

## **Manual de experimentos**

WL 110.04 Intercambiador  
de calor de camisa doble

**G.U.N.T. Gerätebau GmbH**

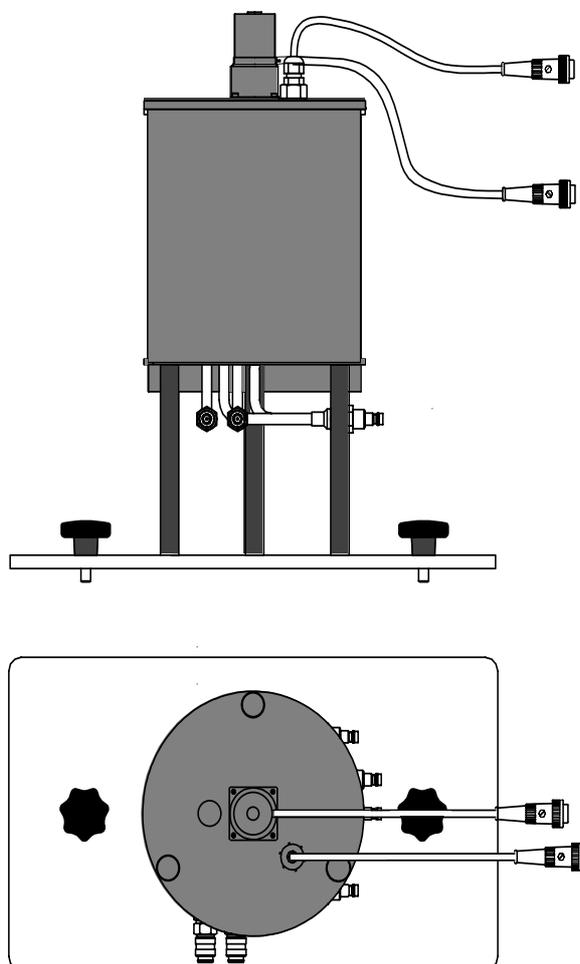
Fahrenberg 14

D-22885 Barsbüttel • Alemania

Teléfono +49 (40) 670854-0

Telefax +49 (40) 670854-42

# WL 110.04 Intercambiador de calor de camisa doble



## Manual de experimentos

## Indice General

1	Introducción .....	1
1.1	Función de un intercambiador de calor .....	1
1.2	Funcionamiento de un intercambiador de calor .....	1
1.3	Distintos tipos de intercambiador de calor .....	2
1.4	Utilización de un intercambiador de calor de doble revestimiento ..	3
2	Descripción del equipo .....	4
2.1	Estructura del equipo .....	4
2.2	Puesta en marcha .....	6
2.3	Funcionamiento .....	7
2.4	Ejemplo de realización de ensayo .....	8
2.4.1	Bases de cálculo .....	8
2.4.2	Valores de medición .....	11
2.4.3	Cálculos .....	11
2.4.4	Evaluación del ensayo .....	13
3	Indicaciones de seguridad .....	14
4	Mantenimiento y conservación .....	14
5	Datos técnicos .....	15

# WL 110.04 Intercambiador de calor de camisa doble



## 1 Introducción

### 1.1 Función de un intercambiador de calor

Los intercambiadores de calor se utilizan para transmitir calor entre dos medios que fluyen y que se encuentran a distinta temperatura. Durante la transmisión, los medios no entran en contacto directo ni se mezclan. El calor se transporta del medio caliente al frío a través de una pared divisoria termoconductor. Un ejemplo de intercambiador de calor son los radiadores de coche (medios: agua/aire), los radiadores de aceite (medios: aceite/aire o agua) o los serpentines refrigerantes en armarios de hielo (medios: aire/refrigerante). En el banco de ensayos WL 110 se utiliza agua para los dos medios en los intercambiadores de calor aplicados.

