857
26	1,708	1,316	0,856
27	1,706	1,315	0,856
28	1,703	1,314	0,855
29	1,701	1,313	0,855
30 ó más	1,645	1,282	0,842

5.3 Evaluación del nivel de control de ensayos

5.3.1 Esta evaluación se realizará solamente si se dispone por lo menos de diez muestras distintas de hormigón, con resultados de ensayos de dos o más probetas cada una.

5.3.2 Calcular el intervalo promedio $\bar{R}$:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} R_i}{N}$$

5.3.3 Calcular la desviación normal de ensayos de acuerdo con la expresión:

$$s_1 = \bar{R}/d_2$$

en que los valores de d_2 , están indicados en la tabla 5, según el número de probetas n_0 , que conforman la muestra.

Tabla 5 - Factor para el cálculo de la desviación normal de ensayos

Número de probetas, n_0	d_2
2	1,128
3	1,693
4	2,059
5	2,326
6	2,534

5.3.4 Calcular el coeficiente de variación del ensayo V_1 , de acuerdo a la expresión:

$$V_1 = \frac{s_1}{f_m} \cdot 100 (\%)$$

en que f_m es la resistencia media del lote.

5.3.5 Calificar el nivel de control de ensayos comparando el valor obtenido de V_1 con los que se entregan en la tabla 6.

Tabla 6 - Evaluación del nivel de control de ensayos

V_1 , (%)	Nivel de control de ensayos
$0 \leq V_1 \leq 3,0$	Excelente
$3,0 < V_1 \leq 4,0$	Muy bueno
$4,0 < V_1 \leq 5,0$	Bueno
$5,0 < V_1 \leq 6,0$	Aceptable
$6,0 < V_1$	Deficiente

5.3.6 En el caso que V_1 resulte mayor que 6%, es decir que el nivel de control de ensayos sea deficiente, se deberá emplear otro procedimiento para evaluar o verificar la resistencia del hormigón.

5.3.7 Se podrá evaluar el nivel de control de ensayos para sublotes de no menos de diez muestras consecutivas, reemplazando en las fórmulas indicadas el valor de N por el número de muestras del sub lote y f_m por la resistencia media del sub lote.

5.3.8 En cuando a las responsabilidades inherentes al control de ensayos deficiente, el afectado podrá informar a la Autoridad Pública que corresponda.

6 Incumplimiento

6.1 En el caso que el lote de hormigón sometido a evaluación no cumpla con los requisitos de la presente norma, se tomarán las medidas establecidas en las especificaciones particulares de la obra y la norma de diseño correspondiente. En ausencia de ellas, se podrán aplicar las medidas recomendadas en el anexo A de la presente norma.

7 Informe

7.1 El informe debe contener al menos lo siguiente:

- a) identificación del lote de hormigón evaluado;
- b) norma y especificación del hormigón;
- c) procedimiento de evaluación empleado;
- d) número total de muestras consideradas;
- e) resultados de la evaluación;

NCh1998

- f) calificación del nivel de control de ensayos;
- g) referencia a la presente norma;
- h) cualquier otra información que se considere pertinente.

Anexo A (Informativo)

Recomendaciones derivadas de la evaluación

A.1 Campo de aplicación

En este anexo se señalan las medidas que se recomienda tomar ante las distintas situaciones que pueden originarse por el cumplimiento o incumplimiento de los criterios de evaluación establecidos en 5.2.1 y 5.2.2 de la presente norma.

A.2 Evaluación por grupos de muestras consecutivas

Las condiciones que deben cumplir los resultados de resistencia del hormigón según 5.2.1 son:

a) $f_3 \geq f_c + k_1$

b) $f_i \geq f_o = f_c - k_2$

Tabla 7

Antecedentes		Conclusiones	Recomendaciones
$f_3 \geq f_c + k_1$	$f_i \geq f_o$	El hormigón cumple la resistencia especificada	
$f_3 < f_c + k_1$	$f_1 \geq f_o$	El hormigón no cumple la resistencia especificada	Informar a los Proyectistas Estructurales y considerar las penalizaciones establecidas en el Contrato y sus Documentos anexos.
$f_i < f_o$		El hormigón no cumple la resistencia especificada y cada resultado defectuoso debe ser considerado como un riesgo potencial	Adoptar las medidas indicadas en A.4

