

Manual de experimentos

WL 220 Proceso de
 evaporación/PC

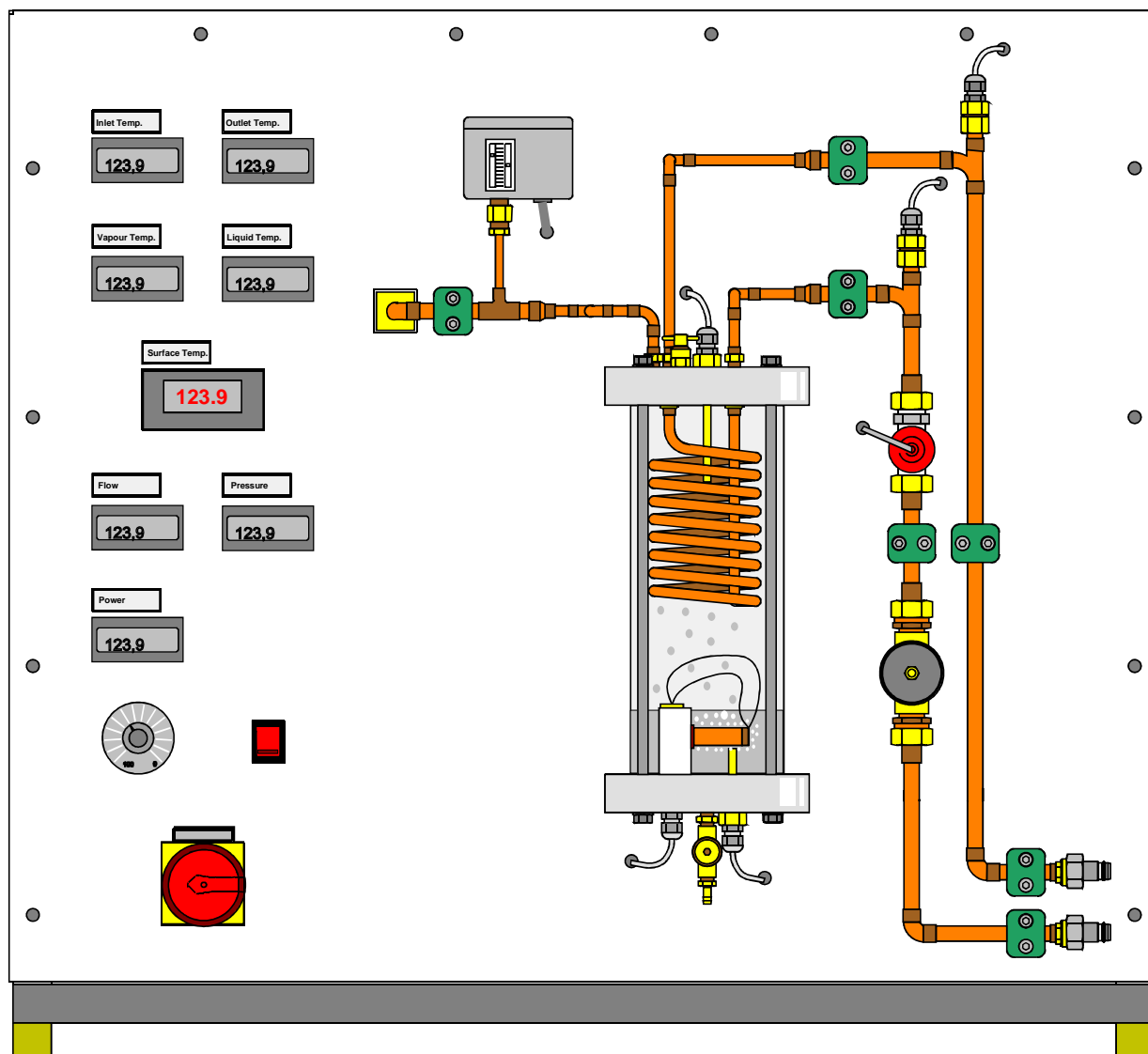
G.U.N.T. Gerätebau GmbH

Fahrenberg 14

D-22885 Barsbüttel • Alemania

Teléfono +49 (40) 670854-0

Telefax +49 (40) 670854-42



Manual de experimentos

¡Antes de la primera puesta en marcha del equipo lea atentamente las medidas de seguridad!

¡El equipo sirve exclusivamente para educación y formación así como para investigación! ¡No ha sido concebido para el uso industrial!

Indice General

1	Introducción	1
2	Descripción del equipo	2
2.1	Estructura del equipo	2
2.2	Esquema de la instalación	3
2.3	Características del equipo	4
2.4	Puesta en marcha	4
2.5	Preparación del registro de datos de medición en PC	6
2.5.1	Montaje de la tarjeta de registro de datos de medición	6
2.5.2	Instalación del software	6
2.5.3	Inicio del software	7
2.6	Manejo del software	7
2.6.1	Menú de inicio	7
2.6.2	Imagen "Anlagenschema" (Esquema de la instalación)	8
2.6.3	Imagen "Calculations" (Cálculos)	9
3	Seguridad	10
3.1	Peligros de lesiones y de muerte	10
3.2	Peligros para el equipo y su funcionamiento	11
4	Principios teóricos	12
4.1	Evaporación	12
4.2	Condensación	14
4.3	Presión del vapor según la temperatura	14
4.4	Transferencia de calor	15
5	Experimentos	17

5.1	Preparativos para los ensayos	17
5.2	Evaporación	18
5.3	Condensación	19
6	Anexo	22
6.1	Datos técnicos	22
6.2	Signos de fórmula y unidades	24
6.3	Indice	25

