

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD

### 2.1. Diagrama de la unidad

La unidad de laboratorio de aire acondicionado Hilton A-575 consiste en una conducción de aire, a lo largo de la cual éste entra en contacto con los diferentes equipos de tratamiento. Esta conducción se encuentra montada sobre un soporte móvil que acoge, en su parte inferior, a la unidad de producción de frío y al generador de vapor (véase *Figura 2.1*).



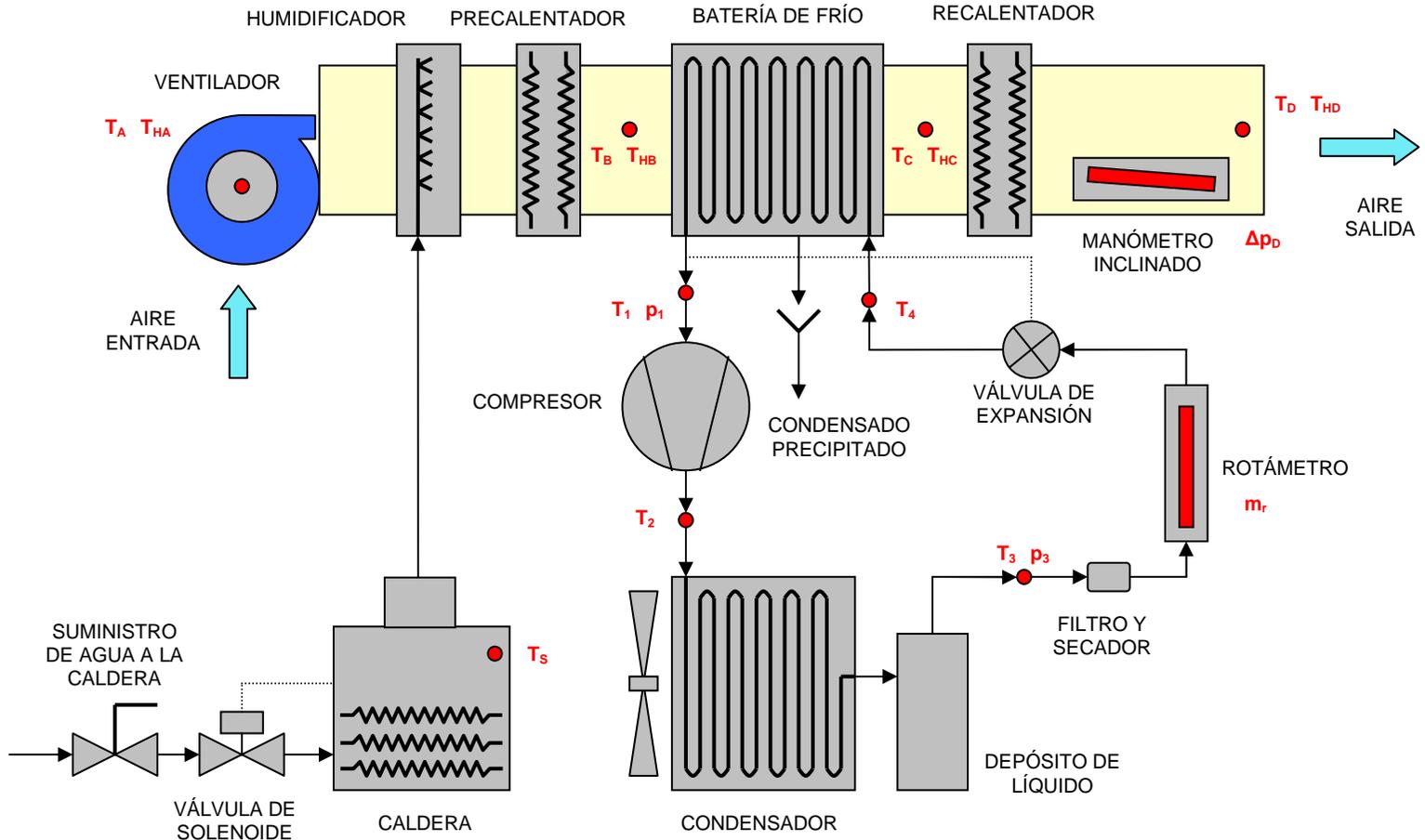
*Figura 2.1. Unidad de laboratorio de aire acondicionado Hilton A-575*