A.3 Evaluación considerando el total de muestras

Las condiciones que deben cumplir los resultados de resistencia del hormigón según 5.2.2 son:

a) $f_m \geq f_c + s \cdot t$

b) $f_i \geq f_o = f_c - k_2$

Tabla 8

Antecedentes		Conclusiones	Recomendaciones
$f_m \geq f_c + s \cdot t$	$f_i \geq f_o$	El hormigón cumple la resistencia especificada	
$f_m < f_c + s \cdot t$	$f_i \geq f_o$	El hormigón no cumple la resistencia especificada	Informar a los Proyectistas Estructurales y considerar las penalizaciones establecidas en el Contrato y sus Documentos anexos.
$f_i < f_o$		El hormigón no cumple la resistencia especificada y cada resultado defectuoso debe ser considerado como un riesgo potencial	Adoptar las medidas indicadas en A.4

A.4 Investigación de los resultados defectuosos

A.4.1 En el caso de resistencias individuales f_i menores que el límite inferior f_o , existe riesgo con respecto a la seguridad estructural y el hormigón afectado debe ser sometido a la investigación que ordenen los proyectistas.

A.4.2 Sin perjuicio de lo anterior, es recomendable que se considere entre otras posibilidades, las siguientes acciones:

- comprobar la validez del ensayo;
- identificar la zona comprometida;
- inspeccionar visualmente la zona y dejar constancia de los eventuales errores de colocación del hormigón;
- realizar ensayos por métodos no destructivos; y/o
- extraer testigos del hormigón endurecido.

A.4.3 Testigos

En caso de utilizar este recurso, se debe extraer, como mínimo, tres testigos por cada resultado f_i defectuoso investigado. El hormigón se considera aceptable si el promedio aritmético de los tres testigos es igual o superior a $0,85 f_c$ y cada resultado individual es igual o superior a $0,75 f_c$.

A.4.4 Si la investigación confirma la existencia de hormigones defectuosos, el propietario de la obra adoptará las medidas que indiquen los Proyectistas Estructurales, algunas de las cuales pueden ser las siguientes:

- rechazo del hormigón y exigencia de demolición y reposición;
- aceptación del hormigón, condicionada a su reparación y/o refuerzo;
- aceptación del hormigón sujeto a penalizaciones.

Anexo B
(Informativo)

Evaluación de los resultados de ensayos de tracción por flexión o por hendimiento

B.1 Cuando se requiera evaluar la calidad del hormigón en base a los resultados de ensayos de tracción por flexión o por hendimiento, se podrán aplicar los mismos métodos de evaluación establecidos en 5.2 de esta norma.

B.2 Para ello, en las expresiones que aparecen en dicho párrafo deberá reemplazarse la resistencia especificada a la rotura por compresión (f_c) por la correspondiente a tracción por flexión (f_f) o por hendimiento (f_h) en MPa, según corresponda. Así mismo, las constantes k_1 y k_2 tendrán los siguientes valores, considerando una fracción defectuosa aceptada del 20%.

$$k_1 = - 0,2 \text{ MPa}$$

$$k_2 = 0,7 \text{ MPa}$$

B.3 Los valores de las constantes provienen de los antecedentes aportados por el Laboratorio Nacional de Vialidad.

Anexo C

(Informativo)

Procedimiento para seleccionar al azar muestras de hormigón

C.1 Alcance

C.1.1 Este anexo establece un criterio para seleccionar una muestra de hormigón basada en el azar.

C.1.2 El muestreo se realiza siguiendo una ordenación de números al azar.

C.2 Campo de aplicación

C.2.1 Este procedimiento es aplicable para seleccionar la muestra de hormigón, sea, eligiendo una amasada, un camión, un m³ determinado, o la hora de fabricación.