### 1.2 Funcionamiento de un intercambiador de calor

El medio caliente fluye a lo largo de una pared divisoria a la que transmite calor, lo que hace que el medio se vaya enfriando. La pared divisoria calentada transmite el calor al medio frío que fluye al otro lado de ésta. El medio frío se calienta. Así pues, la transmisión de calor a la pared divisoria se puede subdividir en tres procesos separados.

1. El medio caliente aporta calor a la pared divisoria.
2. La pared divisoria conduce el calor de la superficie caliente a la fría.
3. La pared divisoria aporta calor al medio frío.

## WL 110.04 Intercambiador de calor de camisa doble

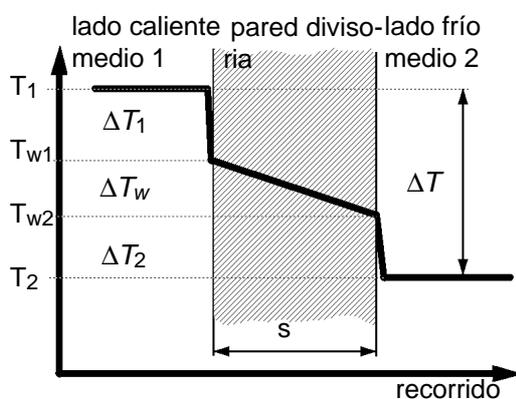


Fig. 1.1 Evolución de la temperatura durante la transferencia y la conducción de calor a la pared

En la figura 1.1 se representa un esquema de la evolución de la temperatura. Cada paso de la transmisión de calor tiene asignada una diferencia de temperatura:  $\Delta T_1$ ,  $\Delta T_w$  y  $\Delta T_2$ .

El grado de efectividad de un intercambiador de calor a través del transporte de calor se determina en los tres procesos de transmisión de calor. Los tres procesos de transmisión juntos configuran lo que se denomina **transición térmica**.

### 1.3 Distintos tipos de intercambiador de calor

Los intercambiadores de calor se diferencian, en primer lugar, por la clase de inundación:

- intercambiadores de calor de inundación continua
- e
- intercambiadores de calor de inundación intermitente

A su vez, los intercambiadores de calor de inundación continua se dividen en intercambiadores de inundación con **corriente paralela** o con **corriente inversa**. Las relaciones en la inundación continua se representan en detalle en las instrucciones para ensayos de cada intercambiador (WL 110.01-WL 110.03). Un ejemplo de intercambiador de calor de inundación intermitente es el **intercambiador de calor de doble WL 110.04**.

## WL 110.04 Intercambiador de calor de camisa doble



### 1.4 Utilización de un intercambiador de calor de doble revestimiento

El intercambiador de calor WL 110.04 representa un recipiente de proceso en el que se debe conseguir una temperatura definida con exactitud. En primer lugar, en el recipiente de proceso se vierte un medio que debe alcanzar una temperatura determinada. Para alcanzar la temperatura deseada, se inunda con un medio caliente o frío el **revestimiento** del recipiente o un **serpentín de calefacción** colocado dentro.

Un **mezclador** montado en la caldera se encarga de que la temperatura se distribuya de forma óptima por el recipiente. Cuando el medio dentro del recipiente alcanza la temperatura que se desea, el recipiente se vacía y se vuelve a llenar. Esta clase de llenado/vaciado irregular también se denomina **funcionamiento discontinuo**.

El intercambiador de calor WL 110.04 utilizado en este caso también puede funcionar en los modos siguientes:

- Calentamiento a través del revestimiento
- Calentamiento a través del serpentín de calefacción
- Enfriamiento a través del revestimiento
- Enfriamiento a través del serpentín de calefacción

