



4. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN.

En este apartado se describirán todos los aspectos relativos a la instalación de la central térmica dentro de los límites que abarca el proyecto. Se deben recordar como prescripciones importantes:

- Hay que proteger la bomba de circulación y el generador térmico en general de la instalación.
- Hay que emplear dilatadores térmicos o tubos flexibles.
- Hay que efectuar la implantación de forma que se consienta la libre dilatación de las tuberías, recordando que a 300 °C la dilatación lineal es aproximadamente de 3 mm/m.
- Hay que instalar las tuberías con una pendiente de 5 mm/7m.
- Hay que proteger todos los puntos altos de la instalación con válvulas de aireación.

4.1. MONTAJE MECÁNICO.

4.1.1. Nueva sala de calderas

La unificación de las distintas salas de calderas que actualmente existen en la planta en una única sala está justificado principalmente por el hecho de unificar toda la generación de energía térmica en un único generador. Además, de esta forma, se pueden corregir irregularidades existentes en la situación actual conforme a la legislación vigente.

Así, a pesar de que la obra civil no es objeto de este proyecto, si conviene resaltar que la construcción de la sala de calderas deberá cumplir la norma UNE 9-013-92, relativa a sala de calderas, así como el Reglamento de Aparatos a Presión (ITC MIE AP1, Capítulo V), ya que si bien, esta norma se refiere a instalaciones asociadas a calderas de vapor, este proyecto incluye un intercambiador-generador de vapor que produce 5.000 Kg./h de vapor a 10 bar, por lo que deben considerarse todas las restricciones que la normativa impone de forma que se garantice la seguridad.

Por otro lado, el RAP, en el capítulo IV de la ITC MIE AP1, establece que se considerarán de categoría C las calderas de fluido térmico en las que la presión máxima a 20 °C, con la instalación parada (presión estática), no exceda de 5 Kg./cm² en el punto más bajo y de 0.5 Kg./cm² en el punto más alto. También indica que aun siendo de categoría C, cuando la capacidad de estas calderas sea superior a 5.000 litros, se instalarán al aire libre o en un lugar independiente. Para las demás calderas de fluido térmico se establece que su clasificación se hará de acuerdo con la fórmula $V \times P$, siendo V el volumen de aceite contenido en la caldera. En este caso, el volumen de la caldera de fluido térmico es de 2250 litros, por lo que se encontraría dentro de la categoría C, y no necesitaría sala de calderas.

Por tanto, según la norma UNE, la sala de calderas debe ser dimensionada de forma que se facilite la ejecución de todas las operaciones de mantenimiento, funcionamiento y supervisión de las calderas allí situadas. Las zonas para el mantenimiento y conducción deben disponer de una altura libre sobre el suelo de 2 m. y de paso libre de 1 m. de anchura mínima. Para las demás zonas, se considera suficiente un paso de 0.50 m. de anchura.



Todas estas dimensiones serán tenidas en cuenta para la implantación de los equipos y tuberías dentro de la sala de calderas.

Además de todo esto, la sala de calderas deberá adecuarse a la norma en lo que se refiere a la accesibilidad, ventilación, espesores, iluminación, etc.

En conclusión, se realizará el montaje de la nueva central de aceite térmico, comprendiendo la instalación de caldera de aceite térmico, chimenea de extracción de humos, grupo de bombeo con valvulería, colectores de ida y retorno de fluido térmico, intercambiadores de calor aceite-vapor y aceite-agua, depósito de expansión-desgasificación y depósitos de agua para los sistemas de vapor y de agua caliente.

Tanto el depósito de expansión-desgasificación como los de agua deben ser colocados en altura. La estructura de soportación, puede ser metálica o de obra civil.

El depósito de recogida de aceite térmico se emplazará dentro o fuera de la sala de calderas pero siempre en el punto más bajo, siendo recomendable la colocación en un foso.