1 Introducción

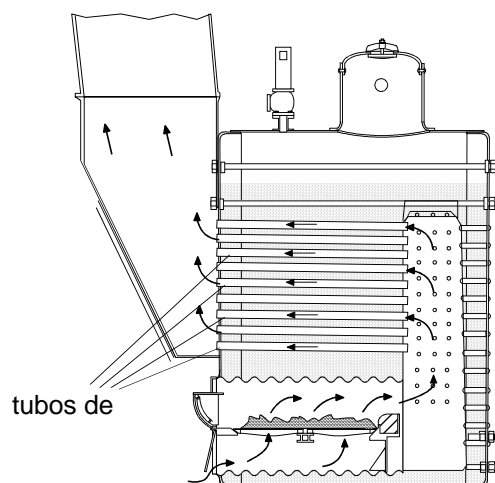


Fig. 1.1 Caldera con espacio de agua

Es imprescindible conocer el proceso de evaporación para construir y fabricar generadores de vapor.

Con el banco de ensayos **WL 220 Proceso de evaporación con registro de datos de medición en PC** se puede ver la operación de evaporación en tubos calentados, por ejemplo en calderas con espacio de agua. Sobre todo se pueden ver las distintas fases de la evaporación que se dan en un tubo de humo.

Las distintas formas de evaporación se representan de forma clara y se pueden destacar los principios de la transferencia de calor.

Además, se puede estudiar de forma experimental la influencia de parámetros como la temperatura y la presión en el proceso de evaporación.

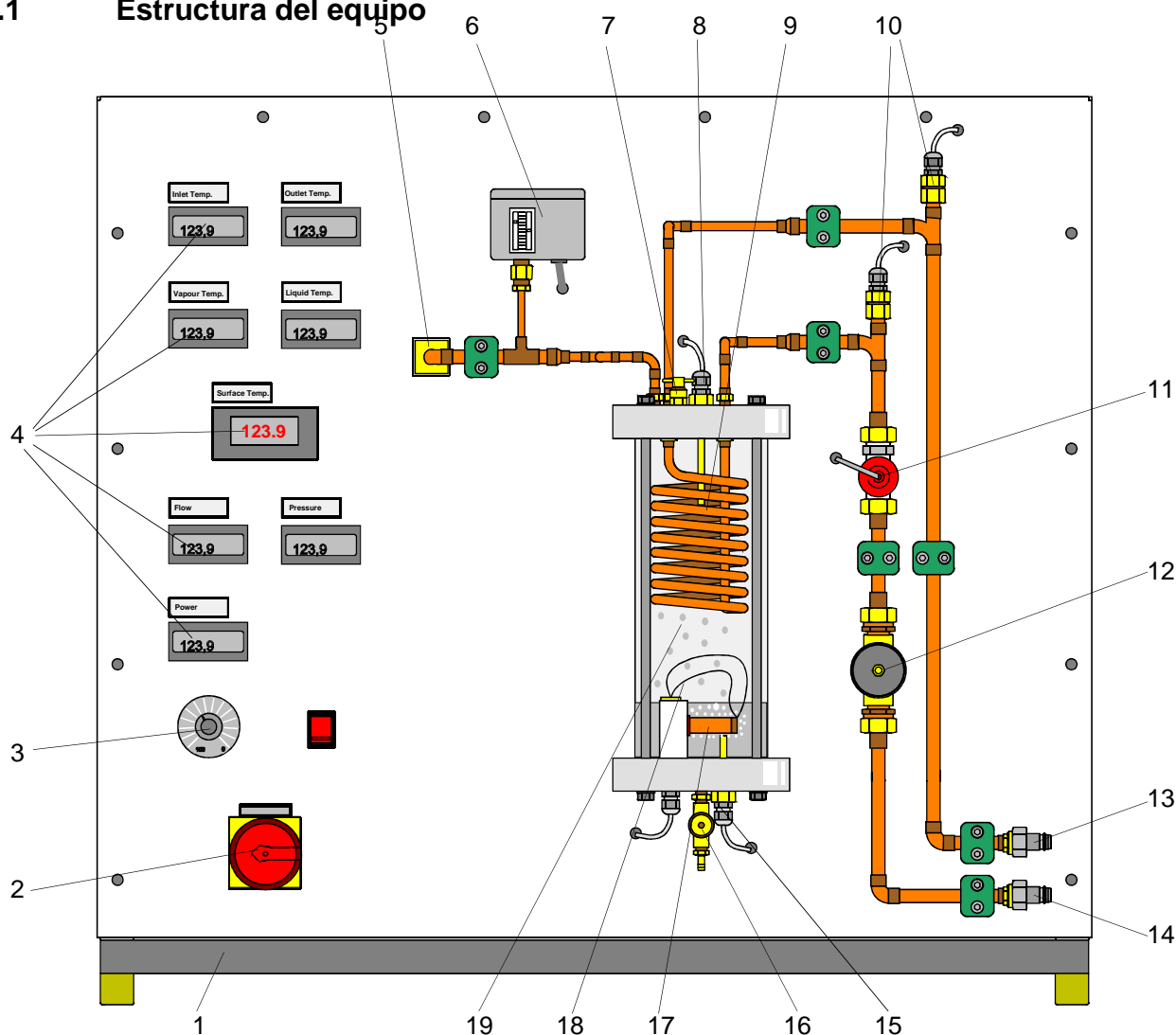
El proceso de evaporación se desarrolla en un cilindro de vidrio.