C.2.2 También es aplicable para ubicar el punto en que se debe extraer un testigo de hormigón endurecido en un pavimento.

NOTA - Para el caso de testigos en otro tipo de construcción, como edificación, puentes, etc. la elección del punto debe corresponder al área fijada por el Ingeniero Proyectista.

C.3 Procedimiento

C.3.1 Tabla de números al azar

C.3.1.1 La tabla 7 es una distribución de números al azar de carácter decimal, cuya primera columna es una ordenación numérica correlativa de 1 a 100 para seguir el plan de muestreo.

C.3.1.2 La columna A se aplica para solucionar el muestreo de hormigón fresco a partir de volúmenes, tonelajes, unidades de producción o tiempo cronológico.

C.3.1.3 La columna B se aplica para seleccionar el punto de extracción del testigo de un pavimento a partir de distancias lineales fijando la coordenada D (costado derecho) o I (costado izquierdo) de la faja.

C.3.2 Aplicaciones de la tabla

C.3.2.1 Para cualquier plan de muestreo, elegir previamente el número de orden del muestreo, sea el 1 o cualquier otro número entre 1 a 100. Una vez elegido el número de partida, se prosigue correlativamente con los siguientes números de orden. Cuando se llega al número 100 se vuelve al número 1.

(Esta tabla está tomada del Manual ACI. Manual of Concrete Inspection)

Tabla 9 - Extracción al azar en números decimales

Número de orden	Número al azar		Número de orden	Número al azar	
	A	B		A	B
1	0,4721	D - 0,2091	51	0,6985	I - 0,8336
2	0,6936	I - 0,3182	52	0,3410	I - 0,5636
3	0,6112	D - 0,2909	53	0,5937	D - 0,3727
4	0,7930	D - 0,8908	54	0,6912	D - 0,4545
5	0,0652	I - 0,4818	55	0,0318	D - 0,7272
6	0,4604	I - 0,2091	56	0,1303	D - 0,8090
7	0,0167	I - 0,3727	57	0,6993	D - 1,0000
8	0,0077	D - 0,6181	58	0,3886	D - 0,7817
9	0,6777	D - 0,8636	59	0,0312	D - 0,8090
10	0,8010	I - 0,8362	60	0,0166	D - 0,5909
11	0,3027	I - 0,3454	61	0,4609	I - 0,4000
12	0,9831	I - 0,2364	62	0,0893	I - 0,9726
13	0,7159	D - 0,6181	63	0,4542	I - 0,1545
14	0,3609	D - 0,6454	64	0,9363	D - 0,1000
15	0,8915	I - 0,2636	65	0,8183	D - 0,5636
16	0,6442	D - 0,3182	66	0,9401	I - 0,5091
17	0,1904	D - 0,1818	67	0,5967	I - 0,9726
18	0,6074	D - 0,8908	68	0,7547	D - 0,2636
19	0,7522	D - 0,9181	69	0,0101	D - 0,2909
20	0,7041	I - 0,8362	70	0,2896	I - 0,8362
21	0,5102	D - 0,2364	71	0,8011	D - 0,6454
22	0,2471	I - 0,3182	72	0,6718	I - 0,6454
23	0,5693	I - 0,5636	73	0,5567	I - 0,1818
24	0,8583	D - 0,4545	74	0,0481	I - 0,2636
25	0,3093	D - 0,1818	75	0,4266	I - 0,9454
26	0,9144	D - 0,9181	76	0,3941	D - 0,5636
27	0,7944	I - 0,5909	77	0,9876	I - 0,7545
28	0,8725	D - 0,2636	78	0,6313	D - 0,7272
29	0,0135	D - 0,8908	79	0,6803	D - 0,3182
30	0,2044	D - 0,7272	80	0,7955	I - 0,9726
31	0,2517	I - 0,2909	81	0,7399	D - 0,8080
32	0,2763	I - 0,8090	82	0,9328	I - 0,5909
33	0,0314	D - 0,4818	83	0,1507	I - 0,4000
34	0,9560	I - 1,0000	84	0,3087	D - 0,3182
35	0,4622	D - 0,4000	85	0,7513	I - 0,1818
36	0,1327	I - 0,7817	86	0,6469	D - 0,4818
37	0,6922	I - 0,5636	87	0,2536	D - 0,7445
38	0,0010	I - 0,1273	88	0,1488	D - 0,1818
39	0,7609	D - 0,2091	89	0,9411	I - 0,5636
40	0,5457	I - 0,1000	90	0,0571	D - 1,0000
41	0,3115	I - 0,4000	91	0,4797	D - 0,9454
42	0,3377	D - 0,8362	92	0,0866	D - 0,4272
43	0,5651	I - 0,1545	93	0,2889	D - 0,1273
44	0,4742	D - 0,6727	94	0,4783	I - 0,7000
45	0,9483	I - 0,4000	95	0,0304	D - 0,9181
46	0,2951	D - 0,0451	96	0,8945	D - 0,4515
47	0,0441	I - 0,1273	97	0,4499	D - 0,2081
48	0,9143	I - 0,1273	98	0,9209	I - 0,9454
49	0,5723	I - 0,8362	99	0,5827	I - 0,5636
50	0,6069	D - 0,4000	100	0,4560	I - 0,8908