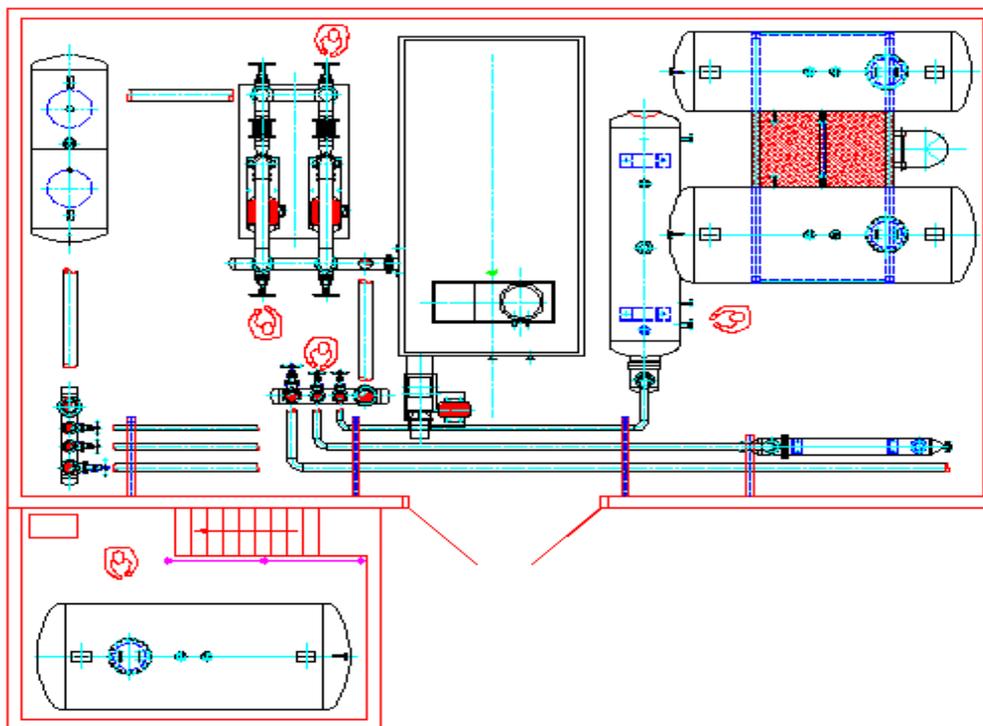


Fig. 4.1. Planta de la nueva sala de calderas.

Para los cálculos en tuberías de aceite térmico y en general, de toda la instalación objeto del proyecto, se utilizarán como guía las prescripciones de RAP en su Instrucción Técnica Complementaria ITC-MIE-AP2, referente a tuberías para fluidos relativos a calderas. En dicho reglamento se van fijando estas prescripciones siguiendo una serie de puntos, que son:

1. Materiales.

Se indica el material que se debe utilizar en base a la norma UNE y a las características de temperatura y presión. Además se indica la presión de diseño que se debe tomar y, en general, todas las características de bombas, válvulas, juntas y demás accesorios, en lo que a materiales se refiere.



2. Diámetro de la tubería.

Se fija una velocidad máxima de circulación para el aceite térmico de 3,5 m/s.

3. Uniones.

Se indica en este punto la forma de efectuar las uniones entre elementos de la instalación según los casos.

4. Ensayos y pruebas.

Se establecen los criterios que deben seguirse a la hora de efectuar las pruebas y lo ensayos de la instalación en función de su peligrosidad, vibraciones, etc.

5. Puesta en servicio.

En este punto se indica que se debe liberar la instalación de agua al proceder a su llenado de fluido, así como comprobar el perfecto llenado del aceite de la instalación previendo los adecuados puntos de salida del aire contenido.

6. Instalación.

Es el punto más importante para el diseño, y su contenido se resume:

- La instalación de tuberías y accesorios para fluidos térmicos estará de acuerdo con la norma UNE 9 310.
- Las tuberías podrán ser aéreas o enterradas, pero en todos los casos deberán ser accesibles, por lo que las enterradas serán colocadas en canales cubiertos. Cuando la tubería deba cruzar por el interior de un edificio, todas las uniones en aquel tramo serán soldadas.
- Para las tuberías de conducción de fluidos térmicos deberá disponerse el aislamiento conveniente para disminuir al máximo las pérdidas caloríficas, según decreto 1490/1975. Las tuberías de llenado, rebosado y expansión no serán recubiertas por aislamiento alguno.
- Quedan prohibidos todos los tipos de compensadores de dilatación que no ofrezcan garantía absoluta de estanqueidad por rotura del fuelle.
- Para evitar que los esfuerzos de dilatación graviten sobre las calderas, bombas, depósitos y aparatos consumidores, deberán preverse los correspondientes puntos fijos en las tuberías con el fin de descargar totalmente de sollicitaciones a aquellos.
- Los equipos de bombeo, equipos consumidores, válvula de regulación o aparatos análogos podrán ser seccionados de la instalación mediante las apropiadas válvulas, con el fin de facilitar las operaciones de mantenimiento y reparación sin vaciar completamente la instalación.
- Todos los equipos de bombeo dispondrán en su lado de impulsión de un manómetro.
- Todas las bombas de tipo volumétrico, desprovistas de sistemas limitador de presión incorporado, cuando exista válvula de seccionamiento, dispondrán a la salida de las mismas de una válvula de seguridad que limite la presión máxima alcanzable, según la presión de diseño de la instalación. El escape de la válvula de seguridad se conducirá al depósito colector.



- Las instalaciones de fluidos térmicos deberán ser realizadas de tal forma que puedan ser vaciadas totalmente, recuperando su contenido en el depósito colector.