# WL 110.04 Intercambiador de calor de camisa doble



## 2 Descripción del equipo

### 2.1 Estructura del equipo

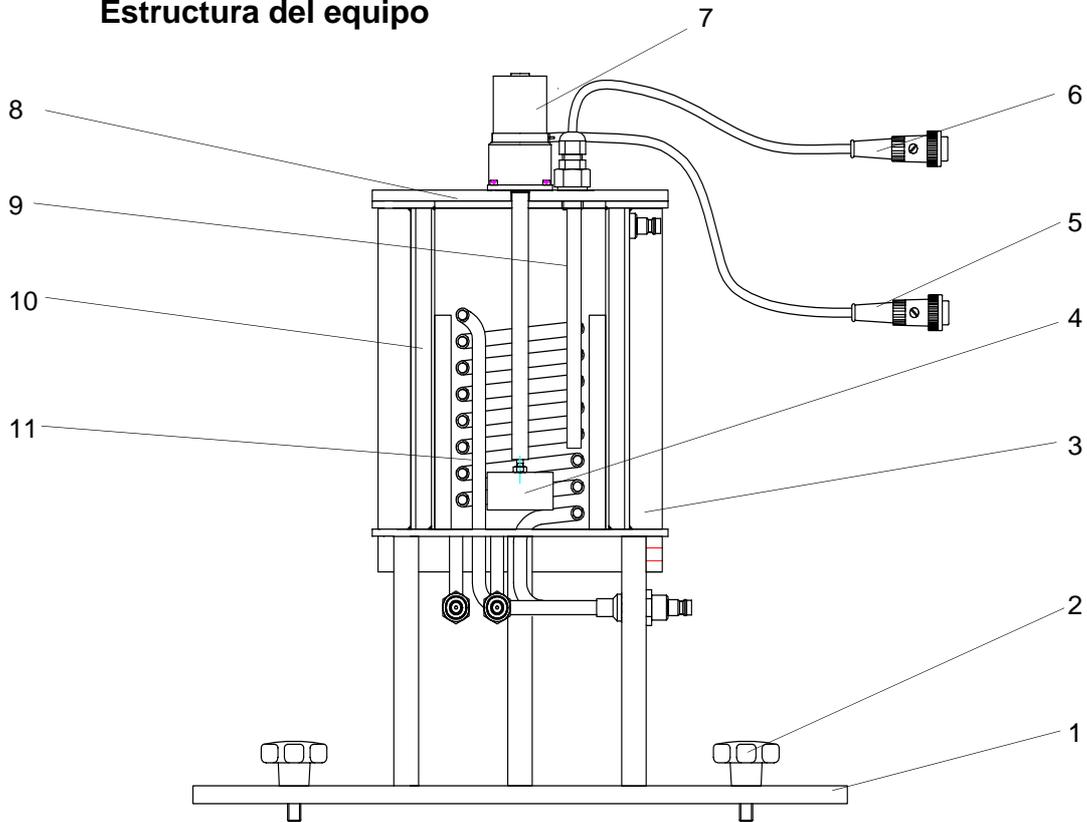


Fig. 2.1 Vista lateral del WL 110.04

- 1 Placa base
- 2 Tornillo de sujeción
- 3 Recipiente de proceso
- 4 Agitador de burbujas
- 5 Conexión del motor del agitador de burbujas
- 6 Conexión del sensor de temperatura
- 7 Motor del agitador de burbujas
- 8 Tapa transparente
- 9 Sensor de temperatura
- 10 Revestimiento
- 11 Serpentín de calefacción