C.3.2.2 Muestreo al azar para extraer n muestras por lote de hormigón

Cuando se especifica que se deben extraer n muestras por lote de hormigón, el procedimiento es el siguiente:

- Elegir el número de orden inicial y los números sucesivos que formarán el lote, registrando los números al azar correspondientes, de la tabla 7.
- Calcular el tamaño de cada sublote, expresándolo en número de amasadas o camionadas, como sigue:

$$M = \frac{V}{C \cdot N}$$

en que:

M = número de amasadas o camiones del sublote;

V = volumen de hormigón del proyecto, m^3 ;

C = capacidad del mezclador o del camión, m^3 ;

N = número de muestras del lote.

- Seleccionar la amasada o el camión según:

$$m = (A \cdot M) + P$$

en que:

m = amasada o camión elegido para extraer la muestra;

A = número al azar correspondiente al número de orden;

P = valor numérico de la amasada o camión inicial de cada sublote.

El valor de P es = 0, M, 2M, 3M ...etc.

- Llevar un registro numérico visible de las amasadas fabricadas o camiones transportados.

C.3.2.3 Muestreo al azar para extraer una muestra por volumen especificado de hormigón

Cuando se especifica que se debe extraer una muestra cada cierto volumen de hormigón, el procedimiento es el siguiente:

- a) Calcular previamente el número total n de muestras a extraer del volumen total de hormigón del proyecto según:

$$N = \frac{V}{v}$$

en que:

N = número total de muestras a extraer;

v = volumen de hormigón especificado por muestra, m^3 ;

V = volumen total de hormigón del proyecto, m^3 .

- b) Aplicar las secuencias a), b), c) y d), en forma similar al punto C.3.2.2.

C.3.2.4 Muestreo al azar para extraer una muestra diaria

Cuando se especifica que se debe extraer una muestra diaria, el procedimiento es el siguiente:

- a) Elegir el número de orden de partida y sucesivos y los correspondientes números al azar de la tabla 7 para cada día de la semana.
- b) Calcular el momento de extracción de la muestra, en min, según:

$$t = A \cdot H \cdot 60$$

en que:

t = tiempo en min, aproximado a la unidad;

A = número al azar de cada día;

H = número de horas de la jornada diaria de producción, horas.

- c) Determinar la hora exacta de extracción de la muestra, según:

$$T = \frac{t}{60} + T_0$$

en que:

T = hora del muestreo, en h-min;

T_o = hora de comienzo de la jornada diaria, h.

NOTA - Se acepta que cuando la hora de muestreo cae dentro de una interrupción de la producción (almuerzo, fallas de equipo, etc.) el muestreo se efectúa desplazado en el tiempo de interrupción.

