

ÍNDICE DE MATERIAS

CIRCUITO DE CONDENSADO Y AGUA DE ALIMENTACIÓN

1. INTRODUCCIÓN	1
2. CALENTAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN	1
3. PRINCIPALES VENTAJAS OBTENIDAS DEL CALENTAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN	1
4. DISPOSICIÓN DE LOS CALENTADORES Y DIAGRAMA $T-s$ DEL CICLO	3
5. CALENTADORES DE MEZCLA. DESGASIFICADOR	5
5. CALENTADORES DE SUPERFICIE	9
6. SISTEMA DE CONDENSADO	10
7. SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN	15

CIRCUITO DE CONDENSADO Y AGUA DE ALIMENTACIÓN

1. INTRODUCCIÓN

En primer lugar se verá en que consiste el calentamiento del agua de alimentación y la conveniencia de su empleo. haciéndose resaltar las principales ventajas de orden técnico que posee, así como también la economía obtenida. Para poder ver la disposición de los calentadores se presenta un ejemplo de ciclo muy aproximado, pero algo mas sencillo que los utilizados en las centrales térmicas, complementado por el correspondiente diagrama entrópico, para el estudio de las distintas transformaciones. Por último. se describen , los tipos de calentadores mas usados en centrales térmicas.

2. CALENTAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN

En las centrales térmicas modernas se consigue mejorar el rendimiento del ciclo efectuando un calentamiento progresivo del agua de alimentación desde que sale del condensador hasta que llega a la caldera. Este calentamiento se realiza en calentadores situados escalonadamente a lo largo de todo el sistema de agua, mediante vapor extraído de la turbina después de haberse expandido en ella parcialmente.

En la *figura 1* se representa el esquema de un ciclo con seis calentadores de agua, de los cuales uno es desgasificador. El agua, impulsada por las bombas de condensado, atraviesa los tres calentadores de baja presión y llega al desgasificador, de cuyo depósito aspiran las bombas de alimentación, que impulsan el agua a través de los dos calentadores de alta presión y del economizador (situado en el circuito de humos de la caldera), introduciéndola en el calderín. El agua es calentada gradualmente en los sucesivos calentadores y, por último, en el economizador, alcanza una temperatura muy próxima a la de ebullición correspondiente a la presión de la caldera.

El vapor utilizado en los calentadores se extrae de distintos escalonamientos de la turbina después de haber desarrollado un trabajo parcial en ésta, pero aun en posesión de una entalpía que se puede utilizar prácticamente en su totalidad en los calentadores, ya que en ellos se aprovecha el calor de condensación que, de haberse dejado expandir totalmente el vapor hasta el condensador, se perdería en el agua de circulación.

El economizador recupera parte del calor que aun poseen los humos. después de haber pasado por la zona de sobrecalentadores y recalentador. Por estar situado el economizador en la caldera, se le considera un elemento más de ella y no se describe en esta sección.

3. PRINCIPALES VENTAJAS OBTENIDAS DEL CALENTAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN

Ya se ha indicado la principal ventaja que supone el empleo de calentadores de agua de alimentación, o sea, el aumento del rendimiento global del ciclo, al aprovechar íntegramente la entalpía del vapor extraído, que equivale al aprovechamiento de una parte del calor comunicado al vapor en la caldera con un rendimiento del 100 %. Visto de otra forma, se produce un aumento del rendimiento porque se aumenta la temperatura media de aporte de calor en la