En el artículo 6º de la Instrucción Técnica ITC MIE AP2 se desarrollan todos los puntos anteriores.

4.1.2. Calculo de elementos

En este apartado se dimensionará la instalación tomado como datos de partida las especificaciones de los distintos suministradores de los equipos así como las restricciones que nos impone el reglamento.

4.1.2.1. Línea principal de fluido térmico

Con las prescripciones anteriores tenemos:

- Caudal máximo (Q): 240 m³/h
- Velocidad de circulación máxima (v): 3,5 m/s

De donde, despejando de la fórmula:

$$Q = v \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

obtenemos un diámetro interior de tubería de 156 mm.. Por tanto, el diámetro nominal inmediatamente superior es DN200.

Se instalará entonces una sola línea calorifugada de ida y retorno de **DN200** construida acero A-106 Gr. B, desde la cual se distribuirá fluido térmico a los colectores de envío y retorno emplazados en la sala de calderas.

Esta línea enlazará los colectores mencionados con la caldera, el grupo de bombeo y el tanque de expansión – desgasificación.

4.1.2.2. Depósito de expansión-desgasificador

La caldera, según normas UNE, debe estar unida, a través de una tubería de expansión, con un depósito capaz de absorber 1,3 veces el aumento de volumen del fluido térmico de toda la instalación. En el caso particular de este proyecto, se adoptó una forma particular de depósito donde se efectuaba de forma conjunta una primera etapa de desgasificación y una posterior etapa de expansión. El factor fundamental, como ya se ha comentado, para desarrollar todos estos cálculos es el volumen total de la instalación.

Se dimensiona en primer lugar el volumen de domo desgasificador necesario a partir de la expresión:

$$V_{desgasificador} = V_{total} \cdot C_d \cdot \frac{\Delta T}{2}$$



donde:

- $V_{desgasificador}$: Volumen mínimo de tanque desgasificador. En este caso, será un domo o tetón.
- V_{total} : Volumen total de fluido térmico de la instalación. En este caso es 9.500 litros
- C_d : Coeficiente de dilatación cúbica del fluido térmico. En el caso de un fluido mineral, ese coeficiente es $0,00077 \text{ m}^3 / ^\circ\text{C} * \text{m}^3$.
- ΔT : Delta T del fluido térmico. En este caso es igual a $50 \text{ }^\circ\text{C}$

Haciendo los cálculos se obtiene que:

$$V_{desgasificador} = 182,87 \text{ litros}$$

Se adoptará entonces, un tamaño de domo desgasificador de **200 litros** de volumen.

A continuación, se dimensiona el depósito de expansión a partir de la expresión:

$$V_{expansion} = V_{total} \cdot C_d \cdot T_{max} \cdot CS$$

donde:

- $V_{expansion}$: Volumen mínimo de tanque de expansión.
- V_{total} : Volumen total de fluido térmico de la instalación. En este caso es 9990 litros
- C_d : Coeficiente de dilatación cúbica del fluido térmico. En el caso de un fluido mineral, ese coeficiente es $0,00077 \text{ m}^3 / ^\circ\text{C} * \text{m}^3$.
- T_{max} : Temperatura máxima del fluido térmico. En este caso es $300 \text{ }^\circ\text{C}$.
- CS : Coeficiente de seguridad. Según norma es 1,3 (30%).

Haciendo los cálculos se obtiene que:

$$V_{expansion} = 2.852,85 \text{ litros}$$

Se adoptará entonces, un volumen de tanque de expansión de **3.000 litros**. El domo de expansión o buffer termal, se dimensionará con el mismo volumen que el domo desgasificador, es decir, será de 200 litros y, además de desempeñar la función descrita en el capítulo anterior, supone una seguridad adicional frente a la expansión del fluido térmico.



4.1.2.3. Depósito colector

Como se dijo en el capítulo anterior, según norma UNE, toda instalación fija de fluido térmico de capacidad total mayor de 1.000 litros, como es el caso, debe disponer de un depósito colector situado en el punto más bajo de la misma, capaz de recibir la cantidad total de fluido de la instalación. Además, dispondrá de un dispositivo de ventilación y llenado, que se dimensionará en el punto siguiente.

La instalación objeto del proyecto tiene una cantidad de fluido total aproximado de 9.990 litros, por lo que se adoptará un volumen de tanque de recogida de **15.000 litros**, suficiente para cubrir la capacidad total con garantías de seguridad. Esto da unas dimensiones de tanque estandarizado de:

- Diámetro de virola: 2.200 mm.
- Longitud de virola: 3.950 mm.
- Espesor: 5 mm.

El depósito, como indica la norma, dispondrá de:

- Un indicador de nivel visual.
- Una tubería de conexión con el depósito de expansión, que de comenta a continuación.
- Una tubería de vaciado con su correspondiente válvula.
- Una abertura para inspección y limpieza.