C.3.2.5 Muestreo al azar para extraer testigos de un pavimento

Cuando se especifica que se debe extraer un testigo por área especificada de pavimento, el procedimiento para determinar las coordenadas del punto de extracción, es el siguiente:

- Elegir el número de orden inicial y sucesivos, y sus correspondientes números al azar de la tabla 7.
- Calcular el número total de testigos a extraer por faja en el tramo, según:

$$N_t = \frac{a \cdot L}{S}$$

en que:

N_t = número total de testigos a extraer;

a = ancho de la faja, m;

L = longitud total del tramo, m;

S = área especificada por testigo, m².

- Calcular la longitud del sublote por testigo, según:

$$d = \frac{L}{N_t}$$

en que:

d = longitud del sublote, m.

- Determinar la coordenada longitudinal, aplicando el número al azar A de la tabla 7, según:

$$X = (d \cdot A) + P$$

NCh1998

en que:

X = distancia desde el punto de partida del tramo o del lote, m;

A = número al azar del sublote;

P = valor numérico, en m, siendo:

$P = 0, d, 2d, 3d, \dots$ etc. para cada sublote.

e) Determinar la coordenada transversal, aplicando el número al azar B, D o I, de la tabla 7, como sigue:

i) cuando resulte el borde derecho D:

$$y = a \cdot B_D$$

ii) cuando resulte el borde izquierdo I:

$$y = a - (a \cdot B_I)$$

en que:

y = distancia desde el borde derecho de la faja, m;

B_D = número al azar, borde derecho D;

B_I = número al azar, borde izquierdo I.

NOTAS:

- 1) El punto de la coordenada y , se mide siempre a partir del borde derecho.
- 2) Cuando cualquier punto de las coordenadas resulte a una distancia menor de 0,30 m del borde en el caso de y , o de una junta de trabajo en el caso de x , la extracción se debe desplazar en la misma línea a 0,30 m del borde o de la junta o como mínimo al doble del diámetro de la sonda extractora.

Anexo D (Informativo)

Ejemplo de aplicación de los métodos de evaluación

D.1 Antecedentes para la evaluación

- Grado del hormigón : H25.
- Resistencia a la compresión especificada f_c : 25 MPa.
- Fracción defectuosa aceptada: 10%.
- Número de probetas que conforman cada muestra, n_o : 3.
- Número total de muestras que representan al lote, N: 40.

D.2 Resultados

Tabla 10 Resistencia de las probetas. Cálculos de f_i , R_i , f_3 , $\overline{R_{10}}$, f_{10} , s_{1i} , V_{1i} . (Ver tabla 10 en página siguiente).

D.3 Evaluación de los resultados de la resistencia mecánica

D.3.1 Caso en que se evalúa el lote por parcialidades mediante grupos de muestras consecutivas

Condiciones:

- a) $f_3 \geq f_c - k_1$
- b) $f_i \geq f_o = f_c - k_2$
 $f_c = 25 \text{ MPa}$
 $k_1 = 0 \text{ MPa (tabla 3)}$
 $k_2 = 3,5 \text{ MPa (tabla 3)}$

- a) $f_3 \geq 25 \text{ MPa}$: según tabla 10, esta condición no la cumplen los grupos de muestras (6; 7 y 8), (7; 8 y 9) y (8; 9 y 10), (ver gráfico).
- b) $f_i \geq 25 - 3,5 = 21,5 \text{ MPa}$: según tabla 10, esta condición no la cumple la muestra 8.

Conclusión:

La resistencia de las parcialidades indicadas del lote, no son satisfactorias.