El conjunto completo (conducto y soporte móvil) tiene unas dimensiones de  $2.23 \times 1.13 \times 0.50 \text{ m}^3$ . En la *Figura 2.2* se detalla el esquema general de la unidad; en él se muestran los diferentes equipos de tratamiento que interactúan con el aire en la conducción, así como los elementos de que constan el generador de vapor y la unidad de producción de frío. Además, se han indicado en rojo la situación de los puntos o estaciones de medida sobre el conducto de aire (*A*, *B*, *C* y *D*) y sobre el ciclo de refrigeración (*1*, *2*, *3* y *4*), junto con las variables que son objeto de medida en cada uno de esos puntos de la unidad.

El aire sin tratar que entra en la conducción atraviesa los siguientes equipos, en el orden indicado a continuación:

- Un ventilador centrífugo, con control de velocidad.
- Un inyector de vapor, para humidificar el aire.
- Un precalentador eléctrico.
- Una batería de frío, con salida de agua precipitada, para enfriar y deshumidificar el aire.
- Un recalentador eléctrico.
- Un orificio calibrado, conectado a un manómetro inclinado, para la medida del caudal de aire.

Figura 2.2. Esquema de la unidad de laboratorio de aire acondicionado Hilton A-575



En el transcurso de la evolución del aire a través de estos equipos, pueden obtenerse los siguientes datos de forma inmediata:

- El estado del aire (a partir de los valores de la temperatura seca,  $T$ , y la temperatura húmeda,  $T_H$ ) a la entrada y a la salida de cada uno de los equipos de la unidad.
- El flujo de calor en los calentadores eléctricos, en la caldera, en el ventilador y en la batería de frío.
- El caudal másico de aire,  $m_a$ , que circula atravesando la máquina.
- Las presiones y temperaturas del fluido refrigerante en los diferentes puntos del ciclo de producción de frío.
- El caudal másico de fluido refrigerante,  $m_r$ , que circula en el ciclo.
- El caudal másico de agua condensada en la batería de frío,  $m_L$ .

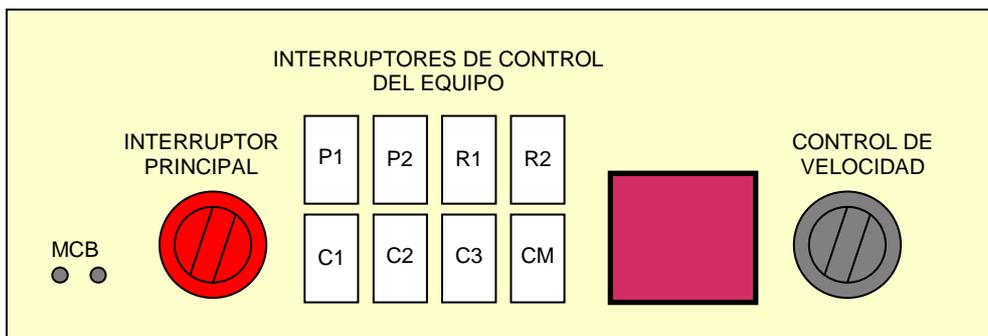
Toda esta información, en combinación con el uso de tablas y diagramas del aire húmedo y del fluido refrigerante, permite al operario demostrar y evaluar todas las transferencias de energía, y sus efectos, que tienen lugar en el aire que circula por la unidad.

## 2.2. Panel de control

Los interruptores que gobiernan cada uno de los equipos de la unidad de laboratorio Hilton A-575 se encuentran agrupados en un panel de control situado en uno de los laterales, tal y como puede apreciarse en la *Figura 2.3*.