4.1.2.4. Tubería de expansión

La norma UNE establece que el diámetro de la tubería entre el generador de calor y el depósito de expansión será como mínimo de 15 mm. y se calculará en función de parámetros tales como volumen total de líquido en la instalación, potencia térmica, temperatura máxima de servicio, etc.. Además, indica que en su interior el líquido debe fluir entre caldera y depósito, o viceversa, incluso en las condiciones más desfavorables sin sobrepasar nunca la velocidad de 0,5 m/s. En el caso de este proyecto, y tal y como se explicó en el capítulo anterior, la expansión se produce de una forma particular, a través de una tubería que une el domo desaireador con el buffer termal. Lo que se calculará por tanto en este apartado es el diámetro de esa conexión entre tetones.

Con todo lo anterior, la norma llega a una expresión para el diámetro mínimo de la tubería de expansión:

$$D_{expansion} = 0.04 \cdot \sqrt{Q}$$

donde:

- $D_{expansion}$: Diámetro nominal mínimo de la tubería de expansión, calculada en mm.
- Q : Potencia de calor instalada, en Kcal./h. En este caso, 6.000.000 Kcal./h.

Haciendo los cálculos se obtiene que:



$$D_{\text{expansion}} = 97.98 \text{ mm.}$$

Se instalará entonces una línea no calorifugada, tal y como indica la ITC MIE AP2, de **DN125**, construida acero A-106 Gr. B, entre el domo desgasificador y el domo de expansión.

4.1.2.5. Colectores

No existe normativa específica relativa al diseño de colectores de fluido térmico. Únicamente se dan una serie de recomendaciones genéricas acerca de los materiales a emplear, velocidades, etc. que son similares a las dadas para tuberías.

Para el diseño de los colectores, se utilizará entonces el procedimiento indicado en una hoja técnica de cálculo empleada por fabricantes e instaladores de estos elementos. Para explicarlo es conveniente revisar la figura y la tabla siguientes:

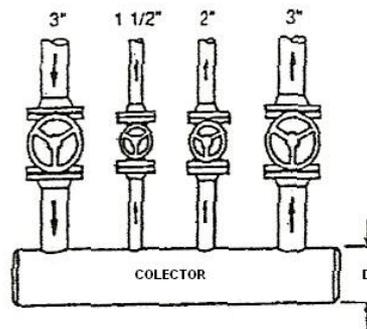


Fig. 4.2. Colector de fluido térmico.

Diámetro tubo	DN (mm)	D_{ext} (mm)	D_{int} (mm)	Sec. Interna (cm ²)
1/2"	15	21.3	18.6	2.19
3/4"	20	26.9	22.2	3.91
1"	25	33.7	27.9	6.11
1 1/4"	32	42.4	36.6	10.50
1 1/2"	40	48.3	42.5	14.20
2"	50	60.3	53.8	22.80
2 1/2"	65	76.1	69.6	38.20
3"	80	88.9	81.6	52.40
4"	100	114.3	106.2	88.70
5"	125	139.7	129.9	134.00
6"	150	165.0	155.2	197.00
8"	200	216.0	204.0	343.00
10"	250	267.0	254.0	508.00

Tabla 4.1. Cálculo del diámetro del colector.



El procedimiento consiste en sumar las secciones interiores de las tuberías que salen del colector, ese resultado incrementarlo un 50%, y por último, al valor obtenido aplicarle la expresión:

$$D_{colector} = 10 \cdot \sqrt{\frac{Sup. total de salida \cdot 1,5}{0,785}}$$

Utilizando los datos del proyecto para el colector de salida:

- Tubería de entrada de fluido térmico de caldera: DN 200
- Tubería de salida al sistema de generación de vapor: DN 125
- Tubería de salida al sistema de generación de agua caliente: DN 100
- Tubería de salida al sistema de fluido térmico: DN 100

Por tanto, cogiendo las salidas y tomando datos de la tabla:

- DN 125: 134,00 cm²
- DN 100: 88,70 cm²
- DN 100: 88,70 cm²

La suma de la superficie total de salida es 311,40 cm², por lo que, aplicando la expresión, se tiene que:

$$D_{colector} = 10 \cdot \sqrt{\frac{311,40 \cdot 1,5}{0,785}} = 244 \text{ mm.}$$

Se instalará entonces un colector de ida calorifugado con un diámetro de **DN250** construida acero A-106 Gr. B, desde la cual se distribuirá fluido térmico a los distintos servicios.

Para el colector de retorno, como se trata de un circuito cerrado, tal y como se comentó en el anterior capítulo, se adoptara el mismo diámetro.