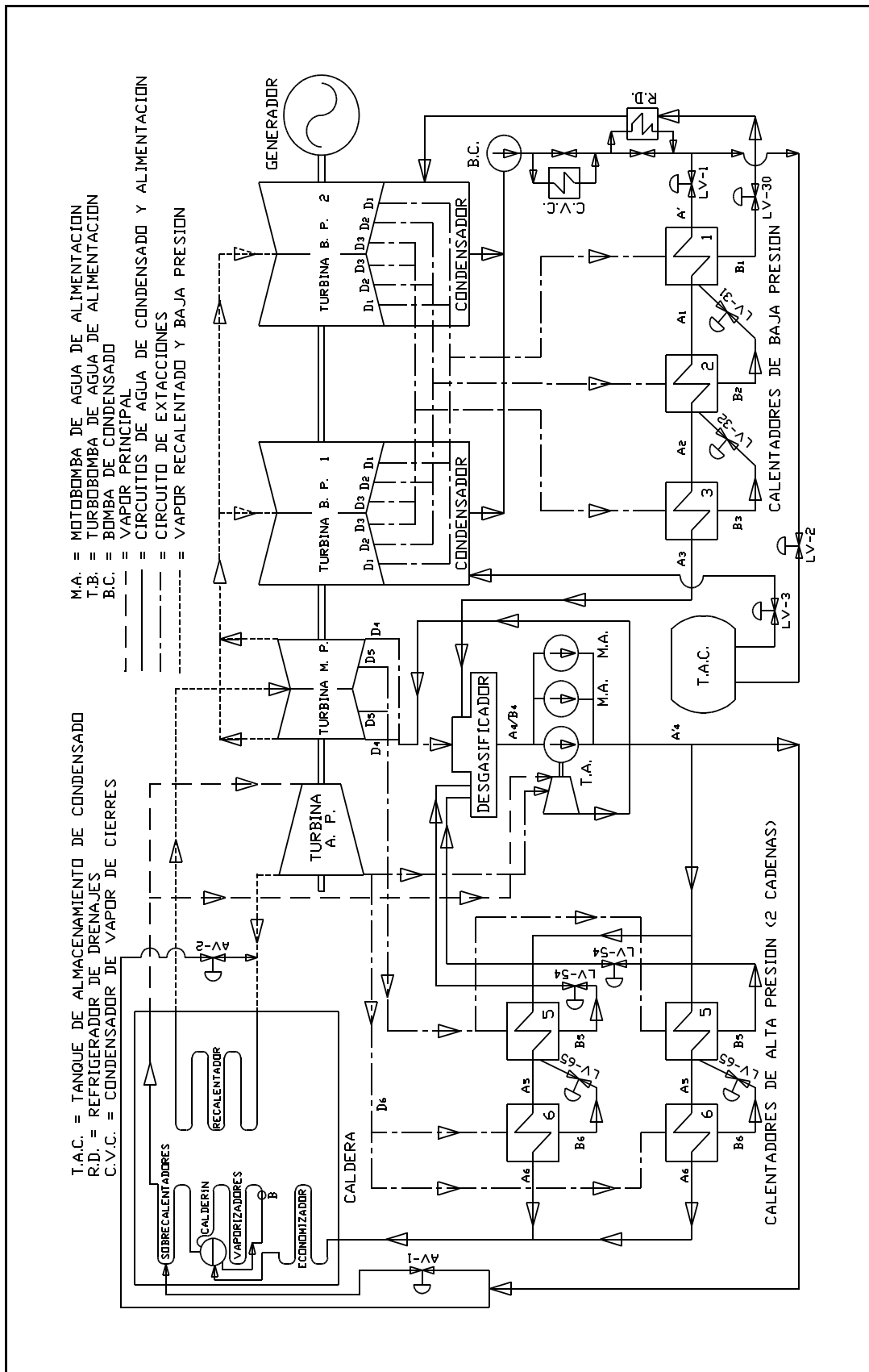


Figura 1: Esquema de una central térmica

caldera. Como el calor transmitido a un fluido es tanto más valioso cuanto más elevada sea la temperatura a que se encuentra, al reducir el precalentamiento del agua de alimentación en la caldera, se evita consumir parte del valioso calor a elevada temperatura que se produce en ella, en calentar el agua fría hasta la temperatura de ebullición. Otra ventaja, desde el punto de vista de la caldera, es que al ser alimentada con agua relativamente caliente, hay más uniformidad en las temperaturas del metal de calderines, tubos, colectores, etc, y por lo tanto, menores tensiones térmicas. En cuanto a la turbina, las extracciones de vapor descargan los escalones de baja presión, cuya sección de paso se puede disminuir. Esto es muy conveniente, ya que el vapor en esos escalonamientos tiene un volumen específico muy elevado y, de no haber extracciones, los cuerpos de baja presión tendrían que ser de diámetros bastante mayores. Se comprende, pues, que el rendimiento de los ciclos con precalentamiento del agua de alimentación, es más elevado y se puede demostrar que es tanto mayor cuanto mayor sea el número de extracciones de vapor y calentadores. Sin embargo, este número viene limitado en la práctica, puesto que al aumentarlo se complica y encarece la instalación de la central (turbina, calentadores, tuberías, válvulas, etc). El número óptimo de calentadores y extracciones suele oscilar entre 6 y 9 por unidad, según su potencia.

4. DISPOSICIÓN DE LOS CALENTADORES Y DIAGRAMA $T-s$ DEL CICLO

Los calentadores se disponen en el ciclo en serie escalonada como se ve en el ejemplo representado en la *figura 1*, es decir, el primero recibe el agua fría procedente del condensador, descargándola a una temperatura algo más elevada (unos 20 a 30 °C mayor que la de entrada); los sucesivos calentadores van calentando el agua progresivamente hasta que llega a la caldera.

La alimentación de vapor a cada calentador se realiza de forma que el primer calentador, situado a continuación de la bomba de condensado, recibe el vapor de la extracción más fría, el siguiente de otra extracción más caliente, y así sucesivamente hasta el último calentador antes del economizador, que recibe el vapor de la extracción más caliente. Con este procedimiento se consigue que las transmisiones de calor del vapor al agua se realicen con pequeñas diferencias de temperatura, que es una de las ventajas expuestas anteriormente.

Para mejorar el rendimiento de este montaje, se hace descargar el condensado de cada calentador, en los calentadores de tipo cerrado o de superficie, a su inmediato inferior en nivel térmico y también en altura, pues en la práctica, se sitúan a cotas distintas para facilitar el drenaje del condensado. Con este sistema de drenajes, que recibe el nombre de drenaje en cascada, se utiliza al máximo la entalpía del vapor extraído, puesto que al enfriarse el condensado progresivamente en cada calentador, llega al condensador prácticamente frío y la necesidad de refrigerarlo con el agua de circulación es muy pequeña.

En la *figura 2* se ha representado el diagrama $T-s$ del ciclo de la *figura 1* (excepto lo correspondiente al condensador de vapor de cierres, el refrigerador de drenajes, el tanque de almacenamiento de condensado y el sistema de atemperación), donde se pueden apreciar las evoluciones que sigue el agua y el vapor, con el fin de completar la teoría expuesta sobre precalentamiento del agua de alimentación.

Supongamos que se mantiene constante el caudal de vapor húmedo descargado por la turbina al condensador, pero que se aumenta la producción de la caldera y se efectúa una extracción de vapor en el punto D_1 de la expansión. Este vapor, conducido al calentador nº 1, se condensa a la presión de la extracción, describiendo la transformación D_1, B_1 ; el agua de alimentación, cuyo estado era A' (ya bombeada por la bomba de condensado), es la que ha refrigerado a este vapor para condensarlo, absorbiendo ella el calor de condensación y

calentándose desde A' hasta A_1 . El agua en A_1 se puede calentar análogamente hasta A_2 con

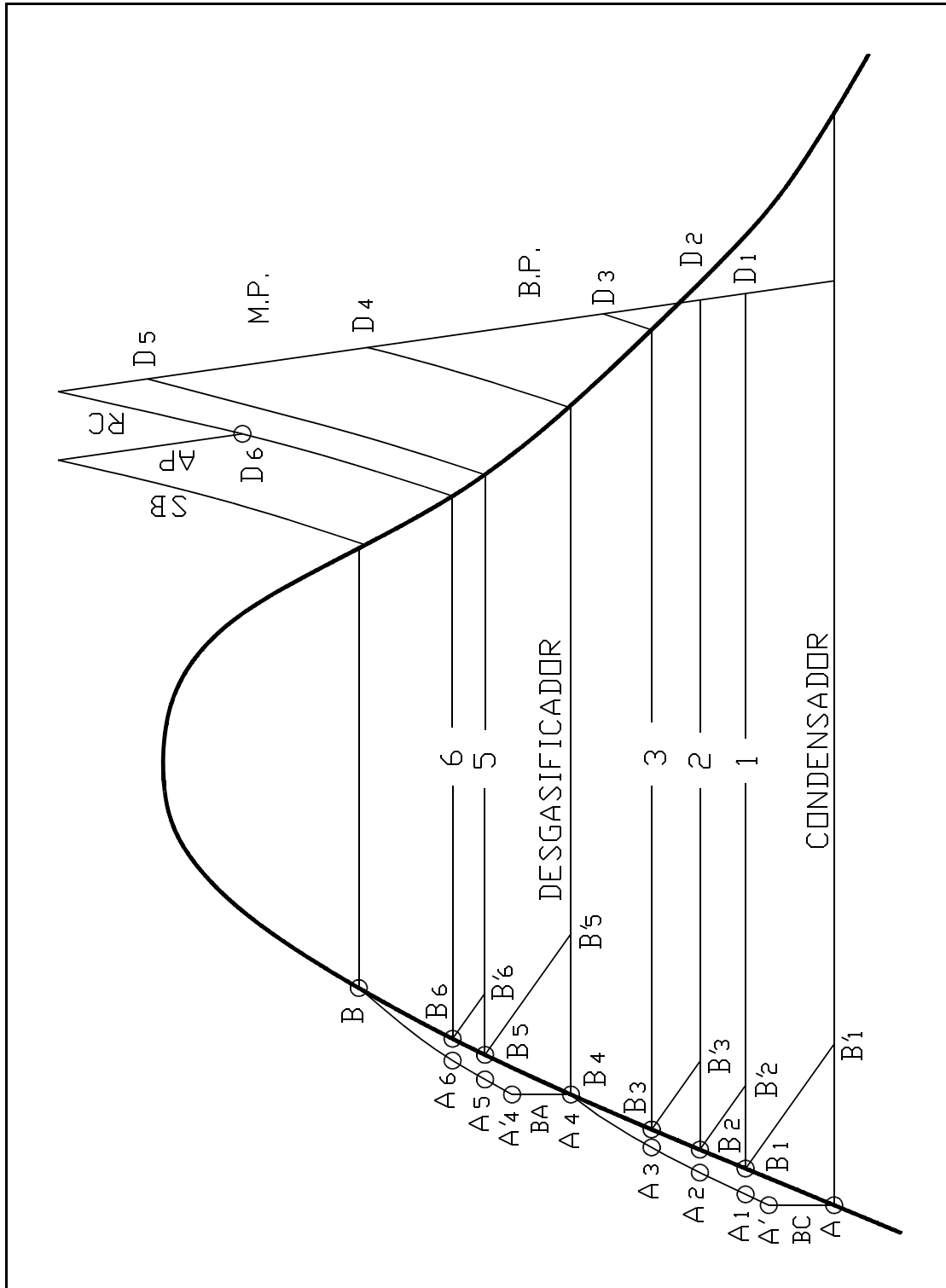


Figura 2: Diagrama T-s del ciclo representado en la figura 1

vapor extraído de la turbina en D_2 , a mayor temperatura que el D_1 . A_4 y B_4 coinciden en el mismo punto por corresponder al desgasificador, en el cual entran en contacto íntimo el agua de

alimentación y la 4ª extracción de vapor. La transformación $A_4 A'_4$ corresponde a la elevación de presión y temperatura producidas por la bomba de alimentación.