Tabla 10 - Resistencia de las probetas

Mues- tra N°	X1 MPa	X2 MPa	X3 MPa	f _i MPa	R _i MPa	f ₃ MPa	$\bar{R}_{10}$ MPa	f ₁₀ MPa	s _{1i} MPa	V _{1i} %
1	28,3	27,5	27,1	27,6	1,2					
2	29,2	31,1	30,0	30,1	1,9					
3	33,7	32,6	31,8	32,7	1,9	30,1				
4	32,1	28,7	28,7	29,8	3,4	30,9				
5	28,6	29,7	27,3	28,5	2,4	30,3				
6	25,8	26,4	25,3	25,8	1,1	28,0				
7	23,1	23,4	21,1	22,5	2,3	25,6				
8	20,2	21,7	20,1	20,7	1,6	23,0				
9	26,3	25,0	28,0	26,4	3,0	23,2				
10	25,4	24,8	26,3	25,5	1,5	24,2	2,0	27,0	1,18	4,4
11	28,6	26,3	27,1	27,3	2,3	26,4	2,1	26,9	1,24	4,6
12	28,6	29,5	28,0	28,7	1,5	27,2	2,1	26,8	1,24	4,6
13	29,0	30,8	30,1	30,0	1,8	28,7	2,1	26,5	1,24	4,7
14	29,9	30,5	30,0	30,1	0,6	29,6	1,8	26,6	1,06	4,0
15	31,2	30,0	31,0	30,7	1,2	30,3	1,7	26,8	1,00	3,7
16	28,6	29,2	28,0	28,6	1,2	29,8	1,7	27,1	1,00	3,7
17	27,5	28,8	27,1	27,8	1,7	29,0	1,6	27,6	0,95	3,4
18	29,1	28,2	28,0	28,4	1,1	28,3	1,6	28,4	0,95	3,3
19	31,1	33,0	34,0	32,7	2,9	29,6	1,6	29,0	0,95	3,3
20	29,6	31,2	30,0	30,3	1,6	30,5	1,6	29,5	0,95	3,2
21	28,5	27,5	29,5	28,5	2,0	30,5	1,6	29,6	0,95	3,2
22	26,3	25,0	25,0	25,4	1,3	28,1	1,5	29,3	0,89	3,0
23	25,1	26,6	27,0	26,2	1,9	26,7	1,6	28,9	0,95	3,3
24	29,3	28,6	30,3	29,4	1,7	27,0	1,7	28,8	1,00	3,5
25	27,8	28,8	29,1	28,6	1,3	28,1	1,7	28,6	1,00	3,5
26	32,5	33,4	31,5	32,5	1,9	30,2	1,7	29,0	1,00	3,4
27	32,1	30,0	33,4	31,8	3,4	31,0	1,9	29,4	1,12	3,8
28	30,0	32,5	31,8	31,4	2,5	31,9	2,1	29,7	1,24	4,2
29	32,2	33,0	30,0	31,7	3,0	31,6	2,1	29,6	1,24	4,2
30	25,0	22,0	23,5	23,5	3,0	28,9	2,2	28,9	1,30	4,5
31	26,4	28,1	28,8	27,8	2,4	27,7	2,2	28,8	1,30	4,5
32	34,5	32,0	32,8	33,1	2,5	28,1	2,4	29,6	1,42	4,8
33	29,2	30,8	31,0	30,3	1,8	30,4	2,4	30,0	1,42	4,7
34	30,6	32,5	33,0	32,0	2,4	31,8	2,4	30,3	1,42	4,7
35	30,0	28,6	29,1	29,2	1,4	30,5	2,4	30,3	1,42	4,7
36	31,2	33,4	34,5	33,0	3,3	31,4	2,6	30,4	1,54	5,1
37	31,7	33,2	31,9	32,3	1,5	31,5	2,4	30,4	1,42	4,7
38	29,8	30,2	31,0	30,3	1,2	31,9	2,3	30,3	1,36	4,5
39	32,3	32,8	30,0	31,7	2,8	31,4	2,2	30,3	1,30	4,3
40	29,8	30,2	31,5	30,5	1,7	30,8	2,1	31,0	1,24	4,0

D.3.2 Caso en que se evalúa el lote considerando el total de muestras**Condiciones:**

$$a) \quad f_m \geq f_c + s \cdot t$$

$$b) \quad f_i \geq f_o = f_c - k_2$$

$$f_c = 25 \text{ MPa}$$

$$s = 2,9 \text{ MPa}$$

$$t = 1,282 \text{ (tabla 4)}$$

$$f_m = 29,1 \text{ MPa}$$

$$a) \quad 29,1 \text{ MPa} > 25 + 2,9 \cdot 1,282 = 28,7 \text{ MPa: el lote cumple con esta condición.}$$

$$b) \quad f_i > 21,5 \text{ MPa: según tabla 10, esta condición no la cumple la muestra 8.}$$

Conclusión:

La resistencia del lote considerado no es satisfactoria.