*Figura 2.3. Panel de control de la unidad de laboratorio Hilton A-575*



*Figura 2.4. Esquema del panel de control de la unidad*

Se describe a continuación la función de cada uno de estos controles e interruptores, los cuales pueden localizarse sobre el panel de control en el esquema de la *Figura 2.4*.

### 2.2.1. Interruptor principal

Pone en marcha la unidad, una vez ésta se encuentra conectada al suministro eléctrico. Tras accionar el interruptor principal, el ventilador comenzará a girar a velocidad mínima y escucharemos cómo se abre la válvula solenoide de la caldera, que empezará a llenarse de agua.

### 2.2.2. Interruptores de control de los equipos

Son ocho interruptores bipolares y microdisyuntores combinados. Tal y como se indica en el esquema del panel de la *Figura 2.4*, estos interruptores accionan:

- Las dos resistencias eléctricas de precalentamiento (*P1* y *P2*).
- Las dos resistencias eléctricas de recalentamiento (*R1* y *R2*).
- Las tres resistencias eléctricas de la caldera (*C1*, *C2* y *C3*), para el calentamiento de agua.
- El compresor del sistema de refrigeración (*CM*).

### 2.2.3. Control de velocidad del ventilador

Situado a la derecha del panel de control. Girado en sentido horario, la velocidad del ventilador aumenta (si giramos en sentido antihorario, la velocidad disminuye). La presión mínima indicada por el manómetro inclinado no debe bajar de 3 *mm c.a.* para velocidad mínima (control de velocidad totalmente girado en sentido antihorario). El manómetro debe ser, pues, ajustado como parte del procedimiento de instalación y puesta en servicio.

### 2.2.4. Interruptor MCB

También denominado *disyuntor principal*. Situado a la izquierda del panel de control, su misión es proteger el suministro eléctrico del ventilador en condiciones de sobrecarga. También pone en circuito abierto el suministro eléctrico al contactor magnético principal. Por tanto, cuando el *MCB* del ventilador se desconecta, la unidad se para. Si los botones sobresalen, indicarán una situación de fallo y la causa deberá investigarse.

## 2.3. Servicios requeridos

### 2.3.1. Electricidad

- Tensión de 380/440 V en 3 fases, siendo

$$\frac{380}{\sqrt{3}} V = 220 V \text{ por fase}$$

a una frecuencia de 50 Hz (especificación real de red: 233 V).

- Sistema de 5 cables, comprendiendo 3 fases, punto neutro y derivación a tierra.
- Las corrientes típicas de la línea son aproximadamente de hasta 16 A por fase.

### **2.3.2. Agua (suministro a la caldera)**

El consumo de agua por parte del generador de vapor es de unos 10 L/h o, equivalentemente, 1 L cada 6 minutos. Con el fin de reducir los depósitos de cal en el interior del generador, es muy aconsejable que el agua de alimentación sea destilada o desmineralizada.

## **2.4. Puesta en marcha y desconexión de la unidad**

### **2.4.1. Consideraciones generales**

#### **2.4.1.1. Obtención de condiciones estables**

Todos los procesos en la unidad de laboratorio Hilton A-575 deberán estudiarse como procesos estacionarios de flujo continuo, con cambios insignificantes en las energías cinética y potencial. Cuando la unidad se encuentra en servicio, disipa a su entorno un máximo de 6 kW de calor sensible más 4 kW de calor latente (vapor de agua). Resulta fundamental, entonces, obtener un régimen de funcionamiento estacionario, de manera que las condiciones ambientales no varíen sustancialmente durante la operación de la unidad, y que puedan obtenerse tomas de temperatura y presión constantes.

Por todo esto, la unidad debe colocarse en una habitación con suficiente espacio y ventilación (es recomendable abrir todas las ventanas) y debe ser situada de forma que no se obstruya ni la entrada de aire en el ventilador ni el flujo de aire a través del condensador.