Se comprende que con varias extracciones de vapor se puede precalentar el agua de alimentación en calentadores independientes de la caldera hasta una temperatura muy próxima a la de ebullición (la del punto B). En el ciclo del ejemplo se eleva la temperatura con los calentadores hasta A_6 , correspondiendo la elevación desde A_6 hasta B al economizador y parte inferior de los tubos vaporizadores. Se ha supuesto también que las temperaturas de salida del agua de cada calentador son iguales a las de saturación del vapor de sus extracciones correspondientes, aunque, como se verá en un apartado posterior, pueden ser distintas según el tipo de calentador utilizado.

Los drenajes de las extracciones 1 y 2 se van enfriando según la transformación $B_6 B'_6 B_5 B'_5 B_4$, incorporándose al agua del ciclo junto con el condensado de la cuarta extracción, en el desgasificador. Los drenajes de las extracciones 3, 2 y 1 se enfrían según $B_3 B'_3 B_2 B'_2 B_1 B'_1$, incorporándose al condensado del ciclo en el pozo del condensador. El enfriamiento de todos los drenajes se emplea en calentar el agua del ciclo, y el único calor que se pierde es una pequeña parte del correspondiente a $B'_1 A$ (la que no recupera el enfriador de drenajes), que pueda llevarse el agua de circulación al refrigerar algo los drenajes descargados al condensador.

En las centrales térmicas actuales se utilizan fundamentalmente dos tipos de calentadores de agua de alimentación, llamados calentadores de mezcla o de contacto directo y calentadores cerrados o de superficie.

5. CALENTADORES DE MEZCLA. DESGASIFICADOR

En los calentadores de mezcla hay contacto directo y mezcla del vapor calefactor con el agua de alimentación que se calienta. En esencia, constan de un recipiente cilíndrico por cuya parte superior entra el agua de alimentación, bien a través de unas toberas de pulverización, o bien cayendo sobre unas bandejas que la esparcen en forma de lluvia fina por todo el calentador, y por cuya parte inferior entra el vapor de la extracción. Al encontrarse el agua y el vapor en contracorriente, se produce el intercambio de calor, condensándose el vapor y cediendo su calor de condensación al agua. Este tipo de calentador no se suele utilizar en centrales térmicas como tal calentador solamente, pues además de calentador tiene otra aplicación muy importante que es la de desgasificador. En el circuito agua-vapor hay algunas zonas sometidas a vacío (desde los últimos escalones de la turbina hasta las bombas de condensado), o sea, a presiones inferiores a la atmosférica, y en ellas es inevitable que entre aire del exterior a través de empaquetaduras de válvulas, bridas, juntas, cierre de la turbina, etc. Por otra parte, llega al circuito aire disuelto en el agua de aportación, en la del tanque de reserva de condensado y en los drenajes recogidos. Es preciso mantener el contenido de oxígeno por debajo de límites extraordinariamente reducidos para evitar la rápida oxidación del circuito agua-vapor. Esta misión corre a cargo del desgasificador, que en realidad no es más que un calentador de mezcla con alguna pequeña variante. También recibe el nombre de desaerador, porque los principales gases contenidos en el agua son componentes del aire.

La desgasificación se basa en la ley de Henry, la cual dice que para cada temperatura la cantidad de gases disueltos en un líquido es proporcional, para cada uno de estos gases, a su presión parcial en la atmósfera en contacto con el líquido. La solubilidad del gas es función decreciente de la temperatura. Teóricamente es suficiente para eliminar un gas de su solución

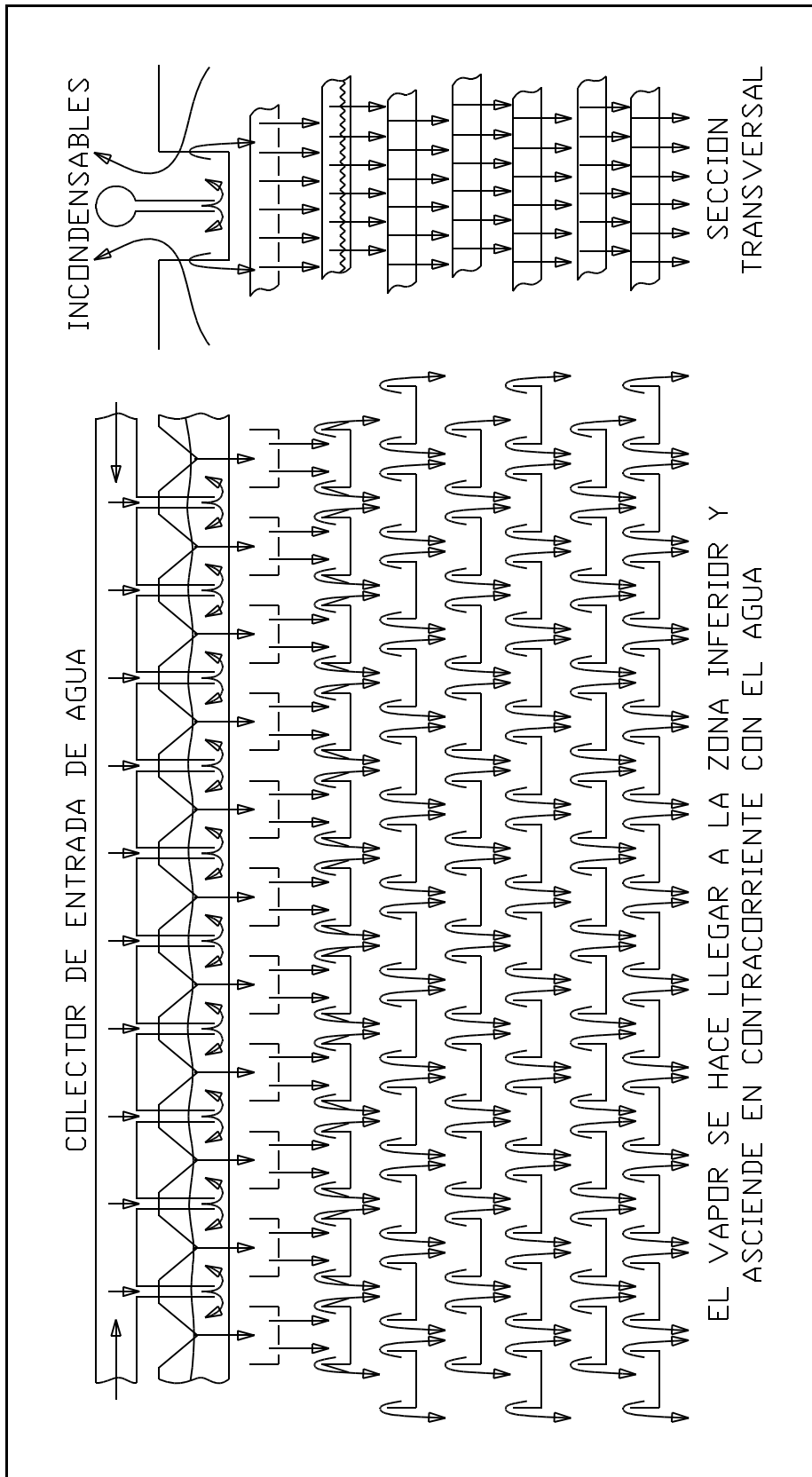


Figura 3: Disposición de los elementos internos de un desgasificador

acuosa anular la presión propia de este gas en la atmósfera que rodea al líquido. Llevando el agua a la presión de saturación, los gases disueltos, y por tanto el oxígeno, pasan automáticamente a la atmósfera de saturación así creada. Un volumen igual al volumen de los gases es arrastrado de forma continua a la atmósfera.