4.1.2.6. Líneas secundarias de fluido térmico

De igual manera, tomando las mismas hipótesis de partida fijadas por la norma, se realizarán los cálculos de diámetros para los distintos servicios del aceite térmico, es decir, para la utilización directa de dicho aceite, para la producción de vapor a través de un intercambiador aceite – vapor, y para la producción de agua caliente a través de otro intercambiador aceite – agua.

Para ello, se enlazarán los colectores de ida y retorno de fluido térmico con los usuarios de acuerdo a la manera que sigue:

- **Sistema de generación de vapor:**

Para calcular el flujo másico de fluido térmico se parte de:



- Potencia instalada (P): 2.500.000 Kcal./h
- Calor específico a 280 °C (C_p): 0.676 Kcal./Kg. °C
- Salto térmico del fluido (ΔT): 280 °C – 240 °C
- Densidad del fluido térmico a 280 °C (ρ): 697 Kg./m³

Aplicando la ecuación:

$$P = Q \cdot C_p \cdot \Delta T \cdot \rho$$

se obtiene un caudal de fluido térmico para producción de vapor de 133 m³/h.

Por tanto, los datos de partida son:

- Caudal máximo (Q): 133 m³/h
- Velocidad de circulación máxima (v): 3,5 m/s

De donde, despejando de la fórmula:

$$Q = v \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

se obtiene un diámetro interior de tubería de 116 mm.. Por tanto, el diámetro nominal inmediatamente superior es DN125.

Se instalará entonces una línea calorifugada de **DN-125** en A-106 Gr. B entre colectores e intercambiador de calor aceite-vapor, incluyendo el montaje del sistema de regulación de temperatura por medio de válvula de tres vías.

- **Sistema de generación de agua caliente:**

Para calcular el flujo másico de fluido térmico se parte de:

- Potencia instalada (P): 1.300.000 Kcal./h
- Calor específico a 280 °C (C_p): 0.676 Kcal./Kg. °C
- Salto térmico del fluido (ΔT): 280 °C – 240 °C
- Densidad del fluido térmico a 280 °C (ρ): 697 Kg./m³

Aplicando la ecuación:

$$P = Q \cdot C_p \cdot \Delta T \cdot \rho$$

se obtiene un caudal de fluido térmico para producción de vapor de 69 m³/h.



Por tanto, los datos de partida son:

- Caudal máximo (Q): 69 m³/h
- Velocidad de circulación máxima (v): 3,5 m/s

De donde, despejando de la fórmula:

$$Q = v \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

se obtiene un diámetro interior de tubería de 84 mm.. Por tanto, el diámetro nominal inmediatamente superior es DN100.

Se instalará entonces una línea calorifugada de **DN-100** en A-106 Gr. B entre colectores e intercambiador de calor aceite-agua. Deberá incluirse además el montaje del sistema de regulación de temperatura por medio de válvula de tres vías.

- **Línea de fluido térmico:**

Para calcular el flujo másico de fluido térmico se parte de:

- Potencia instalada (P): 800.000 Kcal./h
- Calor específico a 280 °C (C_p): 0.676 Kcal./Kg. °C
- Salto térmico del fluido (ΔT): 280 °C – 240 °C
- Densidad del fluido térmico a 280 °C (ρ): 697 Kg./m³

Aplicando la ecuación:

$$P = Q \cdot C_p \cdot \Delta T \cdot \rho$$

se obtiene un caudal de fluido térmico para producción de vapor de 43 m³/h.

Por tanto, los datos de partida son:

- Caudal máximo (Q): 43 m³/h
- Velocidad de circulación máxima (v): 3,5 m/s

De donde, despejando de la fórmula:

$$Q = v \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

se obtiene un diámetro interior de tubería de 63 mm.. Por tanto, el diámetro nominal inmediatamente superior es DN100.



Se instalará entonces una línea calorifugada de **DN-100** en A-106 Gr. B entre colectores y sala de calderas de aceite térmico actual.

4.1.2.7. Sistema de producción de vapor

Se realizara en este punto el montaje e interconexión de intercambiador aceite-vapor, depósito de agua, bomba de circulación, descalcificador y todos los accesorios del sistema incluyendo niveles, termómetros, etc.

Deberá preverse que la toma de agua de aporte se hallará dentro de la sala de calderas a pie de equipos.

- Cálculo de la línea de vapor:

La salida de vapor del intercambiador será conducida a la sala de calderas de vapor existente por medio de una línea calorifugada de DN-100 en A-106 Gr. B. El retorno de condensados será conducido por una línea de 2" de vuelta al depósito de condensados emplazado en la nueva sala de calderas.

4.1.2.8. Sistema de producción de agua caliente

Se realizara el montaje e interconexión de intercambiador aceite-agua, con su sistema de alimentación, que incluye depósito de agua, bomba de circulación y accesorios. La toma de agua de aporte deberá hallarse dentro de la sala de calderas a pie de equipos.