## WL 110.04 Intercambiador de calor de camisa doble

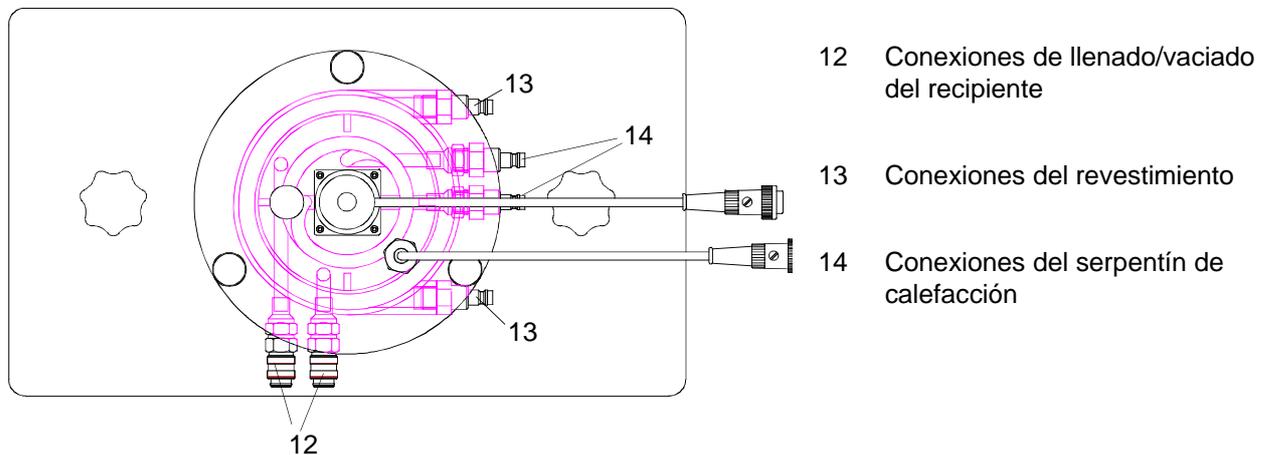


Fig. 2.2 Vista desde arriba del WL 110.04

El intercambiador de calor de doble revestimiento está montado sobre una **placa base** (1). Mediante los **tornillos de sujeción** (2) se conecta rápida y fácilmente al equipo de ensayo WL 110. El **recipiente de proceso** (3) se puede llenar y vaciar por medio de las **conexiones** (12) previstas para ello. Mediante otras conexiones (13 o 14) se puede inundar el **revestimiento del recipiente** (10) o el **serpentín de calefacción** (11). Un **agitador de burbujas** (4) se encarga de que, durante el funcionamiento, la temperatura se distribuya óptimamente por el recipiente de proceso. La temperatura dentro del recipiente se registra mediante un **sensor de temperatura** (9) electrónico. El sensor de temperatura y el **motor del agitador de burbujas** (7) reciben la tensión de trabajo necesaria por medio de unos **conectores** (5 y 6) que los conectan al equipo básico WL 110. Una **tapa transparente** (8) permite observar el interior del recipiente de proceso durante los ensayos.

## WL 110.04 Intercambiador de calor de camisa doble



### 2.2 Puesta en marcha

- Utilización del intercambiador de calor con WL 110
- Enchufar el conector del motor del agitador de burbujas y del sensor de temperatura en la caja de distribución del WL 110
- Acoplar las tuberías de agua caliente de WL 110 a las conexiones del revestimiento o del serpentín de calefacción (véase también capítulo 2.1, pos. 13/14)



¡ATENCIÓN! Se debe comprobar que las conexiones estén bien establecidas. **Si se conectan mal** (por ejemplo, una conexión al revestimiento y otra al serpentín de calefacción), **los componentes no se podrán inundar porque los acoplamientos se bloquearán entre sí**. Además, hay que comprobar que la **entrada de agua caliente** (acoplada a la temperatura T1) y la **salida de agua caliente** (acoplada a la temperatura T3) estén **correctamente** conectadas (véase también capítulo 2.3, figura 2.5, 2.6).

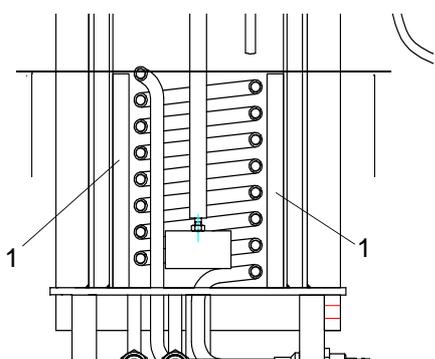


Fig. 2.3 Nivel de llenado del recipiente

- Llenar el recipiente de agua fría a través del orificio en la tapa o mediante **una** de las conexiones de alimentación (capítulo 2.1, pos. 12). La figura 2.3 muestra el nivel de llenado en el recipiente, que debería llegar hasta las tiras de chapa (1) colocadas en el recipiente.