#### **2.4.1.2. Alimentación de agua a la caldera**

El punto de alimentación de agua al generador de vapor es un conector de mamparo, de 1/2" BSP, situado en la parte posterior del bastidor de la unidad. Debe conectarse al suministro local de agua a través de la válvula de aislamiento. El agua no fluirá a la caldera hasta que se suministre corriente eléctrica a la máquina.

#### **2.4.1.3. Ajuste de la velocidad del ventilador**

Deberá realizarse una vez la unidad esté puesta en marcha. En primer lugar, antes de accionar el interruptor principal, hemos de girar totalmente el control de velocidad del ventilador en sentido horario, hasta la velocidad máxima; es entonces cuando conectamos el interruptor principal. Escucharemos el ruido seco que produce la válvula solenoide al accionarse, y el ventilador se pondrá en marcha, funcionando a caudal máximo. Es ahora cuando reducimos la velocidad hasta el mínimo (girando el control de velocidad completamente en sentido antihorario) y comprobamos la escala sobre el manómetro inclinado: el líquido rojo debe marcar 3 mm c.a. o más. Concretamente, tras los experimentos preliminares se ha comprobado que para aire a temperatura ambiente sin tratar (es decir: sin accionar ninguno de los equipos de la unidad), el manómetro ha de marcar, aproximadamente:

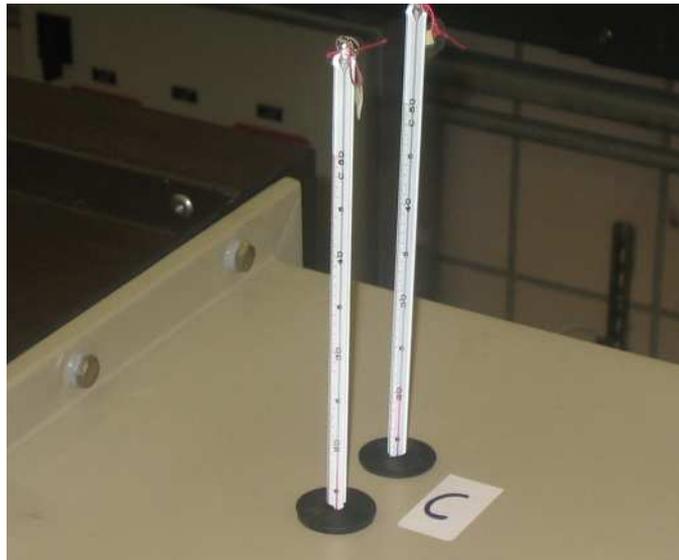
- a) A caudal mínimo: 4.3 mm.c.a.
- b) A caudal máximo: 10.7 mm c.a.

Si el ventilador funciona correctamente, este salto de aproximadamente 6.5 mm c.a. entre las velocidades mínima y máxima debe mantenerse, para cualesquiera que sean las condiciones del aire que atraviesa la unidad. De este modo, si, por ejemplo, el

manómetro inclinado fuera ajustado para que se leyeran  $6 \text{ mm c.a.}$  a caudal mínimo, la lectura a caudal máximo sería de aproximadamente  $12.5 \text{ mm c.a.}$

#### 2.4.1.4. Colocación de los termómetros

Cada una de las estaciones de medida *A*, *B*, *C* y *D* consta de un termómetro seco y un termómetro de bulbo húmedo. Ambos deben ser colocados correctamente, de forma que queden a la altura adecuada (véase *Figuras 2.5* y *2.6*). El objetivo es obtener temperaturas uniformes y representativas del estado del aire en tratamiento.



*Figura 2.5. Colocación de los termómetros en los puntos de medida de la unidad*



*Figura 2.6. Colocación de los termómetros (vista interior)*

Otros tres termómetros secos son colocados en los *Puntos 1*, *3* y *4* del ciclo de refrigeración (véase *Figura 2.7*); para el *Punto 2* se utiliza un *termómetro de contacto* con el que obtenemos la temperatura de la pared del conducto, y que servirá de aproximación a la temperatura del refrigerante en el punto de descarga del compresor. Si fuese necesario, las aberturas donde encajan estos termómetros serán rellenadas con una pequeña gota de aceite térmico, para asegurar un contacto térmico íntimo entre el bulbo del termómetro y la superficie del conducto correspondiente del ciclo de refrigeración.