- Cálculo de la línea de agua caliente

La entrada de agua de retorno al tanque de agua y la salida del intercambiador serán conducidas a la sala de calderas de agua caliente actual por medio de dos líneas calorifugadas de DN-50 en A-106 Gr. B. La tirada estimada para estas líneas es de 90 metros cada una.

4.1.2.9. Sistema de aporte de agua

Como ya se ha comentado, el intercambiador de fluido térmico y vapor es considerado por la normativa como una caldera a todos los efectos. Por tanto debe acogerse a las restricciones y especificaciones que la norma marca para estos equipos. Una de estas especificaciones trata acerca de la necesidad de adecuar el agua de aportación marcando unos límites en los parámetros principales de dicho agua. Es este caso, esa norma es la UNE EN-12953-10¹. En ella se fija una calidad mínima necesaria del agua de aportación a la caldera que se refleja en el siguiente cuadro:

¹ Esta norma se refiere a la calidad del agua en calderas pirotubulares en las que los humos circulan por el interior de los tubos y el agua los rodea por la parte externa. En este proyecto circula aceite térmico por el interior de los tubos y no humos, pero el agua trabaja de la misma forma y, por tanto, es coherente utilizar esta norma.



Parámetro	Unidades	Agua de alimentación para calderas de vapor		Agua de relleno para calderas de agua caliente
		> 0,5 a 20	>20	Intervalo total
Presión de servicio	Bar (=0,1 MPa)	> 0,5 a 20	>20	Intervalo total
Apariencia	-	Clara, libre de sólidos en suspensión		
Conductividad directa a 25 ° C	μS/cm	No especificada, sólo hay valores guía correspondientes al agua de caldera, véase la tabla 4.3.		
Valor del PH a 25 ° C	-	> 9,2 ^b	> 9,2 ^b	>7,0
Dureza total (Ca+Mg)	mmol/l	<0,01 ^c	<0,01	<0,05
Concentración de hierro (Fe)	mg/l	<0,3	<0,1	<0,2
Concentración de cobre (Cu)	mg/l	<0,05	<0,03	<0,1
Concentración de sílice (SiO ₂)	mg/l	No especificada, sólo hay valores guía correspondientes al agua de caldera, véase la tabla 4.3.		-
Concentración de oxígeno (O ₂)	mg/l	<0,05 ^d	<0,02	-
Concentración de aceite/grasa (véase la norma EN 12953-6)	mg/l	<1	<1	<1
Concentración de sustancias orgánicas (como COT)	-	Véase nota ^e al pie de tabla		

Tabla. 4.2. Características del agua de alimentación

^a Con aleaciones de cobre en el sistema, el valor del PH debe mantenerse en el intervalo 8,7 a 9,2

^b Con agua ablandada de valor de pH > 7,0 debería considerarse el valor del pH del agua de caldera de acuerdo con la tabla de características del agua en el interior del intercambiador.

^c A presión de servicio <1 bar debe ser aceptable una dureza total máxima de 0,05 m mol/L.

^d En lugar de observar este valor, en funcionamiento intermitente o en funcionamiento sin desaireador, deben utilizarse agentes que formen película y/o un exceso de reductor de oxígeno.

^e las sustancias orgánicas son generalmente una mezcla de varios compuestos diferentes. La composición de tales mezclas y el comportamiento de sus componentes individuales en las condiciones de funcionamiento de la caldera son difíciles de predecir. Las sustancias orgánicas pueden descomponerse para formar ácido carbónico u otros productos de descomposición ácida que aumentan la conductividad ácida y causarán corrosión o depósitos. Esto puede llevar también a la formación de espuma y/o de arrastres de agua con el vapor que deben mantenerse tan bajos como sea posible.



También marca la norma UNE EN-12953-10 la calidad mínima del agua en el interior del intercambiador, como se refleja en el cuadro:

Parámetro	Unidad	Agua de la caldera para calderas que utilizan			Agua de la caldera para calderas de agua caliente
		Agua de alimentación de conductividad directa > 30 $\mu\text{S/cm}$		Agua de alimentación de conductividad directa \leq 30 $\mu\text{S/cm}$	
Presión de servicio	Bar (0,1 Mpa)	>0,5 a 20	>20	>0,5	Intervalo total
Apariencia	-	Clara, sin espuma estable			
Conductividad directa a 25 °C	$\mu\text{S/cm}$	< 6000 ^a	Véase fig. 5-1 ^a	< 1500	< 1500
Valor de pH a 25°C	-	10,5 a 12,5	10,5 a 11,8	10 a 11 ^{b,c}	9,0 a 11,5 ^d
Alcalinidad compuesta	mmol/l	1 a 15 ^a	1 a 10 ^a	0,1 a 1,0 ^c	<5
Concentración de sílice (si O ₂)	mg/l	Dependiente de la presión, de acuerdo con la figura 5-2			-
Fosfato (PO ₄) ^e	mg/l	10 a 30	10 a 30	6 a 10	-
Sustancias orgánicas	-	Véase la nota ^f al pie de tabla			-

Tabla. 4.3. Características del agua en el interior

^a Con recalentador se considera como valor máximo el 50% del valor más alto indicado.