El banco de ensayos funciona con un líquido especial, de bajo punto de ebullición, y no tóxico; así, el nivel de presión y de temperatura es bajo y, por lo tanto, seguro. El poco calor de evaporación da lugar a una potencia calorífica baja.

El banco de ensayos se ha diseñado para efectuar ensayos y para la enseñanza.

2 Descripción del equipo

2.1 Estructura del equipo

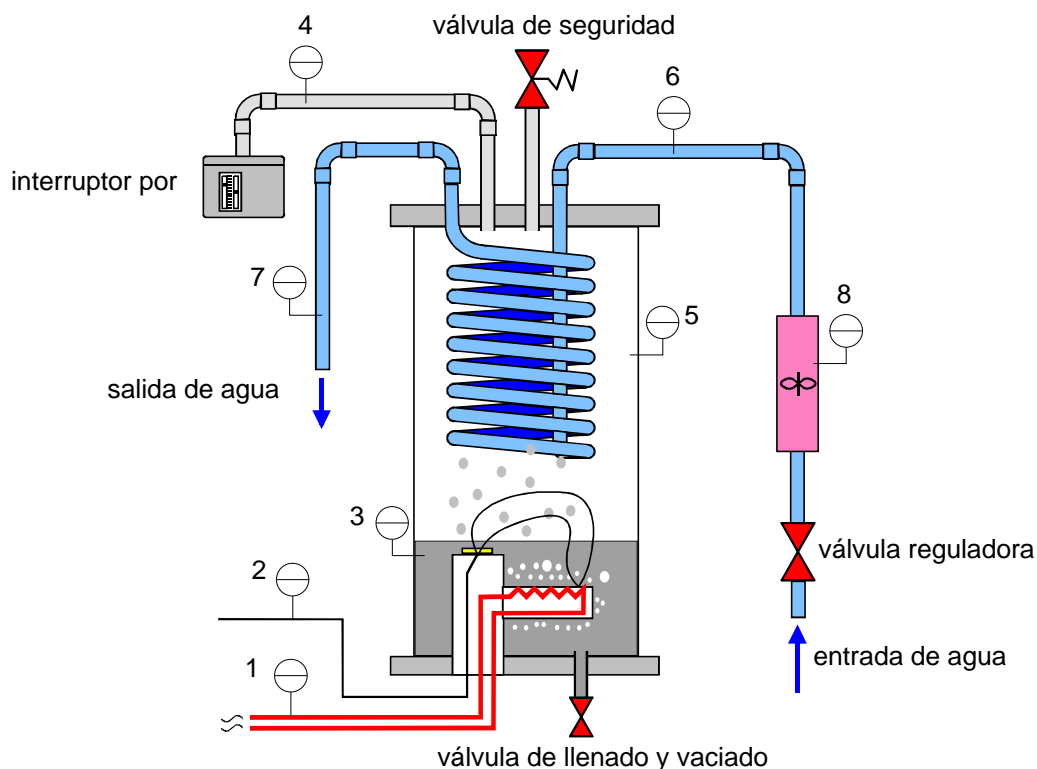


1. Armazón de sustentación
2. Interruptor primario
3. Potenciómetro para regular la potencia
4. Indicadores digitales
5. Transmisor de presión (no aparece)
6. Interruptor por aumento de presión
7. Válvula de purga
8. Sensor de temperatura

10. Sensores de temperatura
11. Sensor de caudal (agua)
12. Válvula reguladora
13. Salida de agua
14. Entrada de agua
15. Sensor de temperatura
16. Válvula de purga y llenado
17. Calefactor
18. Elemento térmico
19. Cilindro de vidrio

2.2 Esquema de la instalación

La disposición de los sensores en el sistema queda más clara si se hace un esquema de la instalación.



1. Transmisor de potencia de calefactor
2. Sensor de temperatura de superficie de calefactor
3. Sensor de temperatura de líquido de evaporación
4. Sensor de presión de recipiente de evaporación
5. Sensor de temperatura de espacio de vapor
6. Sensor de temperatura en entrada de agua
7. Sensor de temperatura en salida de agua
8. Sensor de caudal (agua)

2.3 Características del equipo

El banco de ensayos **WL 220 Proceso de evaporación** es un equipo de laboratorio que permite estudiar los procesos de evaporación. Asimismo, cuenta con una toma de agua externa para condensación. El sistema se caracteriza por las particularidades siguientes:

- Disposición clara de todos los componentes sobre un armazón de sustentación.
- Un recipiente transparente permite observar la evaporación.
- Diversos sensores permiten evaluar el proceso de transferencia de calor.
- Los valores de medición se muestran en indicadores digitales.
- Los valores de medición se representan y evalúan en un PC.
- Se calculan los balances energéticos y los números característicos de la transferencia de calor.

2.4 Puesta en marcha

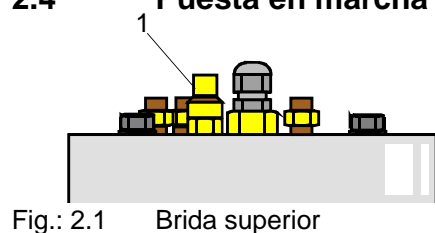


Fig.: 2.1 Brida superior

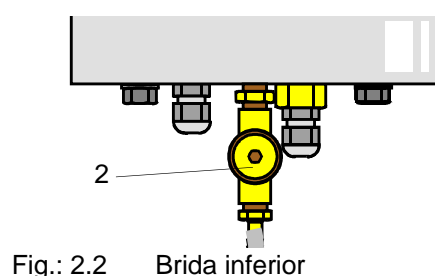


Fig.: 2.2 Brida inferior

Para llenar el cilindro de vidrio de líquido de evaporación (R141b) o compensar las posibles pérdidas, se deben seguir estos pasos:

- Desenroscar la válvula de seguridad (1) de la brida superior del cilindro de vidrio.