Ahora el intercambiador de calor ya está listo para utilizarse.

## 2.3 Funcionamiento

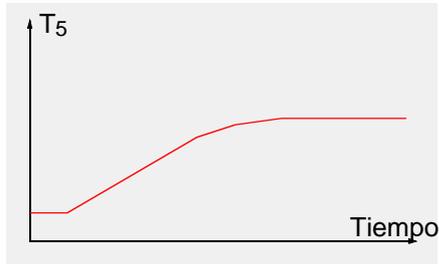


Fig. 2.4 Evolución de la temperatura

Durante el funcionamiento del intercambiador de calor de doble revestimiento lo importante, sobre todo, es el comportamiento de la temperatura del llenado de agua en el recipiente de proceso. En los ensayos se tiene en cuenta el **modo de calefacción**, porque en el mundo de la técnica se utiliza más que el enfriamiento. La figura 2.4 muestra el comportamiento habitual del llenado de agua en el recipiente con el revestimiento del recipiente inundado con agua caliente.

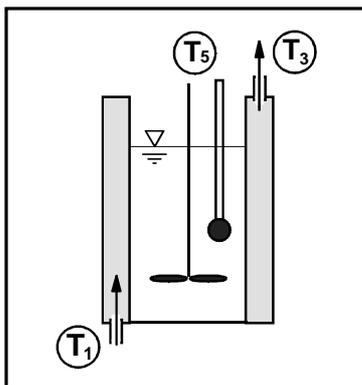


Fig. 2.5 Calentamiento a través de revestimiento

El intercambiador de calor funciona en modo de calefacción básicamente del modo siguiente:

- Calentamiento a través del revestimiento con agitador de burbujas (figura 2.5)
- Calentamiento a través del revestimiento sin agitador de burbujas (figura 2.5)
- Calentamiento a través del serpentín de calefacción con agitador de burbujas (figura 2.6)
- Calentamiento a través del serpentín de calefacción sin agitador de burbujas (figura 2.6)

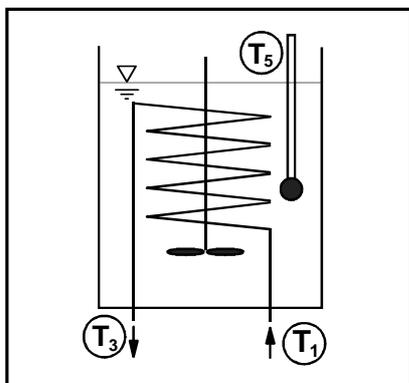


Fig. 2.6 Calentamiento a través de serpentín

En los ensayos se registra el cambio de la temperatura  $T_5$ .  $T_1$  es la temperatura de entrada del agua caliente,  $T_3$  es la temperatura de salida del agua caliente.

## WL 110.04 Intercambiador de calor de camisa doble



### 2.4 Ejemplo de realización de ensayo

#### 2.4.1 Bases de cálculo

El intercambio de calor entre 2 líquidos a distinta temperatura y la pared divisoria que los separa se denomina **transición térmica**. En el caso del flujo calorífico generado:

$$\dot{Q} = k_m \cdot A \cdot (T_{Heiz} - T) \quad (1.0)$$

Donde:

$k_m$	coeficiente medio de transmisión térmica
$A$	superficie caliente o fría
$T_{Heiz}$	temperatura en caliente
$T$	temperatura del medio en el recipiente

El coeficiente medio de transmisión térmica  $k_m$  recoge las numerosas influencias que resultan decisivas para la cantidad de calor intercambiada durante la transferencia de calor en cada caso especial. En los ensayos se debe calcular de forma experimental.