*Figura 2.7. Colocación de los termómetros en los puntos del ciclo de producción de frío*

Tras finalizar la sesión de trabajo, todos los termómetros (secos y húmedos) serán retirados de la unidad y guardados correctamente. Más adelante, dentro del apartado relativo al mantenimiento, hablaremos de manera más extensa sobre el correcto manejo de los termómetros.

#### **2.4.2. Puesta en marcha de la unidad**

Se describen a continuación los pasos generales a seguir para poner en marcha la unidad:

1. Comprobar que el grifo de purga de la caldera se encuentra cerrado.
2. Colocar la probeta de condensado en la salida de agua precipitada de la batería de frío.
3. Ajustar el manómetro inclinado:
  - a) Comprobar que la burbuja de aire se mantiene en el punto medio.
  - b) Colocar a “0” el menisco de líquido rojo, ajustando la tuerca situada en la toma derecha del manómetro.
4. Enchufar la unidad a red.
5. Abrir el grifo de agua (la válvula de aislamiento) para la caldera.
6. Accionar el interruptor principal.
7. Comprobar que el ajuste de la velocidad del ventilador es correcto (véase el apartado 2.4.1.3 *Ajuste de la velocidad del ventilador*)
8. Comprobar el correcto funcionamiento del generador de vapor. Debemos escuchar cómo se acciona la válvula solenoide y cómo el agua comienza a circular hacia la caldera (a través del vidrio de observación es posible examinar el llenado). Resulta de vital importancia la existencia de agua en el interior del generador antes de que se accione cualquiera de los tres calentadores.

### **2.4.3. Operación con la unidad**

De acuerdo con los pasos hasta aquí descritos, la unidad debe encontrarse ya en marcha. A partir de este instante:

1. Colocar el control de velocidad del ventilador en la posición deseada (observando el incremento de presión, en *mm c.a.*, en el manómetro inclinado).
2. Dependiendo del experimento en cuestión y de los parámetros a investigar, accionar los controles correspondientes (a saber: unidad de refrigeración, humidificador, precalentadores y/o recalentadores).
3. Obtención de condiciones estables: tal y cómo se comentó inicialmente, ha de transcurrir un tiempo antes de que comencemos a tomar medidas, para permitir que el aire en la unidad alcance condiciones estacionarias (usualmente, entre 10 y 20 minutos, dependiendo de las condiciones ambientales locales; este tiempo será anotado, para cada uno de los experimentos realizados, en la hoja de pruebas).

Concretamente, si en la operación de la máquina interviene la planta de refrigeración, ésta no comenzará a estabilizarse hasta que el refrigerante visualizado en el rotámetro sea una columna de líquido sin burbujas. Así, cuando se introduzcan cambios en las condiciones del aire a tratar aguas arriba del evaporador, el caudal de refrigerante se verá alterado y tendremos que esperar de nuevo a que la columna de refrigerante en el rotámetro sólo contenga líquido (ciclo de frío nuevamente estabilizado).

4. Toma de datos en estado estacionario.

### **2.4.4. Desconexión de la unidad**

Se describen a continuación los pasos generales para apagar la unidad tras un periodo determinado de funcionamiento:

1. Desconectar los 8 interruptores de control.
2. Con el objetivo de eliminar el agua retenida en las aletas de la batería, ajustar el ventilador a velocidad máxima y mantener la unidad funcionando en este estado entre 15 y 20 minutos (en general, el tiempo necesario hasta que deje de caer agua de condensado en el recipiente).
3. Colocar de nuevo el control de velocidad del ventilador en la posición de velocidad mínima.
4. Apagar el interruptor principal.
5. Cerrar la válvula de aislamiento del agua suministrada al generador de vapor.
6. Purgado de la caldera: tras el enfriamiento del generador (periodo comprendido entre una hora y media y dos horas), colocar el recipiente bajo la salida de agua y abrir el grifo de purga. Este desagüe puede durar un mínimo de 3 horas; por esta razón se recomienda abandonar el laboratorio y, previamente al comienzo de la siguiente sesión, retirar el recipiente, cerrar el grifo de purga y medir, si fuera necesario, el volumen de agua desalojado del generador.
7. Retirar y vaciar la probeta de condensado de la batería, para volver a colocarla en su sitio.
8. Desconectar el suministro eléctrico y cubrir la unidad con la funda protectora.

## **2.5. Mantenimiento y seguridad**

### **2.5.1. Notas generales sobre la seguridad en la unidad**

#### **2.5.1.1. Interruptores disyuntores.**

Todos los componentes eléctricos son encendidos individualmente por medio de interruptores disyuntores de circuito miniatura, para proteger contra sobrecarga y cortocircuito.

#### **2.5.1.2. Interruptor de Circuito de Corriente Residual (RCCB)**

Situado dentro del tablero de control, adyacente al punto de entrada del cable de potencia. El *RCCB* protege a la unidad mediante el corte del suministro eléctrico, en caso de que las corrientes de entrada y salida difieran en más de 30 mA (como sucede, por ejemplo, al darse una eventual fuga a tierra).

Este interruptor debe ser examinado por personal competente en intervalos de tiempo de acuerdo con las disposiciones locales.

#### **2.5.1.3. Regulador de velocidad del ventilador**

Está programado para que exista un flujo de aire adecuado tan pronto como el enchufe de tres fases es accionado, con el objetivo de asegurar que los calentadores no son encendidos sin que exista flujo de aire.

### **2.5.2. Circuito de refrigeración**

#### **2.5.2.1. Fugas en el circuito**

La unidad de producción de frío ha sido cargada correctamente en los talleres de P. A. Hilton Ltd. con 1.36 kg de refrigerante *R-134a* (Tetrafluoroetano,  $CF_3CH_2F$ ).

Si se percibe un continuo gaseo en el caudalímetro (rotámetro instalado justo en el punto de entrada del refrigerante en el dispositivo de expansión), es posible que exista una fuga. Asumiendo que la presión de refrigeración se encuentra por encima de la atmosférica, las fugas se detectarán por cualquiera de los procedimientos habituales (solución jabonosa o detectores electrónicos).

#### **2.5.2.2. Control del sobrecalentamiento**

Llevado a cabo por la válvula de expansión, se encuentra ajustado para dar, en condiciones normales, entre 4 y 8 °C de sobrecalentamiento a la salida del evaporador. Si fuese necesario ajustarlo de nuevo:

1. Retirar la tapa de rosca de la válvula de expansión.
2. Girar el tornillo de cabeza cuadrada en sentido horario, para aumentar el sobrecalentamiento (o en sentido antihorario, para reducirlo)

Estos ajustes deben llevarse a cabo con la unidad en funcionamiento y en incrementos pequeños (de 1/4 de vuelta), para darle tiempo al ciclo a estabilizarse en cada ajuste.

### **2.5.2.3. Corte por alta presión**

La unidad de refrigeración posee un disyuntor de alta presión del refrigerador, con reajuste manual, situado en la parte contigua al compresor (frente al depósito de líquido).

Si la presión en el condensador excede los  $1400 \text{ KN/m}^2$  (por ejemplo, debido a una restricción del flujo de aire para evacuar el calor), el sistema de corte desconectará el compresor del ciclo, manteniendo el ventilador del condensador en funcionamiento.

Cuando la presión en el condensador cae por debajo de  $800 \text{ KN/m}^2$ , el compresor debe conectarse de nuevo, manualmente, y se reajustará el botón verde situado en la parte superior del sistema de corte.