En la *figura 3* se muestran únicamente los internos de desgasificador. Está constituido por dos recipientes cilíndricos, uno superior o desgasificador propiamente dicho, que contiene los elementos internos, y otro inferior de mayor capacidad, que hace la función de tanque de reserva.

El desgasificador contiene las bandejas de distribución situadas en varias filas; en su parte superior lleva la entrada de agua y salida de gases a la atmósfera; por el lateral tiene la entrada de vapor, que en realidad es como si la tuviera por la parte inferior de las bandejas, puesto que éstas están cerradas por unos tabiques laterales; y por el fondo comunica con el tanque de reserva y bombas de alimentación.

El agua que entra por la parte superior pasa a través de varias toberas alargadas sumergidas en una caja de distribución que recorre el cilindro longitudinalmente. Las toberas se sumergen para proporcionar un cierre hidráulico que impida la entrada de vapor en la tubería con el consiguiente golpeteo. En las grandes unidades se colocan válvulas de retención, accionadas por muelle, antes de las toberas, que, además de crear un sellado eficaz, aseguran una distribución por igual de agua en las toberas y crean una pequeña presión en la tubería que evita la vaporización del agua en ciertas condiciones de carga.

A lo largo de cada lado de la caja de distribución, hay una serie de desagües con muescas en forma de V, que dividen el flujo de entrada en partes iguales, asegurando de esta forma una distribución longitudinal que coincide con la primera etapa de distribución.

Todas las bandejas están colocadas transversalmente. Debajo de cada par de muescas en V de la caja de distribución va colocada una bandeja profunda cuyo fondo lleva un gran número de agujeros separados uniformemente, donde se efectúa la segunda etapa de distribución.

La tercera etapa se realiza en la fila siguiente de bandejas, que llevan las paredes laterales vueltas hacia abajo y rematadas en forma de dientes de sierra, donde el agua sale por fin en forma de lluvia finamente dividida. De este sistema de distribución ya pasa el agua a las bandejas de calentamiento y desgasificación, cuyo número dependerá de las condiciones de extracción de oxígeno.

Al caer el agua de bandeja en bandeja, entra en íntimo contacto con la corriente ascendente de vapor y se calienta rápidamente, desprendiéndose la mayor parte de los gases disueltos en ella. Al ir descendiendo el agua ya caliente, sigue chocando con vapor más caliente con lo que se eliminan las últimas trazas de gases que quedan disueltos.

La masa de vapor sigue ascendiendo entre las bandejas hasta que se encuentra con el agua fría de las bandejas más altas, en cuyo punto se condensa gradualmente, cediendo su calor al agua que cae. El vapor que no llega a condensarse arrastra a los gases no condensables a la parte alta, donde una pantalla horizontal les obliga a pasar por la parte superior de las muescas en V de la caja de distribución, antes de salir a la atmósfera. Al pasar tan cerca del agua fría, los gases se concentran en grado máximo, asegurando una mínima pérdida de vapor al exterior (del orden del 0,5 al 1 % del vapor total necesario a plena carga).

En resumen, como en el desgasificador se mantiene una atmósfera saturada de vapor a una presión superior a la atmosférica, se puede controlar la concentración de gases en el líquido actuando sobre la concentración en la fase gaseosa y puesto que a cada presión y temperatura de

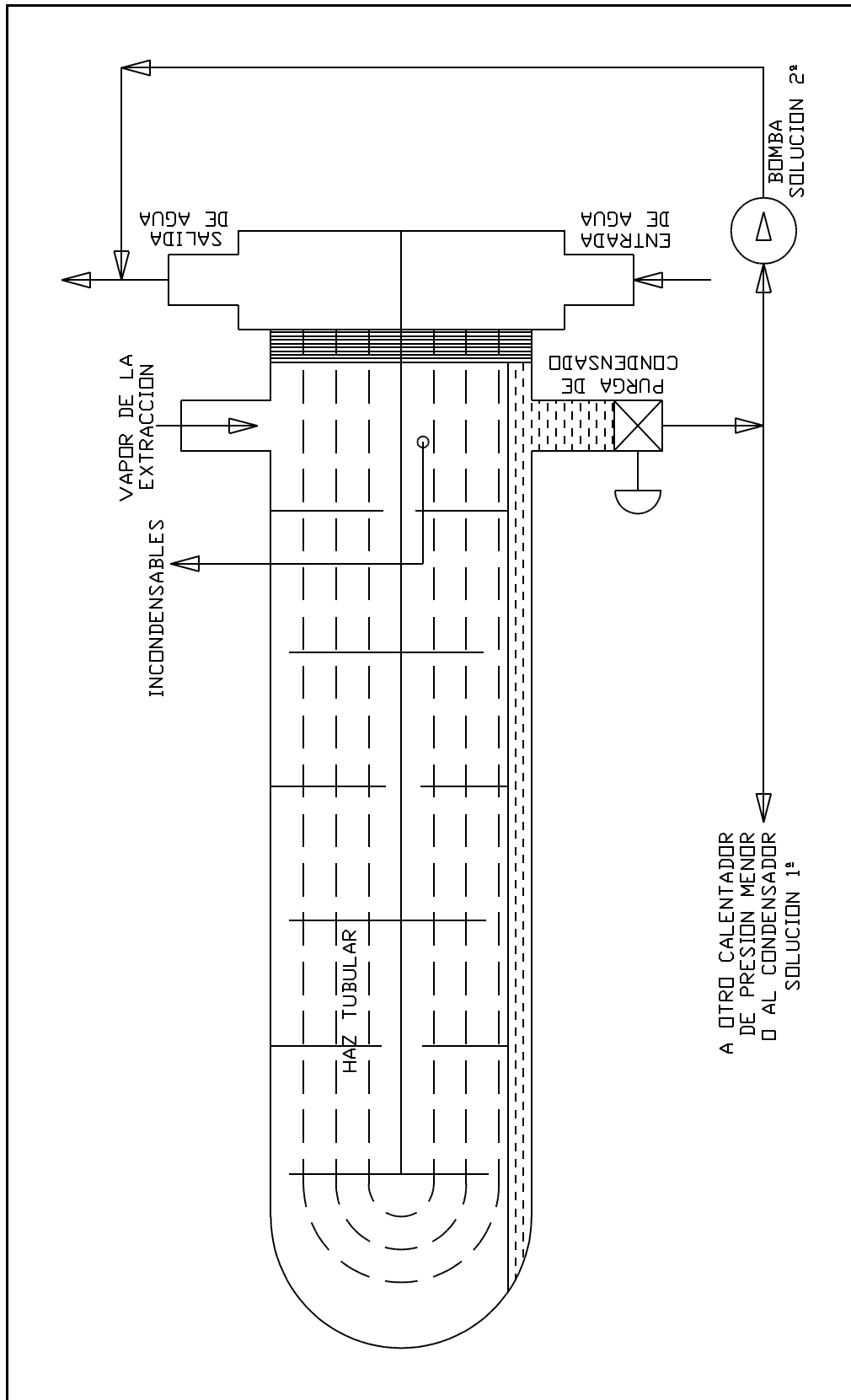


Figura 4: Esquema de un calentador de superficie

un determinado gas en el ambiente del desgasificador, le corresponde una concentración en el agua, es posible mantener esta concentración por debajo de un determinado límite abriendo suficientemente el escape del desgasificador a la atmósfera, para impedir que la presión de ese gas alcance en su interior un valor excesivo. En centrales modernas se recomienda no superar una concentración de 0,005 ppm de oxígeno disuelto en el agua a la salida del desgasificador.