¡PRECAUCIÓN!

No perder la tuerca de sujeción ni el muelle.

- Conectar el tubo a la válvula de llenado (2) de la brida inferior.
- Abrir la válvula; mantener el extremo del tubo por encima del nivel del líquido en el recipiente para que no entre fluido en el tubo.
- Colocar un embudo en el otro extremo del tubo.

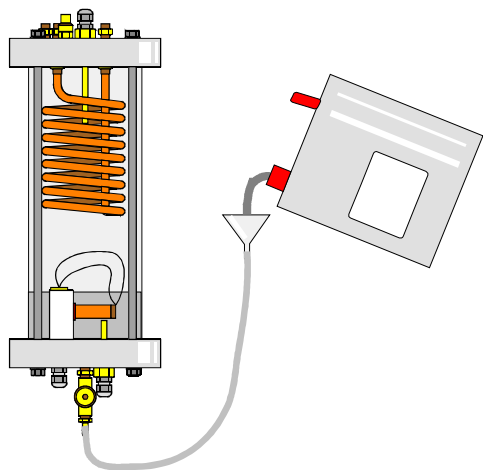


Fig.: 2.3 Llenado del cilindro de vidrio

- Ir echando líquido de evaporación poco a poco en el embudo.
- ¡ATENCIÓN!**
- No salpicar líquido a las manos; si la temperatura corporal es de 36-37 °C, el líquido se evapora al instante (consecuencia: pérdida de líquido).
- Llenar el recipiente hasta que el nivel de líquido esté a unos 2-3 cm por encima del calefactor.
- Cerrar la válvula de llenado.
- Volver a colocar el muelle de la válvula de seguridad y atornillar la válvula.

También se pueden utilizar otros líquidos de bajo punto de ebullición (por ejemplo, R11) como líquido de evaporación. No obstante, hay que comprobar que los materiales sean compatibles.

Para poner en marcha el banco de ensayos, la instalación se debe conectar a una toma de red (230 V / 50 Hz). Cuando se acciona el interruptor primario, al principio sólo se iluminan los indicadores. El calefactor se pone en marcha mediante un interruptor independiente. La potencia se ajusta al valor deseado mediante un potenciómetro.

La conexión con el PC se establece mediante un cable de cinta plana, que se introduce en una hembrilla a la izquierda del equipo. El otro extremo se conecta a una tarjeta multifuncional en el PC.

Para volver a condensar el líquido evaporado, el refrigerador se debe conectar a una red de agua fría externa. Para ello, la entrada (1) se conecta a un grifo mediante un tubo. La salida (2) también se debe conectar a un desagüe mediante un tubo.

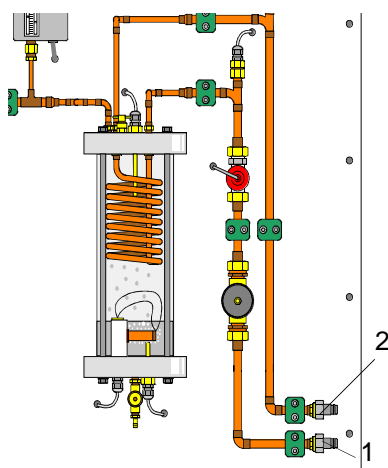


Fig.: 2.4 Toma de agua para refrigerador

2.5 Preparación del registro de datos de medición en PC

2.5.1 Montaje de la tarjeta de registro de datos de medición

Antes de poner en funcionamiento la instalación hay que montar la tarjeta de registro de datos de medición en un PC:

- Apagar el PC y desconectar el enchufe de red.
- Abrir la torre del PC (¡atención!, tenga en cuenta las condiciones de garantía).
- Buscar una toma ISA libre en la placa base (comprobar que la dirección 0320 HEX del PC aún no esté ocupada).
- Introducir la tarjeta con cuidado y atornillarla. Procurar no tocar los componentes electrónicos del ordenador, ya que hay peligro de que los componentes se descarguen de electricidad y sufran daños.

Volver a cerrar la torre del PC. Conectar el equipo y la tarjeta de registro de datos de medición mediante un cable de cinta plana.

2.5.2 Instalación del software

- Encender el PC e iniciar Windows.
- Introducir el primer disquete de instalación en la disquetera.
- Seleccionar la unidad de disco en que se encuentre el disquete de instalación.
- Buscar el archivo setup.exe y hacer doble clic en él para ejecutarlo.

El software se instala en el PC siguiendo la guía del usuario.

2.5.3 Inicio del software

Antes de encender el ordenador se debe conectar el banco de ensayos a una alimentación.

- Iniciar Windows.
- Hacer doble clic en el icono correspondiente para iniciar el software.