La superficie caliente o fría  $A$  es de:

- revestimiento del recipiente: 0,057 m<sup>2</sup>
- serpentín de calefacción: 0,052 m<sup>2</sup>

La temperatura  $T$  corresponde en el ensayo a la temperatura **T5**.

## WL 110.04 Intercambiador de calor de camisa doble



La temperatura en caliente media  $\bar{T}_{Heiz}$  se calcula con esta ecuación:

$$\bar{T}_{Heiz} = \frac{\bar{T}_1 + \bar{T}_3}{2} \quad (1.1)$$

La temperatura de entrada media  $T_1$  se calcula como sigue:

$$\bar{T}_1 = \frac{\bar{T}_1(0) + \bar{T}_1(1)}{2} \quad (1.2)$$

La temperatura de entrada media  $T_3$  se calcula así:

$$\bar{T}_3 = \frac{\bar{T}_3(0) + \bar{T}_3(1)}{2} \quad (1.3)$$

El coeficiente medio de transferencia de calor ya  $k_m$  se puede calcular mediante la ecuación:

$$k_m = - \frac{m_{H_2O} \cdot c_{p_{H_2O}}}{A \cdot t} \cdot \ln \left( \frac{\bar{T}_{caliente} - T_5(t)}{\bar{T}_{caliente} - T_5(0)} \right) \quad (1.4)$$

werden.

Siendo:

- $m_{H_2O}$  masa de agua en la caldera, si el llenado es correcto, es exactamente de 0,7694 kg
- $c_{p_{H_2O}}$  capacidad térmica especial del agua, el valor de referencia es de 4,187 kJ/kg K

## WL 110.04 Intercambiador de calor de camisa doble



La ecuación

$$T_5(t) = \bar{T}_{caliente} + (T_5(0) - \bar{T}_{Heiz}) \cdot e^{-\frac{k_m \cdot A \cdot t}{m_{H_2O} \cdot c_{p_{H_2O}}}} \quad (1.5)$$

permite calcular la evolución de la temperatura a lo largo del tiempo, como se muestra en la figura 2.4.

## WL 110.04 Intercambiador de calor de camisa doble



### 2.4.2 Valores de medición

En el modo "**Calentamiento a través del revestimiento con agitador de burbujas**" del intercambiador de calor de doble revestimiento se han obtenido los valores de medición indicados en la tabla 2.1.

Hora	t [s]	T <sub>1</sub> (0) [°C]	T <sub>1</sub> (1) [°C]	T <sub>3</sub> (0) [°C]	T <sub>3</sub> (1) [°C]	T <sub>5</sub> (0) [°C]	T <sub>5</sub> (1) [°C]
16:38	0	62,9	-	59,9	-	30,7	-
16:52	840	-	59,6	-	59,2	-	58,5

Tab. 2.1 Valores de medición de "Calentamiento a través del revestimiento con agitador de burbujas"

Hora	t en s	T <sub>5</sub> en °C
16:38	0	30,7
16:42	240	44,5
16:44	360	51,8
16:46	480	55,0
16:48	600	56,4
16:50	720	57,4
16:52	840	58,5

Tab. 2.2 Valores de medición a lo largo del tiempo

Durante el ensayo también se han anotado los valores de la temperatura T<sub>5</sub> a intervalos regulares, véase tabla 2.2.

El caudal a través del revestimiento del intercambiador de calor ha sido de 3,7 l/min durante la realización del ensayo.