D.3.3 Para los casos de "*No cumplimiento*", se debe proceder a aplicar lo establecido en capítulo 6 de la norma.

D.4 Evaluación del nivel de control de ensayos**D.4.1 Evaluación por grupos de 10 ensayos consecutivos**

Según tabla 10, ninguno de los valores de V_{1i} supera el valor de 6% límite sobre el cual se califica el nivel de control de ensayos como deficiente.

D.4.2 Evaluación considerando el total de ensayos

$$\bar{R} = \frac{1}{40} \sum_{i=1}^{i=40} R_i = 1,98 \text{ MPa}$$

$$s_1 = \bar{R}/d_2$$

$$d_2 = 1,693 \text{ (tabla 5)}$$

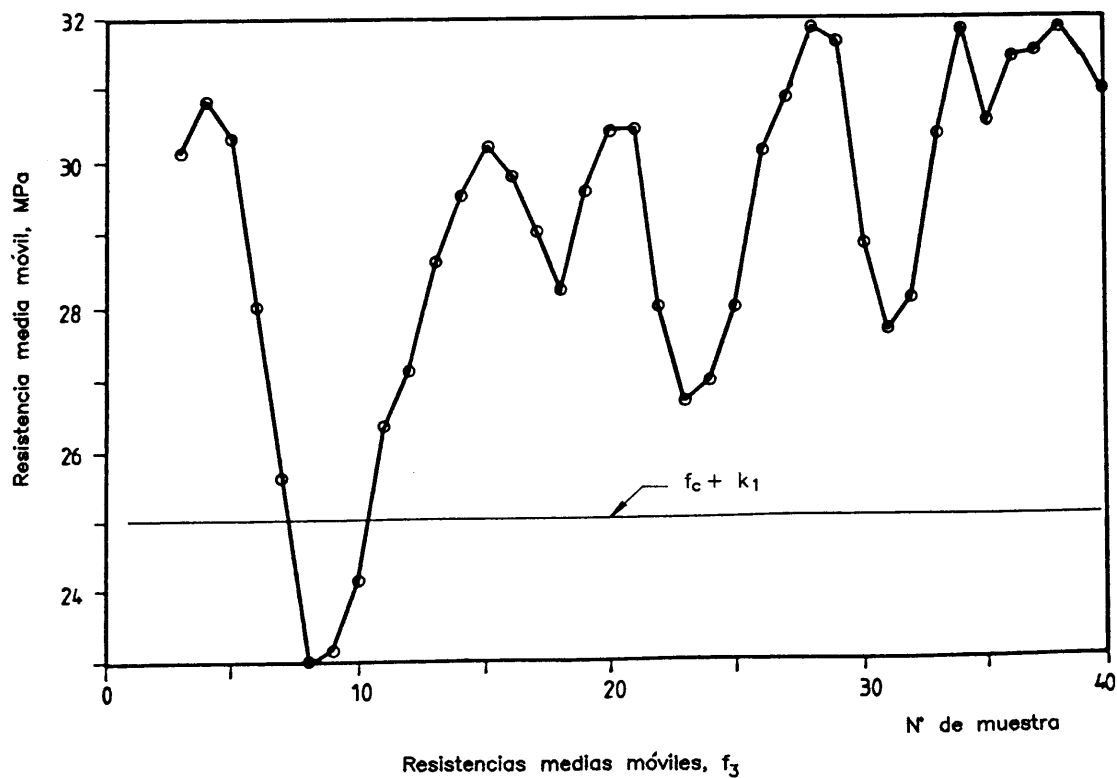
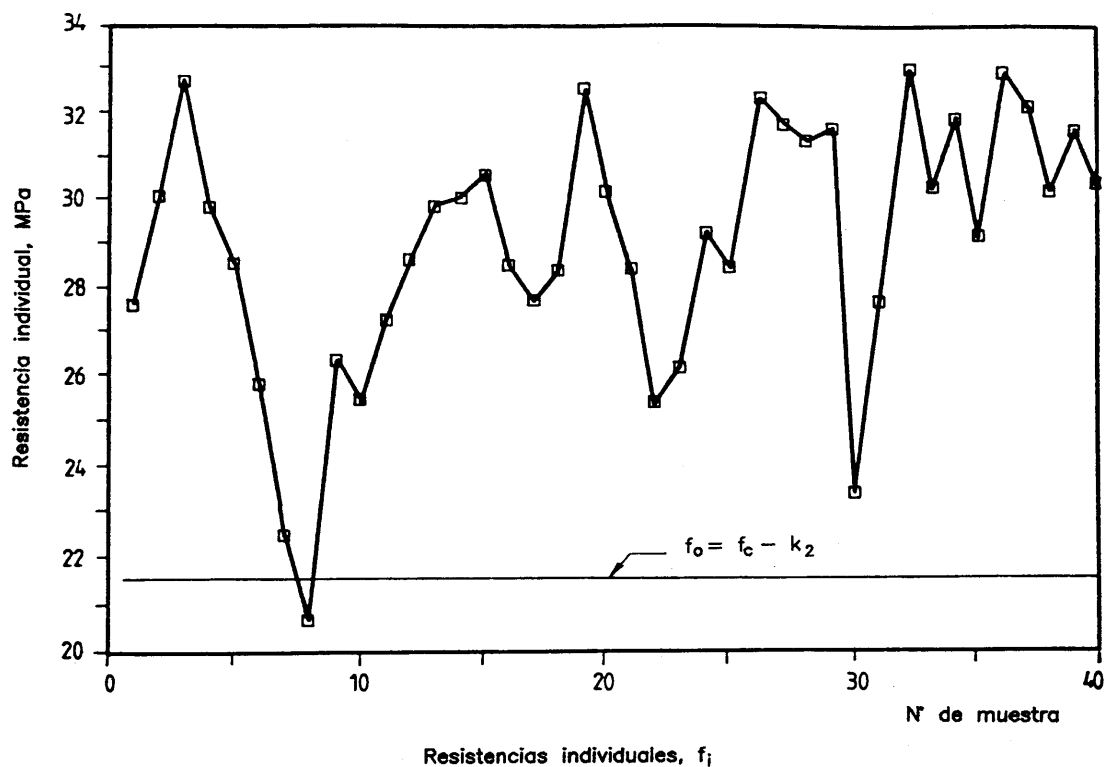
$$s_1 = 1,98/1,693 = 1,17 \text{ Mpa}$$