5. CALENTADORES DE SUPERFICIE

Los calentadores de superficie o de tipo cerrado son intercambiadores de calor por superficie análogos a los condensadores de superficie. Constan en esencia de un recipiente que está comunicado con la correspondiente extracción de vapor de la turbina. El recipiente es atravesado por una serie de tubos, dentro de los cuales circula el agua de alimentación que, al estar a menor temperatura que el vapor de la extracción, lo refrigera, condensándolo y absorbiendo el calor de refrigeración condensación. El vapor que se va condensando, al ponerse en contacto con los tubos, pasa al fondo del calentador donde se mantiene un nivel constante por medio de una válvula automática de purga. Existen varios tipos de calentadores, según que los tubos sean rectos, helicoidales, en espiral o en forma de *U*. Así como se ha dicho que el agua circula por dentro de los tubos, que es lo más general, y se denominan calentadores de tubos de agua, existen otros donde el vapor es el que circula por dentro de los tubos, y se denominan calentadores de tubos de vapor. En la *figura 4* se representa el esquema de un calentador de tubos de agua en forma de *U*, que es el tipo de calentador más utilizado en las centrales actuales.

Los calentadores de tipo cerrado tienen una gran ventaja sobre los de mezcla y es que, como el agua de alimentación y el vapor no están en contacto directo, pueden encontrarse a presiones muy distintas, generalmente mucho mayor la del agua.

El calentador de la *figura 4* es el tipo más elemental de calentador. Funciona como un simple condensador y tiene un rendimiento bajo debido a que los drenajes lo abandonan todavía calientes, o sea, a la temperatura de saturación. En la *figura 5* se representa el diagrama de intercambio de calor en un calentador elemental que recibe vapor húmedo o saturado. Para poder aprovechar parte del calor de los drenajes se le dota de una zona de subenfriamiento que consiste en hacer pasar los drenajes en contracorriente con el agua de alimentación, antes de abandonar el calentador, dentro de una zona semiaislada que coincide con la entrada del agua de alimentación. En la *figura 6* se representa un calentador provisto de zona de subenfriamiento. Corno, generalmente, el vapor de las primeras extracciones es algo sobrecalentado, se puede aprovechar esa temperatura para calentar el agua a mayor temperatura que la de saturación en la cámara de vapor. Para ello, se le dota de otra zona semiaislada, de enfriamiento del vapor, llamada de desrecalentamiento, que consiste en hacer pasar el vapor, a la entrada del calentador, en contracorriente con la salida del agua de alimentación. En la *figura 7* se representa el diagrama de intercambio de calor en un calentador con enfriador de drenajes y que recibe vapor saturado o húmedo. En la *figura 8* se representa el diagrama de intercambio de calor en un calentador provisto de zonas de subenfriamiento y desrecalentamiento que recibe vapor sobrecalentado.

Para que un calentador funcione con un rendimiento óptimo, es necesario que sean lo más pequeñas posible las diferencias de temperatura, entre la entrada de vapor y salida de agua, y entre la salida de drenajes y la entrada de agua. Cuando estas diferencias se van agrandando, significa que hay algún problema y no se produce una buena transmisión de calor. También puede darse el caso de que se acumulen gases en la cámara de vapor por no estar suficientemente abiertas las válvulas de desaireación, con lo cual disminuye también la transmisión de calor.

6. SISTEMA DE CONDENSADO

El ciclo principal de una central térmica está constituido por un sistema cerrado agua-vapor. En cada punto del circuito, el fluido presenta unas características distintas de presión y temperatura, determinando ambas su estado. Para facilitar su estudio, se subdivide el ciclo en dos sistemas, atendiendo al estado del fluido, que son el sistema de agua y el sistema de vapor. El sistema de agua se subdivide nuevamente en otros dos, atendiendo a su presión, denominados *Sistema de Condensado* (o de baja presión) y *Sistema de Agua de Alimentación* (o de alta

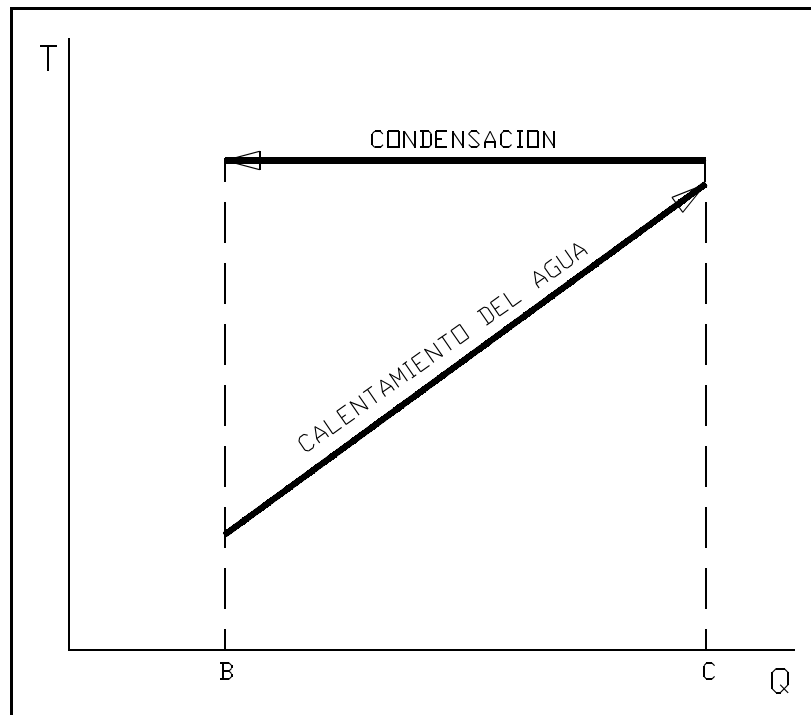


Figura 5: Diagrama de intercambio de calor cuando el calentador recibe vapor húmedo

presión). Con el sistema de vapor también se puede efectuar una subdivisión semejante, dando lugar al *Sistema de Vapor Principal*, al *Sistema de Vapor Recalentado* y *Sistema de Extracciones*. Los sistemas de *Vapor Principal* y *Vapor Recalentado* se verán en otro capítulo.

El sistema agua-vapor lo integran una serie de equipos tales como bombas, tanques, calentadores, tuberías, válvulas, purgadores, etc, que, debidamente dispuestos y con la caldera, turbina y condensador, constituyen el ciclo principal de una central térmica. Existen diversos tipos de sistemas, aunque la finalidad o principio de funcionamiento de ellos es la misma. Las diferencias de unos a otros estriban, principalmente, en el número de elementos que los integran y en pequeños detalles sobre la disposición de estos elementos, según la potencia, diseño de la unidad y tipo de caldera y turbina.