2.6 Manejo del software

Para visualizar los datos de medición se utiliza el software Visual Designer. Este software se ejecuta en Windows. Los medios gráficos utilizados hacen que sea muy claro. El programa incluye un total de 3 imágenes, ordenadas jerárquicamente:

2.6.1 Menú de inicio

La figura 2.7 muestra la imagen superior, que

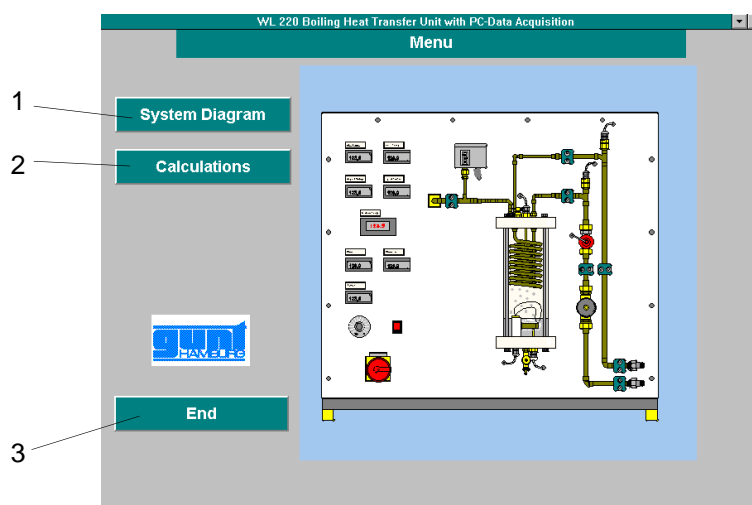


Fig. 2.5

aparece cuando se inicia el programa. Para pasar a cada una de las imágenes [Esquema de la instalación (1) Cálculos (2)] y para finalizar el programa (3) basta con hacer clic en el botón correspondiente.

2.6.2 Imagen "Anlagenschema" (Esquema de la instalación)

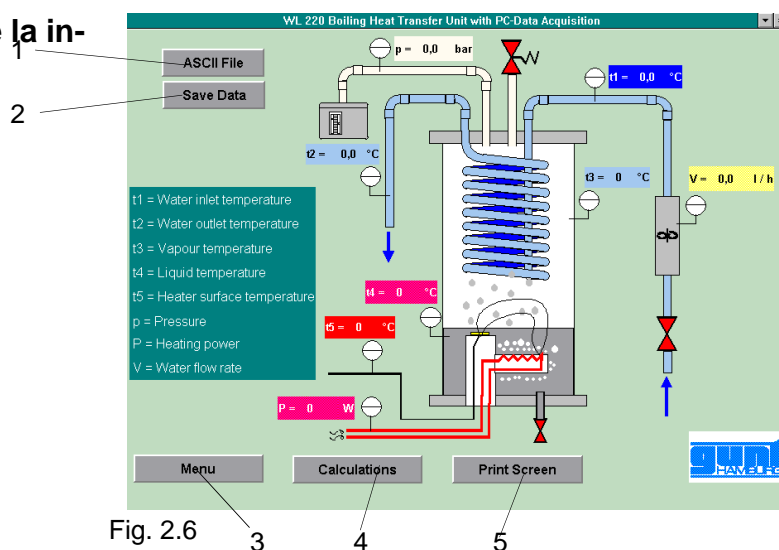


Fig. 2.6

La imagen muestra un esquema de la estructura de la instalación con todos los puntos de medición y los valores de medición actuales correspondientes.

Los valores medidos se pueden guardar en un archivo. Para ello, indicar primero un nombre de archivo con el botón (1); después, pulsar el botón (2) para guardar los valores actuales.

El botón (3) regresa al menú principal, mientras que (4) permite acceder a la imagen "Calculations" (Cálculos). Con el botón (5) se puede imprimir el contenido de la pantalla en una impresora estándar.

2.6.3 Imagen "Calculations" (Cálculos)

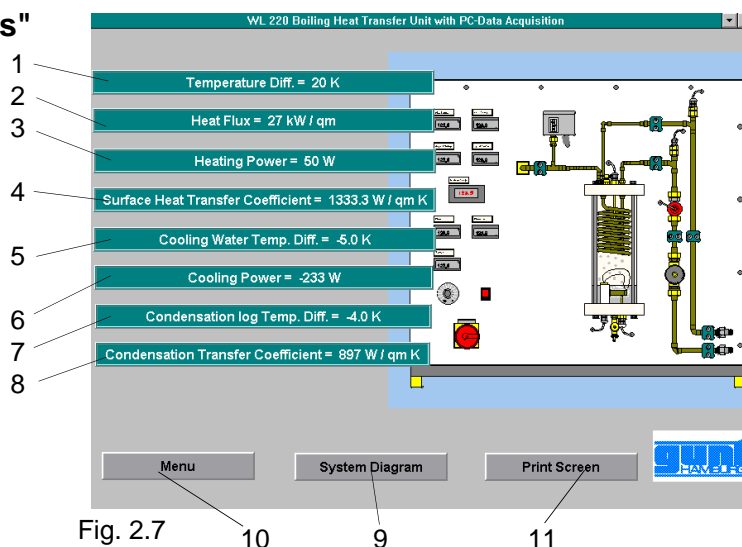


Fig. 2.7

Los campos que se ven en la figura 2.9 muestran los valores actuales en funcionamiento siguientes: diferencia de temperatura entre la superficie del calefactor y el líquido (1), flujo calorífico (2) y potencia calorífica (3). Además, se representan el coeficiente de transferencia de calor en el calefactor (4), la diferencia de temperatura del agua refrigerante (5), la potencia frigorífica en el lado del agua (6), la diferencia de temperatura logarítmica media en el refrigerador (7) y el coeficiente de transición térmica en el refrigerante (8).

Si se hace clic en el botón (9), se pasa a la imagen "Anlagenschema" (Esquema de la instalación), con (10) se regresa al menú de inicio y con (11) se puede imprimir el contenido de la pantalla en una impresora estándar.

3 Seguridad

Para garantizar un funcionamiento seguro y correcto se deben observar obligatoriamente las indicaciones de seguridad siguientes.