^b El ajuste del pH básico se hace por inyección de Na₃ PO₄, y una inyección adicional de Na OH sólo si es el valor del pH < 10.

^c si la conductividad ácida del agua de alimentación de la caldera es < 0,2 $\mu\text{S/cm}$, y su concentración de Na+K es < 0,010 mg/l, no es necesaria la inyección de fosfato. Alternativamente puede aplicarse AVT (Tratamiento Totalmente volátil, agua de alimentación con pH \geq 9,2 y agua de la caldera con pH \geq 8,0) cuando la conductividad ácida del agua de la caldera es < 5 $\mu\text{S/cm}$.

^d Si en el sistema hay presentes materiales no ferrosos, por ejemplo, aluminio, puede requerir un valor inferior del pH y de la conductividad directa; sin embargo, la protección de la caldera tiene prioridad.

^e Si se utiliza un tratamiento de fosfato coordinado; considerando todos los demás valores, son aceptables concentraciones de PO₄ más altas.

^f Véase ^e en la tabla anterior de características del agua de aportación.



Con todo lo anterior y partiendo de las características de la planta objeto del proyecto, se tomarán las siguientes hipótesis de diseño:

- Retorno de condensados: 50%
- Dureza agua bruta: 30 °F
- Horas de trabajo caldera: 16 h/diarias.
- Caudal de trabajo: 2,5 m³ /h , la mitad de la producción de vapor.

El fabricante de la resina de intercambio iónico², de la que se incluyen las hojas técnicas en los anexos del proyecto, da para la resina considerada una capacidad de intercambio por litro de resina de 5,6 m³ °F / L. Por tanto, para calcular la resina necesaria para la descalcificación, considerando que la regeneración³ de la resina se producirá diariamente en las horas de parada, será:

$$\text{Capacidad regeneración necesaria} = 2,5 \text{ m}^3 / \text{h} * 16 \text{ h/día} * 30 \text{ °F} = 1.200 \text{ m}^3 \text{ °F}$$

$$\text{Cantidad necesaria resina} = 1.200 \text{ m}^3 \text{ °F} / 5,6 \text{ m}^3 \text{ °F} / \text{L} = 214,3 \text{ L. de resina}$$

Con estas condiciones se instalará un descalcificador cronométrico⁴ con un volumen de resina de **220 litros**. El descalcificador incluirá un depósito de salmuera para regeneración de la resina.

Como se comentó en el capítulo dedicado a la descripción de los equipos, se instalará, para la parte de generación de vapor, un tanque de alimentación de agua al intercambiador y de recogida de los condensados de 6.000 litros. La adopción de este tamaño sólo se justifica por la horas de autonomía que se desea que tenga la planta en caso de interrupción del suministro de agua. En este caso, esa autonomía será de:

$$6.000 \text{ litros} / 5000 \text{ litros/hora} = 1,2 \text{ horas de autonomía}$$

Para el sistema de generación de agua caliente se ha adoptado un tanque de tamaño similar. En este caso, es motivo es mantener una simetría de los equipos así como unificar los repuestos necesarios para ambos tanques de agua. La autonomía del sistema de generación de agua caliente con este tamaño de tanque será:

$$6.000 / 30.000 = 0,2 \text{ horas de autonomía}$$

² En la descalcificación, la resina, que se suministra en forma de Na⁺, intercambia estos iones por los de calcio contenidos en el agua, eliminando así la dureza de la misma, que se mide en °F.

³ La resina acaba colmatándose y hay que proceder a su regeneración mediante un lavado a contracorriente con agua en salmuera, de forma que se repongan los iones de sodio. Esto ha de realizarse en las horas de parada de la caldera, en las que no necesita aporte de agua nueva.

⁴ Controla que se produzca la regeneración cada cierto número de horas. De esta forma se puede asegurar la regeneración diaria de la resina.



4.1.2.10. Chimenea

Se seguirán las indicaciones de la norma UNE 9-108-86, donde se establecen los criterios básicos a tener en cuenta en el diseño de chimeneas, así como la norma UNE 123-001-94, donde se describen los procedimientos de cálculo. Según estas normas, la chimenea debe diseñarse para que resista las acciones estáticas y dinámicas producidas por las distintas cargas y actuaciones que se puedan producir sobre ella.