El *Sistema de Condensado* tiene su origen en el pozo del condensador y finaliza en la aspiración de las bombas de alimentación. Su misión es extraer del condensador el agua

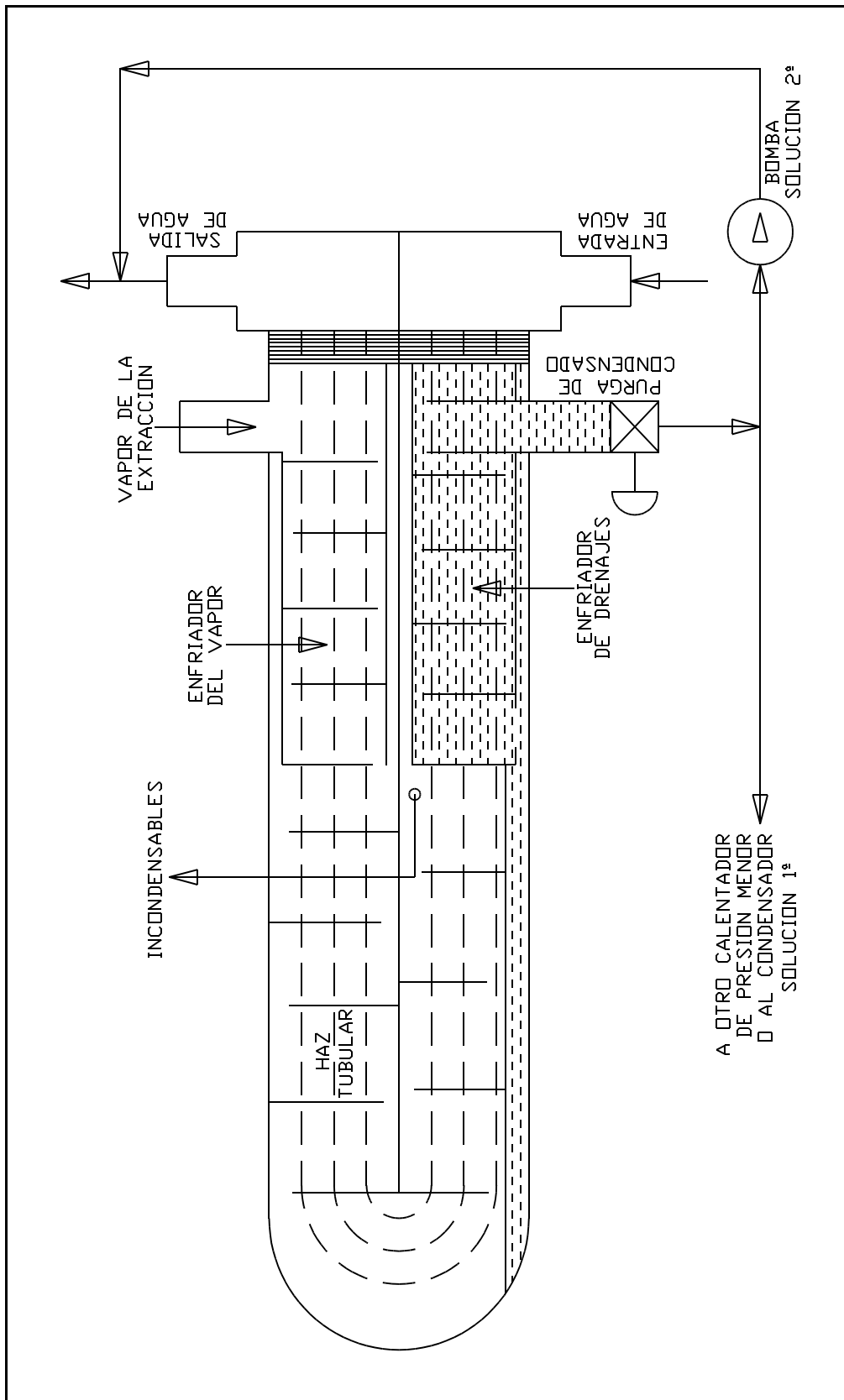


Figura 6: Esquema de un calentador de superficie con enfriadores de vapor y de drenajes

procedente de la condensación del vapor descargado por el cuerpo de baja presión de la turbina, enviándola, a través de algunos calentadores, hasta las bombas de alimentación con una presión positiva que asegure el buen funcionamiento en la aspiración de éstas. En el sistema de condensado tiene lugar la reposición de agua tratada para suplir las pérdidas del ciclo, el precalentamiento inicial del agua y su desgasificación.

Los elementos que componen el sistema, citados por orden según el sentido del flujo, son *figura 1*:

- 1 - Pozo del condensador.
- 2 - Dos bombas centrífugas verticales, conectadas en paralelo, con filtros en la aspiración y válvulas de retención en la descarga.
- 3 - Condensador de vapor de cierres.
- 4 - Refrigerador de drenajes de los calentadores de baja presión.
- 5 - Tanque de reserva de condensado.
- 5 - Calentador número 1.
- 6 - Calentador número 2.
- 7 - Calentador número 3.
- 8 - Desgasificador.
- 9 - Tanque del desgasificador.
- 10 - Sistema de drenajes de calentadores.
- 11 - Sistema de desaireos de calentadores (no representado).

No se representan las válvulas de aislamiento y bypass de los calentadores, polishing (sistema de resinas de intercambio iónico para el tratamiento de la contaminación del condensado), etc.

Agua de reposición

El ciclo agua-vapor de cada unidad necesita una reposición continua de agua tratada para suplir las pérdidas debidas a la purga continua, tomas de muestras, evaporación en tanques de drenaje y condensado, pérdidas por empaquetaduras, consumos de vapor auxiliar, etc. Esta reposición se efectúa en el condensador, llegando el agua a través de una tubería procedente de los tanques de almacenamiento de agua desmineralizada. El control se realiza automáticamente, abriendo la válvula automática en función del nivel en el pozo de condensado del condensador, o del nivel en el tanque de reserva de condensado, según las necesidades del ciclo.

Tanque de reserva de condensado

Aunque el ciclo de la unidad es un circuito continuo en el que el mismo vapor descargado de la turbina se condensa e introduce nuevamente en la caldera, repitiéndose el ciclo de vaporización-condensación, son necesarios unos depósitos de compensación o reserva que cedan o tomen agua del circuito cuando no se efectúe con regularidad el consumo de vapor en la turbina y el consumo de agua en la caldera. Esto es muy frecuente, puesto que las condiciones del sistema no son completamente estables: hay variaciones de carga que dan lugar a que, en un momento determinado, la turbina tome más o menos vapor, condensándose más o menos agua de la que en ese momento se está alimentando a la caldera. En el caso de aumento de carga, el exceso de condensado pasará a los depósitos de compensación, y en el caso contrario, el defecto de agua lo tomarán las bombas de alimentación de los depósitos. Cuando la marcha del ciclo se regulariza de nuevo, vuelven a normalizarse los niveles de los depósitos, pero es normal que fluctúen continuamente, pues es muy difícil que la carga se mantenga invariable. Es de suma

importancia, pues, disponer en el sistema de condensado de depósitos de capacidad adecuada, que dependerá principalmente de la masa de agua en movimiento y, en definitiva, de la potencia de la unidad.