Antes de la puesta en marcha se deben leer las instrucciones para ensayos, sobre todo las indicaciones de seguridad.

Las personas que participen en los ensayos deben saber manejar el equipo correctamente antes de pasar a los ensayos propiamente dichos.

3.1 Peligros de lesiones y de muerte



¡PELIGRO! Descarga eléctrica

- Antes de realizar trabajos en los componentes eléctricos, desconectar el equipo y el enchufe de red.
- Si hay fallos evidentes, por ejemplo aislamiento defectuoso, parar inmediatamente la instalación y desconectarla de la red.
- Las reparaciones las debe efectuar exclusivamente personal técnico.
- Proteger la instalación eléctrica del agua.



¡PELIGRO!

No modificar ni ajustar los dispositivos de seguridad, entre ellos:

- protección contra sobrecalentamiento (80C) se puede ajustar en el indicador digital grande
- fusibles (4 A)
- caperuzas de protección
- juntas atornilladas
- interruptor por aumento de presión (3,2 bares)
- válvula de seguridad

¡ATENCIÓN!

No superar los valores límite siguientes:

- **Presión máxima en el cilindro de vidrio:**
3,2 bares abs.
- **Temperatura máxima de superficie del calefactor:**
80 C

¡ATENCIÓN!

- Cuando se trabaje con el líquido de evaporación (llenado y vaciado), seguir las normas de la hoja de datos de seguridad adjunta.



¡ATENCIÓN!

3.2 Peligros para el equipo y su funcionamiento

Utilizar el equipo sólo en recintos cerrados y secos en los que no haya gases inflamables o corrosivos, vapor o polvo.

Si hay peligro de helada, vaciar el circuito del agua refrigerante.

El equipo se debe almacenar con la válvula de aireación del cilindro de vidrio cerrada; de lo contrario, se producen pérdidas de líquido.

¡ATENCIÓN!

- Nunca conectar el calefactor sin haberlo irrigado antes de líquido de evaporación. De lo contrario, la carga de la superficie será demasiado grande y el calefactor sufrirá daños.

¡ATENCIÓN!

- Al conectar el agua refrigerante, no confundir la entrada y la salida. Si el sensor de caudal fluye en la dirección equivocada, los valores de medición serán incorrectos.
- Con un caudal superior a 120 l/h en los indicadores también aparecen valores falsos.



¡ATENCIÓN!



¡ATENCIÓN!

4 Principios teóricos

4.1 Evaporación

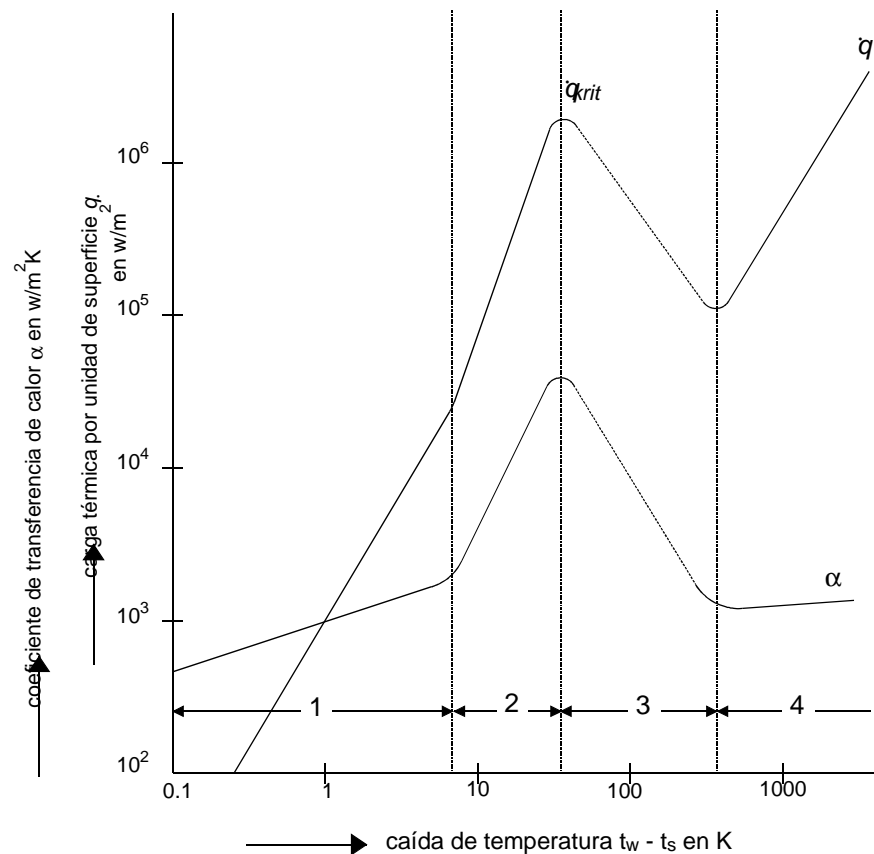
En un recipiente calentado con poca carga térmica por unidad de superficie, la fuerza ascensional mueve el líquido calentado a temperatura de ebullición hacia arriba y el líquido se suele evaporar en la superficie. En la superficie calentada casi no se forman burbujas de vapor. En este caso, se dan coeficientes de transferencia de calor como en la **convección libre**. El coeficiente de transferencia de calor α aumenta con la carga térmica por unidad de superficie, que a su vez aumenta con la caída de la temperatura entre la superficie calentada y el líquido.

Si la carga térmica por unidad de superficie es alta, se forman burbujas de vapor junto a la superficie que suben y mejoran considerablemente los coeficientes de transferencia de calor gracias a la agitación que producen. Esta clase de evaporación también se denomina **vaporización de burbujeo**.