### **2.5.2.4. Formación de hielo en el evaporador**

Es posible que, con bajos caudales de aire, acompañados de bajos valores de la temperatura ambiente, las condiciones de evaporación del refrigerante caigan por debajo de  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  o de  $300 \text{ KN/m}^2$  (valores de temperatura y presión en el punto 4 del ciclo, entrada al evaporador). Si esto ocurriese, podría formarse hielo en la superficie de los tubos del evaporador en contacto con el aire, en las aletas y en la válvula de expansión.

El funcionamiento durante algunos minutos en este estado no producirá ningún daño en los equipos de la unidad; no obstante, tras un tiempo prolongado, el hielo puede terminar impidiendo el flujo de aire a través de la batería.

Si los parámetros de operación del evaporador llegasen a alcanzar los valores anteriores, las principales opciones para detener la formación de hielo son aumentar el caudal de aire en la unidad y/o encender los precalentadores de aire. Con cualquiera de estas dos soluciones se consigue aumentar la carga sobre la batería, obligando al evaporador a operar con valores mayores de presión y temperatura.

### **2.5.2.5. Limpieza**

El condensador enfriado por aire debe mantenerse siempre limpio. Si se ha permitido el depósito de polvo o pelusa sobre las superficies de transferencia, éstas pueden limpiarse con un cepillo o con un chorro de aire comprimido.

## **2.5.3. Generador de vapor**

### **2.5.3.1. Alimentación con agua sin tratar**

Si se utiliza agua destilada para alimentar la caldera, ésta no necesitará un especial cuidado. Sin embargo, si se utilizara agua sin tratar procedente de la red local:

- Hay que realizar la purga del generador después de cada sesión de trabajo con la unidad, para evitar la acumulación de sarro.
- Los elementos calentadores del generador deben descalcificarse tras un uso prolongado. Estos elementos son perfectamente accesibles al retirar la tapa de la caldera.

### **2.5.3.2. Formación de espuma**

Si la concentración de impurezas en el agua es elevada, podría existir tendencia a la formación de espuma en el interior del generador. Esta espuma puede causar un comportamiento errático del nivel del agua en el vidrio de observación, existiendo

incluso la posibilidad de que se descarguen gotas de líquido junto al vapor en el conducto hacia el humidificador. Cuando esto suceda:

1. Apagar los calentadores del generador.
2. Cerrar el suministro de agua.
3. Drenar la caldera.

Finalizada la purga, se abriría de nuevo la válvula de aislamiento y procederíamos a un nuevo llenado de la caldera, comprobando que el nivel de agua asciende a la posición normal.

## **2.5.4. Elementos de instrumentación**

### **2.5.4.1. Manómetro inclinado**

El manómetro inclinado ha sido llenado y sellado correctamente en los talleres de P. A. Hilton Ltd. Si fuese necesario rellenarlo o nivelarlo, ha de usarse el fluido adecuado (suministrado con la unidad) o, en caso de utilizar un líquido alternativo, asegurarse de que tenga la gravedad específica correcta, asociada a la escala del manómetro.

### **2.5.4.2. Termómetros de bulbo húmedo**

Es de vital importancia sumergir en agua los termómetros de bulbo húmedo para su almacenaje, tras la finalización de la sesión y el apagado de la máquina. La principal razón es evitar que se sequen las mechas.

Además, para impedir la acumulación de sarro o impurezas en las mechas (lo cual reduce sus propiedades de absorción) es recomendable usar agua destilada o desmineralizada para rellenar los tanques o botellas donde descansan los sensores mientras no son utilizados. Sin ir más lejos, el condensado procedente de la sección de enfriamiento y deshumidificación puede considerarse a estos efectos como agua destilada; puede ser, por tanto, utilizado en el mantenimiento y la conservación de los termómetros de bulbo húmedo.

Si resultara necesario reemplazar las mechas de los sensores, es esencial que la nueva mecha se encuentre en firme contacto térmico con el bulbo; para ello, hay que tirar de la mecha en dirección axial (lo que causará su contracción en círculo) y fijarla después con anillos circulares o con bandas elásticas.