Sistema de drenajes varios

El vapor utilizado para calefacción y otros usos, como se verá en otro capítulo, y el que escapa a través de purgadores automáticos no se pierde más que el de algunos circuitos como los de atomización y calentamiento de fuel-oil. En la mayoría de los circuitos, una vez condensado, es introducido nuevamente en el ciclo. El condensado de los purgadores del ciclo propiamente

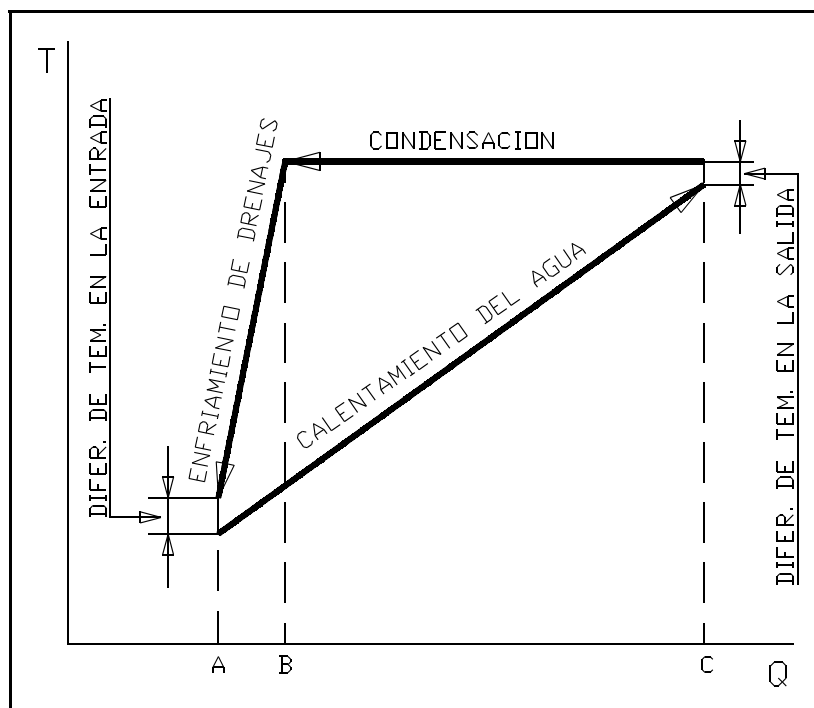


Figura 7: Diagrama de intercambio en un calentador que recibe vapor saturado o húmedo, con enfriamiento de drenajes

dicho, o sea, los correspondientes a tuberías de vapor principal, recalentado y extracciones, vuelve al ciclo a través del condensador. El resto del condensado se recoge en un pequeño tanque, llamado tanque de drenajes, del cual lo aspiran automáticamente unas bombas y lo envían al condensador o al desgasificador.

Funcionamiento del sistema

El vapor descargado al condensador por el cuerpo de baja presión de la turbina se condensa allí totalmente, recogiendo el condensado en el pozo del condensador. Este condensado es aspirado por las bombas de condensado, que lo impulsan al desgasificador a través del condensador de vapor de cierres, refrigerador de drenajes y calentadores de baja presión números 1, 2 y 3. La válvula LV-1 regula el caudal de forma que se mantenga un nivel constante en el pozo del condensador. La regulación se consigue por medio de una señal neumática procedente de un transmisor de nivel del pozo. El pozo está provisto, además, de alarmas de alto y bajo nivel para prevenir un fallo de los automatismos que podría resultar

peligroso, tanto si baja el nivel, dejando las bombas sin aspiración, como si sube, restando superficie de refrigeración al condensador, esto último originaría una sobrepresión en el escape de la turbina y condensador.

Las bombas de condensado tienen unas tuberías de equilibrio (no representadas) que ponen en comunicación la zona superior de sus cámaras de aspiración con el condensador. El vacío del condensador extrae los gases que puedan acumularse en dichas cámaras, permitiendo

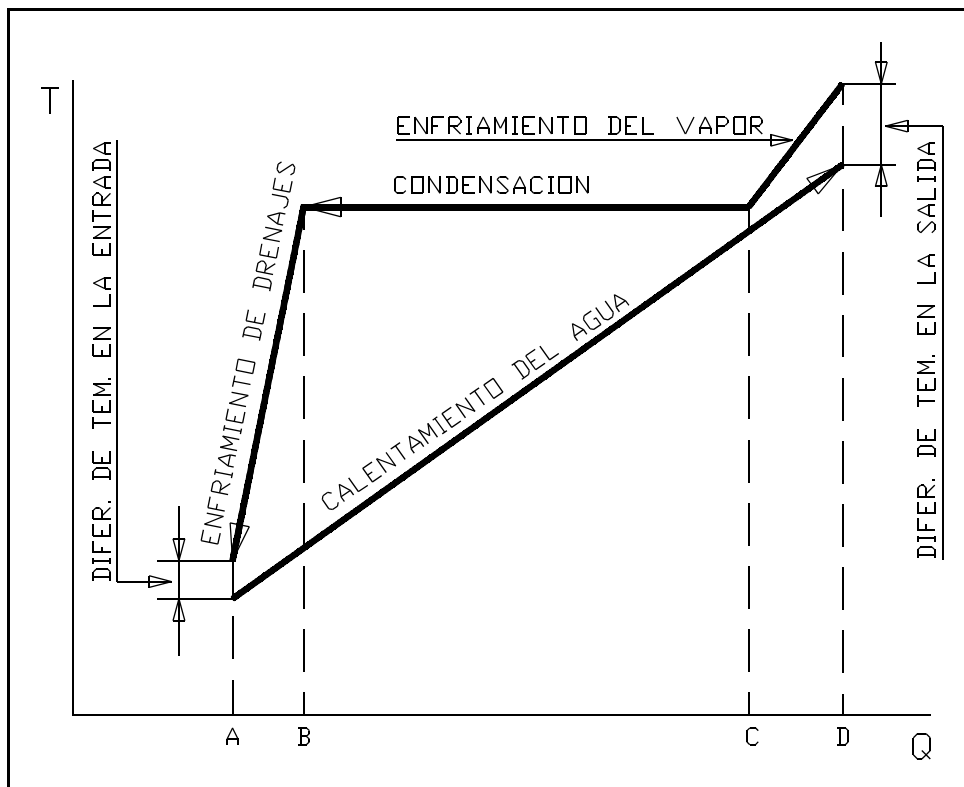


Figura 8: Diagrama de intercambio de un calentador que recibe vapor sobrecalentado, con enfriamientos de vapor y de drenajes

que se rellenen de agua por gravedad. Estas tuberías permiten el cebado inicial de las bombas y evitan que se desceben durante su funcionamiento normal. También poseen, las bombas de condensado, una alimentación de agua, desde la descarga a la empaquetadura, para la lubricación y refrigeración de ésta. Una sola bomba de condensado suele ser suficiente para mantener la unidad a plena carga.

Las bombas de condensado tienen que aspirar agua saturada del pozo de condensado del condensador. Cualquier bomba, tiene una determinada caída de presión en la aspiración, por lo que si se realizara ésta sin tomar alguna medida, la presión descendería por debajo de la de saturación, se produciría vaporización del agua y cavitación de la bomba. Para evitar este problema se instalan bombas de condensado verticales, cada una en un foso de cuatro a cinco metros de profundidad, que llevan la aspiración en la parte inferior. De esta manera, en la aspiración hay una presión total de 0.4 a 0.5 bar, lo cual es suficiente para evitar la cavitación de la bomba.

Al pasar el condensado a través del condensador de vapor de cierres y el sistema de

refrigeración de drenajes, enfría y condensa el extraído del sistema de cierres y los drenajes, calentándose entonces el condensado.