Si se produce una carga térmica por unidad de superficie crítica, los coeficientes de transferencia de calor se vuelven a reducir, ya que se forma una película de vapor entre la superficie calentada y el líquido que hace de resistencia térmica adicional. Si hay **evaporación pelicular inestable**, α disminuye enormemente con el aumento de la caída de la temperatura entre la superficie y el líquido y vuelve a alcanzar aproximadamente el valor que tenía durante la convección libre. Si la evaporación pelicular es estable, α aumenta de forma insignificante con el aumento de la caída de la temperatura. La carga térmica por unidad de superficie disminuye en la evaporación pelicular inestable con el aumento de la caída de la tempe-

ratura y vuelve a aumentar cuando se alcanza una evaporación pelicular estable.

Cada etapa se representa de forma clara en el diagrama siguiente, en el que se ha utilizado agua a modo de ejemplo.



Fases de la evaporación:

1. Convección libre
2. Vaporización de burbujeo
3. Evaporación pelicular inestable
4. Evaporación pelicular estable

4.2 Condensación

Cuando las temperaturas de la pared t_w se encuentran por debajo de la temperatura de saturación t_s de vapor en contacto con una pared, el vapor empieza a condensarse aunque la temperatura media del vapor siga estando por encima de la temperatura de saturación. El condensado puede salir como película líquida o como gotas en la pared.

4.3 Presión del vapor según la temperatura

La dependencia entre la presión y la temperatura en el paso de líquido a gaseoso se expresa mediante la fórmula de ~~Carnot~~ *Carnot-Clausius*:

$$r = h'' - h' = T \cdot (s'' - s') = T \cdot (v'' - v') \cdot \frac{\phi}{dT} \quad (4.1)$$

Si el gas se considera prácticamente ideal, cuando se desprecia el volumen v' de la fase líquida y si se utiliza la ecuación de los gases:

$$v'' \approx \frac{R T}{p} \quad (4.2)$$

$$r = h'' - h' \approx \frac{R T^2}{dT} \cdot \frac{\phi}{p} \quad (4.3)$$

Reformulado:

$$\frac{r}{R T^2} dT = \frac{1}{p} \phi$$

Integrado:

$$\frac{r}{R T^2} dT = \frac{1}{p} \phi$$

Resultado:

$$p = e^{-\frac{r}{RT}} \quad (4.4)$$

Dado que con esta ecuación resulta difícil detectar la dependencia entre la temperatura y la presión, en la página siguiente aparece un diagrama en el que se ha reproducido la presión del vapor según la temperatura.

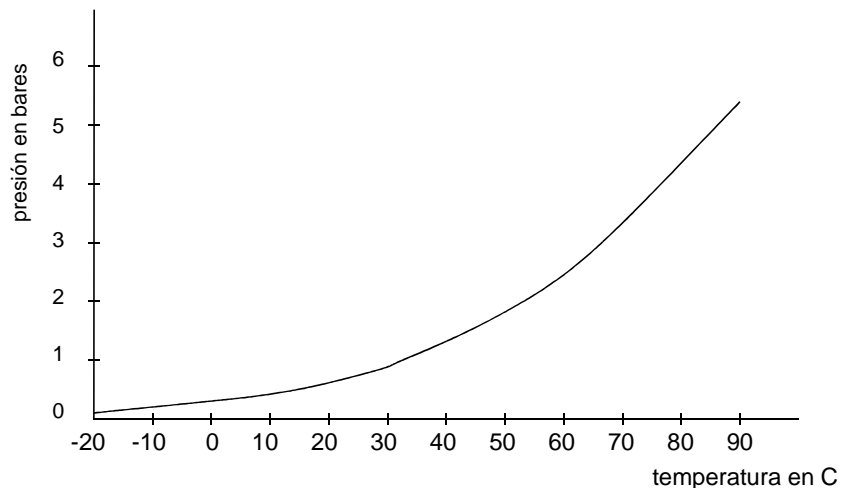
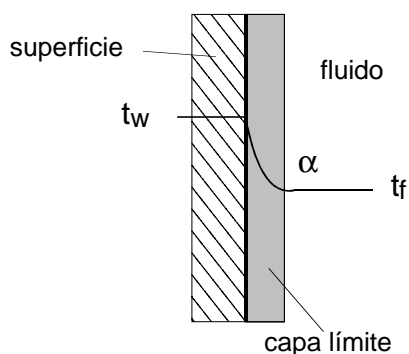


Diagramm.: 4.1 Presión del vapor según la temperatura (R141b)

4.4 Transferencia de calor



Por transferencia de calor se entiende la transmisión de calor entre los líquidos o los gases en movimiento y una pared fija.

El flujo calorífico de un líquido a temperatura media t_f registrado en una superficie de pared A a temperatura de superficie t_w se calcula mediante una relación expresada por Newton:

$$Q = \alpha \cdot A \cdot (t_w - t_f) \quad (4.5)$$

El factor de proporcionalidad α se denomina coeficiente de transferencia de calor. Su unidad es $\frac{W}{m^2 K}$. α depende de una manera muy compleja de magnitudes de influencia muy diversas, que se determinan según las propiedades físicas y el estado de fluido, y según la forma geométrica de las superficies calentadas.