Se indican además ciertos parámetros a tener en cuenta a la hora del diseño de la chimenea, como son:

- Espesor mínimo: No se podrán utilizar espesores de chapa inferiores a 3 mm. para evitar deformaciones.
- Sobre-espesor por sobre corrosión: En este caso, el sobre-espesor exterior es nulo debido a la protección con doble pared aislada con lana de roca y a su fabricación en acero inoxidable. El sobre-espesor interior también es nulo debido que no existen gases de combustión corrosivos en el caso de quemar gas natural, es decir, están exentos de SO₂.
- También, según esta norma, tomaremos 8 m/s como velocidad mínima de paso de los gases en la chimenea, debido principalmente al tamaño de la instalación, al combustible utilizado y al funcionamiento modulante..

El cálculo del diámetro máximo de la chimenea se realiza de forma similar al cálculo de tuberías. Para ello, en primer lugar, se debe conocer el caudal de humos en la chimenea. En este caso, este dato es una especificación dada por el fabricante de la caldera y aparece en el capítulo anterior dedicado a la descripción de los equipos. Por tanto, recuperando dicho dato, tenemos que:

- Caudal de humos: 9.067 Nm³/h
- Temperatura de humos: 162 °C

Con todos estos datos, y recurriendo de nuevo a la ecuación:

$$Q = v \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

se obtiene un valor para el diámetro máximo de la chimenea de 633 mm.. Se adoptará por tanto un diámetro de chimenea de **600 mm..**

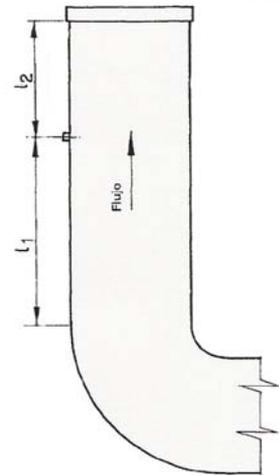


Fig. 4.3. Chimenea



Para la realización de mediciones y tomas de muestras en chimeneas, se deben elegir los puntos correctos, que estarán determinados por sus distancias aguas arriba o aguas debajo de cualquier elemento perturbador del flujo de gases (ver fig. XX). En este caso, como no existe ningún elemento de este tipo (codos, conexiones, etc.), los puntos comentados se determinarán en función de sus distancias a la conexión con la caldera y a la salida de la chimenea a la atmósfera. Por tanto, en una chimenea circular de diámetro D , el punto mas conveniente es el que diste al menos 8 diámetros ($L_1 = 8D$) de la salida de la caldera, es decir, aguas arriba, ó 2 diámetros ($L_2 = 2D$) de la salida a la atmósfera, es decir, aguas abajo. En conclusión, para este caso, las tomas de muestras deben estar situadas a $L_1 \geq 4,8$ m. de distancia de la conexión con la caldera, y a $L_2 \geq 1,2$ m. de distancia de la salida a la atmósfera. Además, hay que señalar que al ser la chimenea calculada de un diámetro inferior a 700 mm., sólo será necesario un solo punto de toma de muestras, que se ubicará a 1,2 m. de la parte superior de la chimenea por facilidad de acceso.

Por último, hay que decir que la chimenea debe cumplir los requisitos de distancias mínimas desde la boca de la chimenea hasta un obstáculo, de forma que se asegure el tiro correcto de los gases. Asimismo, conforme al reglamento, la chimenea debe tener una altura tal que supere en 1.5 m. la cumbre del edificio donde se encuentre ubicada. En este caso, la chimenea tendrá 15 m. de altura, que bastará para cumplir con esta exigencia.



4.2. MONTAJE ELÉCTRICO.

Aunque la parte eléctrica de la instalación no sea objeto de este proyecto, conviene indicar que se incluyen en dicha instalación los siguientes cuadros eléctricos:

- Cuadro de caldera

Este cuadro controla el funcionamiento de la caldera y sus seguridades así como las bombas de circulación de fluido térmico, el interruptor de nivel del depósito de desgasificación y expansión y la bomba reversible para llenado y vaciado del circuito de aceite.

- Cuadro del sistema de vapor

El cuadro de vapor incluye los controles para maniobra de nivel del tanque de condensados, del descalcificador y de la bomba de circulación de agua al intercambiador.

Dentro de este cuadro se encuentran también los controladores para la regulación del aporte calórico al intercambiador con la válvula de tres vías.

- Cuadro del sistema de agua caliente

El cuadro de agua caliente incluye los controles para maniobra de nivel del tanque de agua y de la bomba de circulación de agua al intercambiador.

Dentro de este cuadro se encuentran también los controladores para la regulación de la temperatura de salida del agua con la válvula de tres vías.

Para su instalación deben estar previstos los puntos de fuerza en los lugares próximos a donde se van a ubicar los diferentes elementos.