El condensado sigue su marcha a través del refrigerador de drenajes, donde refrigera los drenajes procedentes de los calentadores de baja presión. Luego pasa por los calentadores 1, 2 y 3, donde se va calentando progresivamente, descargando por fin en el desgasificador a una temperatura próxima a la de saturación correspondiente a la presión que allí reina. El agua es desgasificada y calentada algo más en el desgasificador, desde donde pasa al tanque del desgasificador y luego a la tubería de aspiración de las bombas de alimentación.

Las fluctuaciones de nivel que se producen en el tanque del desgasificador son eliminadas prácticamente por la operación automática de las válvulas reguladoras LV-3, que comunica el tanque de condensado con el condensador, y LV-2, que comunica la línea de condensado con el tanque de condensado. Cuando el nivel del desgasificador tiende a subir, significa que llega a él más flujo del que aspiran de él las bombas de alimentación y, entonces, abre la válvula LV-2 para descargar al tanque de condensado el exceso de flujo. Cuando el nivel tiende a bajar, abre la LV-3 para que el tanque de condensado suministre el flujo adicional, a través del condensador necesario para las bombas de alimentación. Cuando una de las válvulas abre, la otra siempre permanece cerrada, puesto que ambas están controladas por una señal única de nivel y cada válvula trabaja sobre media banda de esta señal.

El tanque del desgasificador está dotado de alarmas de alto y bajo nivel para caso de fallo de las válvulas reguladoras, pero además lleva una segunda protección de alto nivel, consistente en una válvula, no representada, que abre y descarga el sobrante al tanque de condensado. La válvula LV-3 tiene un enclavamiento que le impide abrir cuando hay alto nivel en el pozo del condensador o bajo nivel en el tanque de condensado, con el fin de proteger el condensador de inundación o de entrada de aire a través de este tanque.

El drenaje de los calentadores se realiza en cascada, regulado por medio de válvulas automáticas que reciben la señal de transmisores de nivel situados en los respectivos calentadores. Los drenajes del calentador nº 3 pasan al nº 2 a través de la automática LV-32; los del calentador nº 2 pasan, a través de la válvula LV-21, al calentador nº 1; los drenajes del calentador nº 1 y del tanque de expansión pasan al refrigerador de drenajes y, de éste, al condensador, a través de la válvula LV-10.

Es inevitable que el vapor arrastre algún gas incondensable, por lo que todos aquellos puntos donde hay condensación de vapor serán susceptibles de acumulación de gases incondensables, que después dificultarían el funcionamiento del equipo de condensación. Para evitar la acumulación de incondensables en los calentadores, se instala un sistema de desaireos, que se toman en cada calentador en el punto final del recorrido del vapor, se conectan según una cascada igual que la de los drenajes, pero en lugar de producirse a través de válvulas automáticas, se hace instalando en las tuberías orificios calibrados que limitan el flujo de vapor de calentador a calentador, para que el escape de vapor no sea importante. Los incondensables de los calentadores de alta presión se eliminan por el desgasificador y los de los calentadores de baja presión se eliminan por el condensador.

7. SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN

El sistema de agua de alimentación tiene su origen en las bombas de alimentación, enlazando con el sistema de condensado, y finaliza en el calderín de la caldera. Su misión es inyectar en el calderín, a una presión elevada, ligeramente superior a la del vapor, el agua calentada convenientemente, para pasar al circuito de vaporización de la caldera. En este sistema

tiene lugar el precalentamiento final del agua, hasta una temperatura muy próxima a la de ebullición en la caldera, y el tratamiento químico con hidracina para aumentar el pH del agua y eliminar al máximo el oxígeno que no haya sido extraído en el desgasificador. Este tratamiento se estudió con detalle en el capítulo de tratamiento de agua. Los elementos que componen el sistema, citados por orden según el sentido del flujo, son (*figura 1*):

- Dos motobombas horizontales y una turbobomba, de alimentación, con variador de velocidad, conectadas en paralelo, con filtros en la aspiración y válvulas de retención en la descarga.
- Dos válvulas automáticas de recirculación de las bombas (no representadas).
- Válvula automática del atemperador del sobrecalentador, AV-1, accionada por diafragma.
- Válvula automática del atemperador del recalentador, AV-2, accionada por diafragma.
- Calentador nº 5.
- Calentador nº 6.
- Economizador.

Funcionamiento del sistema

El condensado del desgasificador es aspirado por las bombas de alimentación y bombeado a través de los calentadores número 5 y 6 y economizador, entrando finalmente en el calderín por sus dos extremos, a una altura inferior al nivel normal de agua. El variador de revoluciones de las motobombas o la carga de la turbobomba, regulan el flujo de forma que se mantenga un nivel constante en el calderín. Esta regulación es la resultante de tres señales de control, procedentes del medidor de flujo de agua de alimentación, medidor de flujo de vapor principal y transmisor de nivel del calderín; la diferencia de las dos primeras señales se combina con la tercera, para dar una resultante que va variando las y manteniendo un nivel constante en el calderín. Este control, así como el de los atemperadores, se describe con detalle en el capítulo correspondiente al control de centrales térmicas.

La toma de agua para los atemperadores se efectúa en la descarga de la bomba de alimentación para evitar la caídas de presión propias del circuito (calentadores, economizador, vaporizadores y parte del sobrecalentador) y así disponer, en el punto de atemperación de una presión mayor en el agua que en el vapor. Las entradas al economizador y a los atemperadores llevan válvulas de retención para evitar el retroceso de agua o vapor de la caldera.

El drenado de las cámaras de los calentadores de alta presión se realiza también en cascada, como los de baja presión, siendo regulado por válvulas automáticas que reciben la señal de transmisores de nivel situados en los respectivos calentadores. Los drenajes del calentador nº 6 pasan al nº 5 a través de la automática LV-65; los del calentador nº 5 pasan al desgasificador a través de la automática LV-54. Aunque no se ve en el esquema, tanto los drenajes de los calentadores de alta como los de baja presión disponen de by-pass, y tuberías auxiliares para sustituir a las automáticas en caso de avería, o desviar los drenajes de su cauce normal en caso de incomunicación de cualquier calentador.

Bombas de alimentación

Las bombas de alimentación han de aspirar agua saturada del desgasificador. Estas bombas son de alta velocidad, 6000 a 7000 rpm, por lo que la caída de presión en la aspiración es importante. Para solucionar aquí el problema de cavitación de las bombas, el desgasificador y su tanque de almacenamiento se sitúan a una altura entre 40 y 50 m por encima de las bombas,

con lo que se dispone en la aspiración de una presión total de 4 a 5 bar, suficiente para evitar la cavitación.

Las bombas de alimentación se protegen por medio de válvulas automáticas de recirculación, (no representadas), que aseguran un flujo mínimo a través de ellas, aún en los períodos más desfavorables, evitando con ello el batido y consecuente calentamiento del agua, que provocaría cavitación en el cuerpo de bomba. La válvula de recirculación permite que la bomba descargue al desgasificador un pequeño flujo de agua, limitado por un orificio interpuesto en la línea de recirculación. Con flujo normal, la válvula correspondiente a la bomba que está funcionando permanece cerrada, pero si el flujo baja hasta el valor mínimo previamente ajustado, la válvula abre automáticamente; cuando el flujo alcanza de nuevo un valor superior, la válvula vuelve a cerrar. Con el flujo correspondiente al mínimo técnico, la recirculación permanece cerrada.