Otra magnitud para la transferencia de calor de un cuerpo calentado a un fluido es la resistencia a la transferencia de calor:

$$R_D = \frac{t_w - t_f}{Q} = \frac{1}{\alpha A} \quad (4.6)$$

6 Anexo

6.1 Datos técnicos

Bastidor:	Caja, recubierta de polvo, color blanco; marco, recubierto de polvo, color negro.	
Ancho	900 mm	
Fondo	455 mm	
Alto	820 mm	
Peso	65 kg	
Alimentación:	230 V / 50 Hz, 4 A Entrada y salida de agua	
Calefactor		
Potencia:	600	W, regulable de forma continua
Superficie:	0.001875	m ²
Radiador de agua		
Número de vueltas:	9	
Diámetro de vuelta:		80mm
Superficie: aprox.	0,0578	m ²
Transmisor de presión		
rea de medición:	0 - 4	bares abs.
Señal de salida:	0 -10	V CC
Alimentación	24	V CC
Transmisor de potencia		
rea de medición:	0 - 600	W
Señal de salida:	0 - 5	V CC
Alimentación:	+/- 15	V CC
Sensor de caudal con transmisor (agua)		
rea de medición:	3 - 108	l/h
Señal de salida:	0 - 5	V CC
Alimentación:	24	V CC
Elemento térmico con indicador y transmisor		
rea de medición:	0 - 200	C
Señal de salida:	0 - 10	V CC
Alimentación:	230	V CA

Sensores de temperatura con transmisor

rea de medición:	0 - 100	C
Señal de salida:	0 - 5	V CC
Alimentación:	24	V CC

Indicadores digitales

rea de medición:	0 - 200	mV CC
Alimentación	5	V CC

Líquido de evaporación

	R141b	
Nombre:	1,1-dicloro-1-fluoretano	
Fórmula química:	CCl ₂ F-CH ₃	
Nombre comercial:	Solvay, Solkane 141 b	
Peso molecular:	116,9	
Punto de ebullición siendo p ₀ = 1.013 mbar:	31,7	C
Punto de fusión:	-103,5	C
Temperatura crítica:	208,3	C
Presión crítica	4.400	kPa
Densidad a 20 C	1,27	g/cm ³
a 50 C	1,18	g/cm ³
Calor de evaporación:	225	kJ/kg
No inflamable		
Temperatura de inflamación:	550	C
Límite de explosión de la mezcla de gas/aire		
inferior	5,6	%
superior	17,7	%
Conductibilidad térmica (gas)	0,0095	W/mK
Presión del vapor 20 C:	64	kPa
50 C:	183	kPa

Concentración permitida en el lugar de trabajo (8 h/d, 40 h/s) 500 vol ppm.

Tarjeta multifuncional:

Entradas analógicas	16, 0-10 V CC, unipolar
Salidas analógicas	2, 0-10 V CC
Entradas digitales	8, TTL
Salidas digitales	8, TTL con amortiguación
Contador	1, 16 bit

Software:

Versión de tiempo de ejecución de Visual Designer totalmente configurada.

El software permite mostrar los valores de medición en línea.

Los valores de medición se muestran en forma gráfica y numérica.

Se pueden imprimir las interfaces de pantalla.

6.2 Signos de fórmula y unidades

α	Coeficiente de transferencia del calor	1
A	Superficie	m ²
c _p	Capacidad térmica específica	kJ/kgK
h	Entalpía específica	kJ/kg
\dot{m}_w	Caudal másico del agua	kg/s
p	Presión	bares
Q	Potencia calorífica	W
\dot{Q}	Potencia frigorífica	W
\dot{q}	Carga térmica por unidad de superficie	W/m ²
R	Constante de los gases perfectos	kJ/kgK
R	Resistencia a la transferencia de calor	K/W
r	Calor de evaporación	kJ/kgK
s	Entropía	kJ/kgK
T	Temperatura absoluta	K
t	Temperatura	°C
\bar{T}_w	Temperatura media del agua	°C
$\Delta \bar{T}_m$	Diferencia de temperatura logarítmica media	K
v	Volumen específico	m ³ /kg
\dot{V}_w	Caudal de agua	l/h

6.3 Indice

A		
	agua refrigerante	11
B		
	burbujas de vapor	12
C		
	cable de cinta plana	5
	caída de la temperatura	12
	cálculos	9
	caldera con espacio de agua	1
	calefactor	5, 11
	carga térmica por unidad de superficie	12, 18
	coeficiente de transferencia de calor	12, 16, 19
	coeficiente de transmisión térmica	20
	componente eléctrico	10
	condensación	14
	convección libre	12
D		
	diferencia de temperatura, logarítmica media	20
E		
	ecuación de los gases	14
	esquema de la instalación	3, 8
	estructura del equipo	2
	evaporación pelicular	12
F		
	fases de la evaporación	13
	flujo calorífico	15
	fusible	10
G		
	generador de vapor	1
I		
	interruptor por aumento de presión	10
L		
	líquido de evaporación	11
	líquido de evaporación (R141b)	4
P		
	paso	14
	potencia frigorífica	19
	presión del vapor	15
	protección contra sobrecalentamiento	10
	puesta en marcha	4
	purga de aire	18

R	
	red de agua fría 5
	refrigerador 5
	resistencia a la transferencia de calor 16, 19
S	
	seguridad 10 - 11
	sensor 3
	sensor de caudal 11
	software 6
	superficie calentada 12
	superficie de pared 15
T	
	tarjeta de registro de datos de medición 6
	tarjeta multifuncional 5
	temperatura de saturación 14
	temperatura de superficie 15
	transferencia de calor 15
	transmisión de calor 15
	tubo de humo 1
V	
	válvula de llenado 4
	válvula de seguridad 4, 10
	vaporización de burbujeo 12
	visualizar 7