### 2.4.3 Cálculos

Mediante los valores utilizados en la ecuación (1.2) y en la ecuación (1.3) se calculan la temperatura media de entrada y de salida:

$$\bar{T}_1 = \frac{62,9 + 59,6}{2} = 61,25 \text{ C}$$

$$\bar{T}_3 = \frac{59,9 + 59,2}{2} = 59,55 \text{ C}$$

## WL 110.04 Intercambiador de calor de camisa doble



A partir de aquí se calcula la temperatura en caliente media (ecuación (1.1)):

$$\bar{T}_{Heiz} = \frac{61,25 + 59,55}{2} = 60,4 \text{ C}$$

Ahora ya están disponibles todos los valores necesarios para calcular el coeficiente medio de transferencia de calor con la ecuación (1.4):

$$k_m = - \frac{0,7694 \text{ kg} \cdot 4,187 \text{ kJ/kgK}}{0,057 \text{ m}^2 \cdot 840 \text{ s}} \cdot \ln \left( \frac{60,4 \text{ C} - 58,5 \text{ C}}{60,4 \text{ C} - 30,7 \text{ C}} \right)$$

$$k_m = 0,185 \text{ kJ/m}^2 \text{ s K}$$

El valor calculado para  $k_m$  proporciona, en la ecuación (1.5), valores para calcular la temperatura  $T_5$  que se pueden calcular con los valores medidos.

En otros ensayos realizados, en los que no se va a profundizar, se obtuvieron los valores siguientes:

- Calentamiento a través del serpentín sin agitador de burbujas, caudal 3,6 l/min,  $t = 780 \text{ s}$   
 $k_m = 0,342$
- Calentamiento a través del serpentín con agitador de burbujas, caudal 3,7 l/min,  $t = 960 \text{ s}$   
 $k_m = 0,414$

## WL 110.04 Intercambiador de calor de camisa doble



### 2.4.4 Evaluación del ensayo

El valor calculado para  $k_m$  indica que la transmisión de calor de un líquido a otro es mala. Eso se debe sobre todo a que el volumen del agua contenida en el recipiente es muy grande en relación con la superficie calentada humedecida. En este caso, el funcionamiento con el serpentín de calefacción ofrece mejores resultados, que de nuevo mejoran si se utiliza el agitador de burbujas.

Si se comparan los valores de  $T_5$  medidos durante el ensayo con los valores calculados (tabla 2.3), se puede ver que coinciden en gran parte. La mayor desviación se da cuando  $t = 240$  s, y se debe a la fuerte modificación de la temperatura y al error de lectura temporal que de ella se deriva.

Hora	t [s]	T5med [°C]	T5calc [°C]	Error [°C]
16:38	0	30,7	-	-
16:42	240	44,5	46,85	2,35
16:44	360	51,8	51,25	0,55
16:46	480	55,0	54,22	0,78
16:48	600	56,4	56,22	0,18
16:50	720	57,4	57,58	0,18
16:52	840	58,5	58,49	0,01

Tab. 2.3 Curva de temperatura, comparación de valores medidos y calculados

# WL 110.04 Intercambiador de calor de camisa doble



## 3 Indicaciones de seguridad



- **¡PELIGRO!** El circuito de agua caliente puede llegar a temperaturas de hasta 85 C.  
**¡ATENCIÓN!** Hay peligro de quemaduras en los ensayos en que el agua supere los 50 C de temperatura. **¡Peligro de lesiones!**
- **¡ATENCIÓN!** Antes de la puesta en marcha hay que comprobar que todas las conexiones del circuito de agua caliente estén bien conectadas y estancas. **¡Peligro de lesiones por salida de agua caliente!**

## 4 Mantenimiento y conservación

El intercambiador de calor no necesita mantenimiento porque está fabricado con materiales anti-corrosivos.

El agua se debe evacuar después de cada uso. Si se incrusta la cal, se recomienda irrigar el intercambiador de calor con un líquido apropiado (por ejemplo, vinagre).

## WL 110.04 Intercambiador de calor de camisa doble



### 5 Datos técnicos

#### Superficies calentadas

Revestimiento del recipiente	0,057	m <sup>2</sup>
Serpentín de calefacción	0,052	m <sup>2</sup>

#### Capacidad del recipiente:

Aprox.	1,5	Ltr
Cantidad de llenado prevista	0,77	Ltr

#### Dimensiones principales

largo x ancho x alto 400 x 230 x 400 mm

#### Peso:

Aprox. 10 kg