NCh1998

$$V_1 = (s_1/f_m) \cdot 100$$

$$V_1 = (1,17/29,1) \cdot 100 = 4,0\%: \text{según tabla 6, se califica el nivel de control de ensayos como "Muy bueno".}$$

Evaluación de la resistencia mecánica (según tabla 10)



NORMA CHILENA OFICIAL

***NCh* 1998.Of89**

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION • INN-CHILE

Hormigón - Evaluación estadística de la resistencia mecánica

Concrete - Statistical evaluation of strenght

Primera edición : 1989

Reimpresión : 2000

Descriptores: *hormigón, evaluación estadística, resistencia mecánica, resistencia a la compresión, cálculos matemáticos*

CIN 91.100.30

COPYRIGHT © 1989 : INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION - INN

* Prohibida reproducción y venta *

Dirección : Matías Cousiño N° 64, 6° Piso, Santiago, Chile

Casilla : 995 Santiago 1 - Chile

Teléfonos : + (56 2) 441 0330 • Centro de Documentación y Venta de Normas (5° Piso) : + (56 2) 441 0425

Telefax : + (56 2) 441 0427 • Centro de Documentación y Venta de Normas (5° Piso) : + (56 2) 441 0429

Internet : inn@entelchile.net

Miembro de : ISO (International Organization for Standardization) • COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas)