

## **CAPÍTULO TRES.**

### **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN.**

El presente capítulo tiene como propósito fundamental, la presentación de un generador de vapor acuatubular, similar al que se construirá en este proyecto, así como la operación del sistema, las recomendaciones y mantenimientos utilizados en la industria.

La mayoría de los generadores de vapor tienen muchas cosas en común. Normalmente en el fondo esta la cámara de combustión o el horno en donde es más económico introducir el combustible a través del quemador en forma de flama. El quemador es controlado automáticamente para pasar solamente el combustible necesario para mantener la presión en el vapor deseada. La flama o el calor es dirigido o distribuido a las superficies de calentamiento, que normalmente son tubos, fluxes o serpentines.

En algunos diseños el agua fluye a través de los tubos o serpentines y el calor es aplicado por fuera, este diseño es llamado “Calderas de Tubo de Agua”. En otros diseños de generadores, los tubos o fluxes están sumergidos en el agua y el calor pasa en el interior de los tubos, estas son llamadas “Calderas de Tubos de Humo”. Si el agua es sujeta también a contacto con el humo o gases calientes más de una vez, el generador es de doble, triple o múltiples pasos.

El agua calentada o vapor se levanta de la superficie del agua se vaporiza y es colectada en una o varias cámaras o domos. El tamaño del domo determina la capacidad de producción de vapor. En la parte superior del domo de vapor se encuentra la salida o el llamado “Cabezal de vapor”, desde donde el vapor es conducido por tuberías a los puntos de uso. En la parte superior del hogar mecánico se encuentra una chimenea de metal o de ladrillo, la cual conduce hacia fuera los productos de la combustión como gases. En el fondo del generador, normalmente opuesto del hogar mecánico, se encuentra una válvula de salida llamada “purga de fondo”. Por esta válvula salen del sistema la mayoría del polvo, lodos y otras sustancias no deseadas, que son purgadas del generador.

En conjunto al generador existen múltiples controles de seguridad, para aliviar la presión si esta se incrementa mucho, para apagar la flama si el nivel del agua es demasiado bajo o para automatizar el control de nivel del agua. Un tubo de vidrio con una columna de agua generalmente se incluye, para mostrarle al operador el nivel interno del agua en el generador.

**Fig. 3.1 Diagrama de flujo Agua-Vapor.**

### **3.2 RECOMENDACIONES.**

El tamaño de un generador de vapor está en función de los kilos de vapor generados por hora. Estos valores, además del tipo de combustible a emplear y sus costos son los que deben tenerse en cuenta en la toma de decisión de construir, comprar o cambiar un generador de vapor.

El gasto de vapor en una fábrica debe ser racionalizado. Se ve con mucha frecuencia que el encargado de producción y los operarios abusan del vapor o no informan a mantenimiento de pérdidas detectadas para su inmediata reparación.

El encargado de mantenimiento debe revisar las instalaciones y líneas de tendido de vapor con el propósito de aprovechar la mayor cantidad posible de retorno de agua condensada para regresarla al tanque que alimenta el generador.

La ubicación de los generadores de vapor debe ser cercana al tanque de combustible y a la zona destinada al taller de mantenimiento. Por cuestiones de seguridad no conviene que esté ubicada en zona colindante a la planta de elaboración donde está ubicada la mayor concentración de operarios trabajando.

Su instalación debe disponer de extractores de gases de combustión y recibir un mantenimiento muy cuidadoso. Los derrames de combustible que se dan con frecuencia, deben limpiarse inmediatamente de forma de mantener limpio el local.

Los generadores de vapor generalmente están apoyados en una estructura metálica (chasis). Esta estructura no debe estar en contacto directo con el piso sino colocarse sobre tacos de madera dura, puestos verticalmente a modo de patas.

Las bombas de combustible y de agua del generador deben estar en un lugar de fácil acceso, para permitir una rápida atención en caso de reparaciones. Es conveniente disponer si es posible de una bomba o de motores auxiliares, para cambiar rápidamente en caso de desperfectos y de esta forma re-iniciar lo más rápidamente el suministro de vapor.

Se recomienda la colocación de una alarma conectada a los mandos eléctricos para alertar a distancia al operador del generador de problemas, principalmente bajos niveles de agua, rotura de la bomba, falta de combustible o problemas de la bomba de combustible, etc. Se recomienda verificar diariamente el nivel del agua y las purgas.

Desde el punto de vista económico conviene trabajar con una presión de vapor acorde con el período de mayor demanda. Una vez calculada esta necesidad de mayor demanda, se regula la válvula de seguridad del generador, medio kilo arriba de la presión de mayor demanda. Esta regulación debe encomendarse a un servicio acreditado de metrología. Por ejemplo: si con 300 KPa de vapor se trabaja bien incluso en períodos críticos de mayor demanda, la válvula de seguridad se regula a 3.5 KPa ; cuando el

generador genere estos 300 KPa, se apagará automáticamente; de esta forma se ahorra combustible.

Por el contrario si la demanda mayor se sitúa en 300 KPa y se regula la válvula de corte a 700 KPa, se derrocha combustible generando una cantidad de vapor que es mayor a la demanda máxima.

Para mejorar la eficiencia y reducir los costos, se colocan trampas de vapor luego de cada equipo de cocimiento y se recupera el condensado (agua caliente y tratada, sin durezas) que se retorna al tanque con el cual se alimenta el generador. De esta forma se logran ahorros muy importantes de dinero.

Se nota con mucha frecuencia en fábricas que no recuperan el condensado sino que el vapor sale libremente, se argumenta que las distancias del tendido de líneas son muy grandes y que no se justifica la inversión en trampas, caños y mano de obra. Debe consultarse a un técnico capaz de evaluar estas situaciones pues las pérdidas diarias que consideramos menores, al cabo de un año de producción representan mucho dinero.

Si la fábrica no dispone de personal especializado, se pueden contratar servicios externos para el mantenimiento de los generadores, el tratamiento del agua, el control de gases de la chimenea como indicador de la eficiencia de combustión, etc.

El operador de generador debe llevar fichas diarias de control del estado del generador y sus sistemas de alimentación, seguridad, etc. En ellas se debe mostrar :

- fecha.
- número de generador.
- nivel de combustible.
- control de nivel del agua.
- control de bomba de agua.
- limpieza de tubos del generador.
- limpieza de filtros.
- encendido (color de llama, etc.).
- purgas de nivel y de fondo.
- dureza del agua.
- gases de combustión.
- temperatura de gases de chimenea.
- etc.

Respecto al tanque de combustible este se encontrará ubicado en un lugar al que se tenga fácil acceso con un camión cisterna para su carga. Deben tenerse en cuenta los diferentes reglamentos existentes en cada país sobre la ubicación de los tanques de combustible, materiales a utilizar, elementos de seguridad y medidas de control del medio ambiente.

Por ejemplo, en Alemania se exige ubicar los tanques sobre una bandeja que reciba el combustible accidentalmente derramado y pueda así recuperarse, evitando se derrame en la tierra y contamine el subsuelo.

El tanque puede ser construido en hierro o mampostería rebocada con cemento, con una terminación interna de cemento portland liso. Si se usa hierro, se recomienda aplicar un tratamiento externo antióxido. Por ejemplo se puede emplear una solución de ácido fosfórico comercial al 10 % (1 parte de ácido y 9 partes de agua); se aplica con brocha y cuando esté seco se puede aplicar una capa de asfalto caliente en toda la superficie exterior. También se puede poner a su alrededor una malla de hierro desplegado y rebocarlo con cemento portland y arena hasta recubrirlo totalmente. Estos procedimientos protegerán al tanque de hierro de la oxidación exterior y prolongarán su vida útil. Este tanque se coloca luego sobre una bandeja como se hace en Alemania o se coloca sobre una superficie de mampostería fácilmente lavable o bajo tierra, cubriéndolo con arena para facilitar el drenaje del agua y encima tierra, grava o concreto.

El tanque debe contar con una tapa para la limpieza interior, de un tamaño que permita el ingreso de una persona. En el otro extremo está el caño para la carga de combustible. A nivel del piso se recomienda colocar una tapa con marco de mampostería para que quede retenido el combustible que pueda derramarse en la descarga. Se evita así ensuciar la zona cuando los operadores no son lo suficientemente cuidadosos.

Se recomienda realizar el tendido de la línea de combustible dentro de un canal de cemento, tapado con losas de cemento de forma de facilitar el mantenimiento y futuras reparaciones.

De acuerdo al tipo de mezcla de combustible empleado (pesado, liviano o mezcla), se puede considerar la instalación de un tanque intermedio de combustible, ubicado entre el tanque principal y la bomba. Este depósito tendrá una resistencia eléctrica para pre-calentar el combustible al inicio de cada jornada, especialmente recomendado para climas fríos en épocas de invierno y así facilitar su traslado a través de una bomba hacia el quemador.

### **3.3 CALIDAD DEL AGUA.**

Otra recomendación consiste en disponer de un sistema para ablandar el agua de alimentación del generador. Aunque el agua suministrada por los servicios estatales, por pozos propios o tomas de una laguna tenga baja dureza, es recomendable disponer de un sistema de tratamiento de agua, con tanques sedimentadores y una instalación de resinas intercambiadoras de iones. Se recomienda hacer purgas periódicas para mantener el generador libre de incrustaciones de calcio.

Una de las aplicaciones más comunes para el suavizador de intercambio iónico; es el suavizar el agua de alimentación de los generadores de vapor. La mayoría de las



Industrias y muchos establecimientos comerciales necesitan vapor. El vapor es empleado en las fabricas textiles para producir, formar y teñir los productos. Las tintorerías emplean vapor para planchar la ropa. Las compañías empacadoras y de alimentos emplean vapor para cocinar y procesar alimentos. Las panaderías preparan el pan con vapor. Las cervecerías emplean vapor para producir la cerveza.

Los generadores son frecuentemente empleados para calentar agua en hoteles, hospitales, lavanderías y grandes construcciones. Este opera muchas de las turbinas empleadas para producir energía eléctrica. Como regla general, las grandes fabricas con operaciones industriales, son los lugares más adecuados donde encontrar uno o más generadores de vapor en operación.

Los generadores necesitan un pre-tratamiento externo en la alimentación del agua dependiendo del tipo de generador, la presión de operación del sistema total. Un tratamiento químico interno es necesario, dependiendo del tratamiento externo del agua. El tratamiento externo del agua reduce la dosificación de productos químicos y los costos totales de operación.

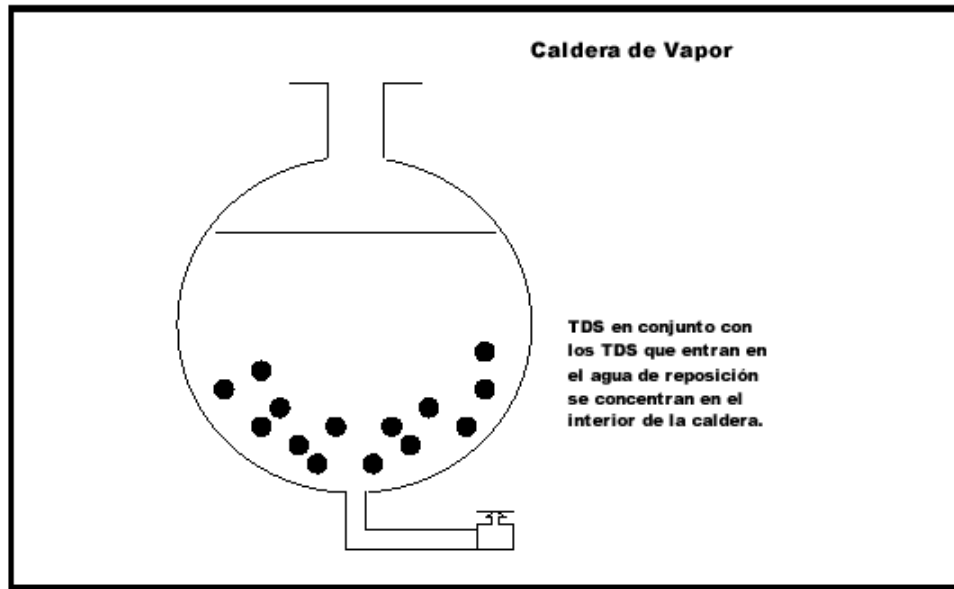
Cuando el agua se evapora y se forma vapor, los minerales o sólidos disueltos y suspendidos en el agua, permanecen dentro del generador. El agua de reposición contiene una carga normal de minerales disueltos, estos hacen que se incrementen los sólidos disueltos totales dentro del generador. Después de un periodo de tiempo los sólidos disueltos totales (TDS) alcanzan niveles críticos dentro del generador. Estos niveles en

generadores de baja presión se recomienda que no excedan 3500 ppm (partes por millón o miligramos por litro). TDS por encima de este rango pueden causar espuma, lo que va a generar arrastres de altos contenidos de TDS en las líneas de vapor, las válvulas y las líneas de vapor. El incremento en los niveles de TDS dentro del generador es conocido como “ciclos de concentración”, este termino es empleado muy seguido en la operación y control del generador. El agua de alimentación contiene 175 ppm de TDS puede ser concentrada hasta 20 veces para alcanzar un máximo de 3500 ppm. La máxima cantidad recomendada de sólidos disueltos totales TDS en un generador de baja presión es de 3500 ppm . En generadores de mayores presiones de operación los límites de TDS disminuyen en relación a la presión de operación.

Para controlar los niveles máximos permisibles de TDS, el operador debe de abrir en forma periódica la válvula de purga del generador. La purga es el primer paso para el control del agua en el generador y esta debe de ser en periodos o intervalos de tiempo con una frecuencia dependiendo de la cantidad de TDS en el agua de reposición y de la cantidad de agua de reposición introducida. En generadores grandes o más críticas las purgas deben de ser automáticas o continuas.

El control de la alcalinidad debe ser considerada de mayor importancia, ya que los niveles de alcalinidad en los generadores de baja presión, no deben de exceder las 700 ppm. La presencia de alcalinidad por encima de los 700 ppm puede producir carbonatos y liberar CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) libre en el vapor. La presencia de CO<sub>2</sub> en el vapor generalmente se tiene como resultado un vapor altamente corrosivo, causando daños por

corrosión en las líneas de vapor y retorno de condensados. La reducción de la alcalinidad puede hacer que el control de la purga y los ciclos de concentración se realice en base a los niveles de TDS.



**Fig. 3.2 Caldera de vapor con incrustaciones de TDS.**

La des-alcalinización es un proceso por el cual agua suavizada es pasada hacia una unidad que contiene resina aniónica. La resina aniónica remueve aniones como sulfatos, nitratos, carbonatos y bicarbonatos, estos aniones son reemplazados por cloruros. Sal (cloruro de sodio) es empleada para regenerar la resina aniónica cuando esta se satura. La necesidad de emplear agua suavizada en el equipo des-alcalinizador es por el peligro de precipitación de carbonato de calcio y de hidróxido de magnesio en la cama del des-alcalinizador.

La formación de incrustación en las superficies del generador es el problema más serio encontrado en la generación de vapor.

La primera causa de la formación de incrustación, es debido al hecho de que la solubilidad de las sales baja debido a que hay un aumento en la temperatura facilitando la precipitación. La alta temperatura y presión en la operación de los generadores, las sales se vuelven más insolubles, la precipitación o incrustación aparece. Esta incrustación puede ser prevenida de ser formada en los generadores mediante el empleo de un tratamiento externo (suavizador).

Como sea para alcanzar un alto grado de eficiencia, se recomienda el control de la dureza antes de entrar al generador, el suavizador en si mismo es un medio muy adecuado para proteger a la caldera de incrustación. El uso de productos químicos como complementos para mantener un control de la incrustación en el generador altamente efectivo. En todos los casos, se tendrá un pequeño remanente de dureza en el agua de alimentación a el generador, incluso en el agua suavizada, además de encontrar otras sales presentes.

La presencia de incrustación en el generador es equivalente a extender una pequeña capa de aislamiento a lo largo y en toda el área de calentamiento, este aislante térmico va a retardar e impedir la transferencia del calor, causando perdidas de eficiencia en el generador, por lo tanto incrementa el consumo de energía.

En los generadores modernos con alta eficiencia de transferencia de calor, la presencia e incluso extremadamente delgada de incrustación, puede causar una muy seria elevación de la temperatura en los tubos de metal. El posible daño causado en el generador no es solo costoso, además es muy peligroso debido que trabaja bajo presión.

### **3.4 GENERADORES DE VAPOR ACUATUBULARES.**

En estos generadores el agua se distribuye en un gran número de tubos de diámetro pequeño, sometidos exteriormente a la acción de los gases de combustión (oxígeno, hidrógeno, gas L.P., etc.) y por el interior de los cuales circula agua.

Los generadores acuatubulares, se dividen principalmente: ya sea si los tubos son rectos dispuestos en bancos ligeramente inclinados de la horizontal o de tubos curvados que van de domo a domo para formar la superficie de calefacción. Actualmente los generadores de tubos curvados con uno o dos domos son utilizados para generadores pequeños. También se construyen muy pocos generadores de tubos rectos para grandes tamaños, altas presiones y temperaturas.

La capacidad del generador se determina por el ancho y largo del horno. Debido al pequeño contenido de agua comparado con la gran superficie de calefacción y a la circulación eficiente de agua, estos generadores pueden llevarse rápidamente a las condiciones normales de marcha.

La limpieza de los generadores de vapor acuatubulares, se lleva a cabo fácilmente porque las escamas o incrustaciones se quitan sin dificultad utilizando un dispositivo limpiatubos movido con agua o aire.

### **3.4.1 GENERADORES DE VAPOR ACUATUBULARES DE CIRCULACIÓN NATURAL.**

En este tipo de generadores la circulación del agua esta asegurada por la diferencia de peso específico que existe entre la columna ascendente constituida por una mezcla de agua y vapor y la columna descendente de agua. En los generadores de circulación natural se encuentran: los generadores de tubos rectos y los generadores de tubos curvados (stirling y compactos modernos).

#### **3.4.1.1 GENERADORES DE VAPOR ACUATUBULARES DE CIRCULACIÓN NATURAL CON TUBOS RECTOS.**

En la construcción de estos generadores se siguieron los diseños de algunos generadores de tubos de humos siendo de tubos rectos suspendidos sobre el hogar y con los tubos conectados en dos tipos de cabezales: tipo caja y sinuoso. Estos generadores

aunque son construidos para trabajar a bajas presiones, se llegan a utilizar a 8.27 MPa, aunque por el código ASME están limitadas a una presión de 1.10 MPa.

Otro modelo de generador de tubos rectos es el generador de tubos de agua verticales, este es un generador que requiere un moderado espacio volumétrico y una superficie en planta, por unidad de capacidad. Estos generadores manejan mayor vapor pero a su vez son más grandes que los de tubos rectos.

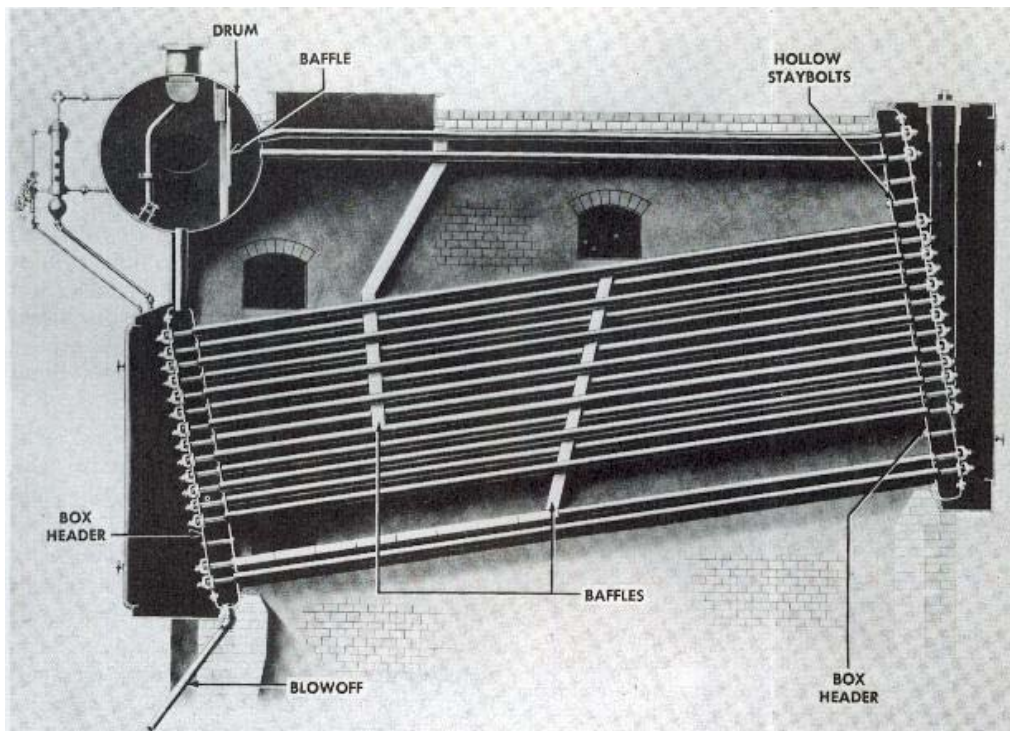
La característica principal del generador de vapor acuatubular con tubos rectos es que el cuerpo cilíndrico único va colocado a lo largo o formando un ángulo recto con los tubos.

Funciona de la siguiente forma: el agua entra por la parte más baja del cilindro, desciende por el interior de los colectores posteriores y sube por los tubos inclinados en donde se forma el vapor. La mezcla de vapor y agua sube rápidamente por los colectores frontales, generando, una circulación hacia el cuerpo cilíndrico del generador de vapor en donde tiene lugar la separación entre el vapor y el agua. Los acueductos, los cuales tienen dimensiones generalmente de 10.16 cm, se encuentran inclinados formando un ángulo de 22°. Los productos de la combustión pasan exteriormente a los tubos guiados por deflectores.

Los generadores acuatubulares de tubos rectos son ventajosos, ya que todos sus tubos principales son iguales y no necesitan formas especiales. En cambio tienen la

desventaja que los tubos rectos terminan en colectores de los cuales sus paredes deben estar a escuadra con la línea central de los tubos, ya que las juntas de vapor necesitan esta disposición para que el ensanchamiento de los extremos de los tubos se encuentren pegados a las paredes de los colectores.

Con respecto al mantenimiento del generador, este es muy fácil, ya que se puede acceder por medio de las tapas desmontables que se encuentran en los extremos de cada tubo eliminando materias no deseables para el sistema.



**Fig. 3.3** Generador de vapor de tubos rectos.



### **3.4.1.2 GENERADORES DE VAPOR ACUATUBULARES DE CIRCULACIÓN NATURAL CON TUBOS CURVADOS.**

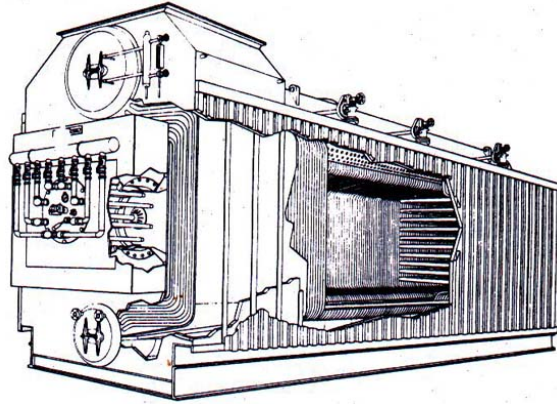
Los tubos curvados son más flexibles que los tubos rectos, de esta manera, da una mayor libertad al momento de construirse, ya que pueden ser anchos y bajos allí donde la altura de sala de generadores es limitada, o estrecha y altos donde la superficie de la planta es escasa. También los generadores de tubos curvos permiten que una mayor superficie de calefacción este expuesta al calor radiante de la llama. A medida que los generadores aumentan de tamaño, se incrementa la demanda de un hogar refrigerado más activo. Así se hicieron las paredes o pantallas de tubos de agua y otras mejoras de diseño.

Un mejor conocimiento de la dinámica de los fluidos dio como resultado unos sistemas de circulación de fluidos mucho mas sencillos y seguros en la pared de tubos de agua.

Se utilizan generadores de tubos curvos por las siguientes razones:

- Razones de transferencia térmica hacen imposible utilizar tubos rectos.
- El tubo curvado permite la libre dilatación y contracción del conjunto.
- Los tubos curvados entran radialmente al cilindro para permitir que muchos haces de tubos penetren en éste.
- Los tubos curvados permiten una mayor flexibilidad en la disposición de los tubos de el generador que en el generador de tubos rectos.

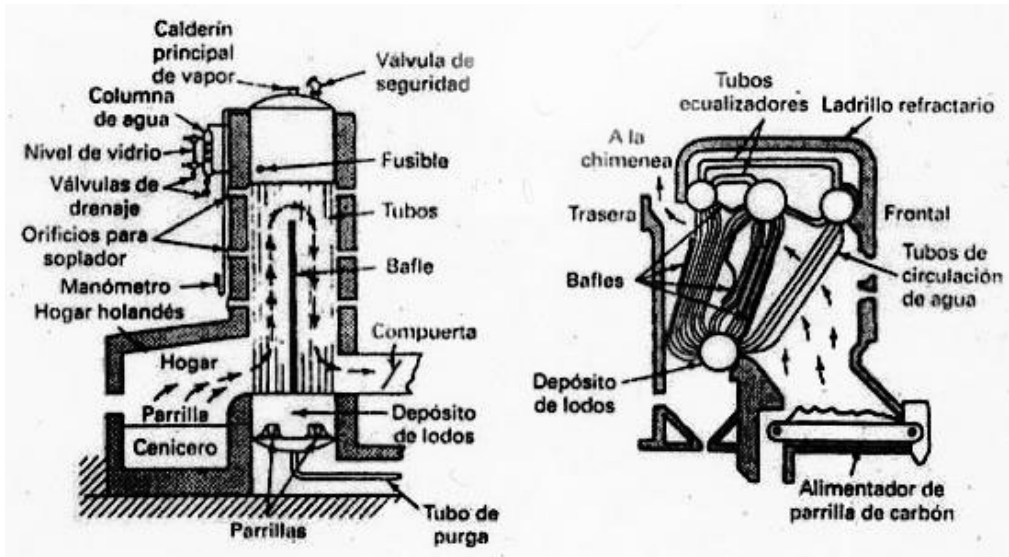
Los generadores acuatubulares de circulación natural con tubos curvados se dividen en: tipo stirling y tipo compactos modernos.



**Fig. 3.4 Generador de vapor de tubos curvos.**

#### **3.4.1.2.1 GENERADORES DE VAPOR ACUATUBULARES DE CIRCULACIÓN NATURAL CON TUBOS CURVADOS TIPO STIRLING.**

Este ha sido uno de los primeros tipos de generadores de tubos curvados de utilización común. Los generadores de este tipo generalmente fueron diseñados para presiones desde 1.1 hasta 7 MPa y un rango de producción de 3,175.14 a 142,881.60 Kg/hora de vapor.



**Fig. 3.5 Generador de vapor de tubos curvos tipo Stirling.**

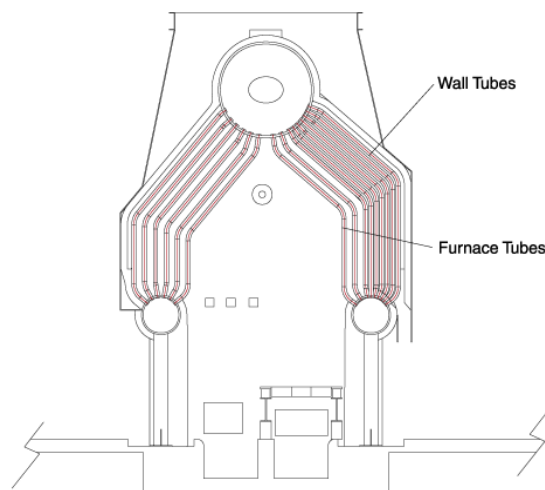
### **3.4.1.2.2 GENERADORES DE VAPOR ACUATUBULARES DE CIRCULACIÓN NATURAL CON TUBOS CURVADOS TIPO COMPACTOS MODERNOS.**

Estos tipos de generadores han crecido en popularidad y tamaño para las aplicaciones industriales. Hoy en día, la mayoría de los generadores de tubos de agua siguen uno de los tres diseños conocidos como tipos A, D y O.

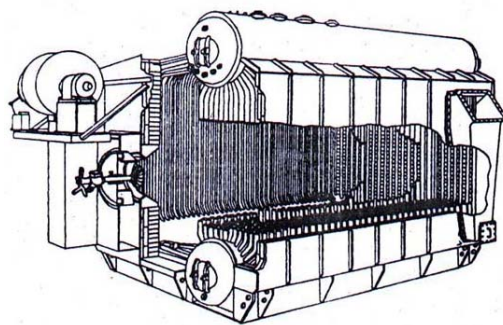
Un generador de tubos de agua tipo compacto moderno, consta de dos cilindros y viene equipado con un quemador de atomización por aire a baja presión. Las paredes exteriores, suelo y techo están refrigeradas por tubos tangenciales debido a la gran carga tanto de combustible como de vapor que pueden manejar, además, el generador puede estar equipado con salidas superiores o laterales de gases o humos.

Los generadores de tubos de agua cuando fabrican alrededor de 113000 Kg/hora de producción de vapor o más, se alimentan con combustible sólido más específico, con carbón pulverizado y hogares ciclónicos. Se utilizan los diseños de cilindro ancho y cilindro transversal con el generador de tubos curvados.

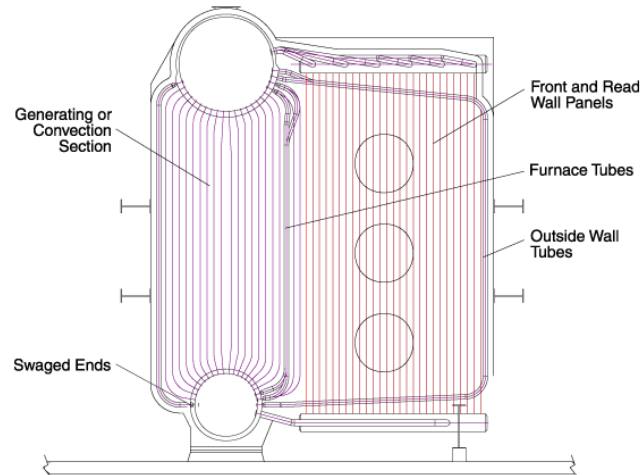
Es evidente que a medida que se aumenta la presión de trabajo, la construcción de el generador precisa disposiciones particulares para asegurar la circulación del agua.



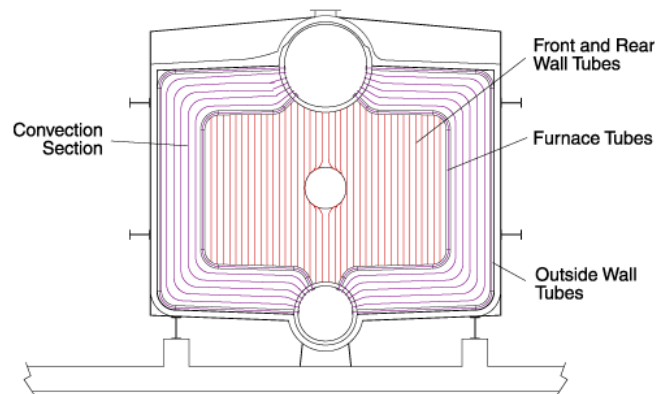
**Fig. 3.6 Generador de vapor de tubos curvos tipo compacto A.**



**Fig. 3.7 Generador de vapor de tubos curvos tipo compacto D.**



**Fig. 3.8** Generador de vapor de tubos curvos tipo compacto D vista lateral.



**Fig. 3.9** Generador de vapor de tubos curvos tipo compacto O.

### **3.4.2 GENERADORES DE VAPOR ACUATUBULARES DE CIRCULACIÓN FORZADA.**

A medida que las presiones son mayores, es necesaria la circulación forzada de agua dentro del generador con bombas que aseguren adecuada circulación en todas las

partes del generador de vapor, de aquí se deduce que los tubos de poco espesor y generadores de poca altura, no son recomendables en grandes unidades.

### **3.4.2.1 GENERADORES DE VAPOR ACUATUBULARES DE CIRCULACIÓN FORZADA TIPO SUPERCRÍTICOS.**

Estos generadores han sido diseñados para funcionar con una presión mayor que la crítica del diagrama agua-vapor, o sea, 22.5 MPa, y una temperatura de trabajo por encima de la temperatura crítica del agua de 374.2°C, además se pensó salvar las dificultades que ocasionan a la transmisión de calor las burbujas de vapor que se adhieren a los tubos vaporizadores.

La transición de líquido a vapor a la presión crítica del vapor, o arriba de ella, depende de la temperatura y se efectúa sin cambio de densidad, de esta manera la separación de vapor y el agua es importante y se deben utilizar generadores de flujo forzado y paso único, por lo cual no hay cilindro o domo que pueda separar el agua del vapor.

En generadores de flujo forzado y paso único la circulación del agua se consigue mediante una bomba de alimentación o bomba auxiliar, el agua se introduce a una presión superior a la presión crítica, mientras que la temperatura del agua está por debajo de la temperatura crítica, pero aumenta a medida que pasa a través del generador.

El flujo del fluido a través de la unidad empieza por el economizador, a través de sus haces, y va hacia los cabezales de salida hacia los tubos de las paredes del hogar, de ahí se dirige a los tubos de cubierta de paso de convección del gas hacia el sobrecalentador primario. La transición hacia la fase vapor (si esta operación se lleva por debajo de la presión crítica) se inicia en los circuitos del hogar y dependiendo de las condiciones de operación y del diseño, se completa en la cubierta del paso del gas de convección o del sobrecalentador primario. El vapor que procede el sobrecalentador primario pasa al secundario (y posiblemente a un terciario). Se cuenta también con uno o más recalentadores para volver a calentar el vapor a baja presión.

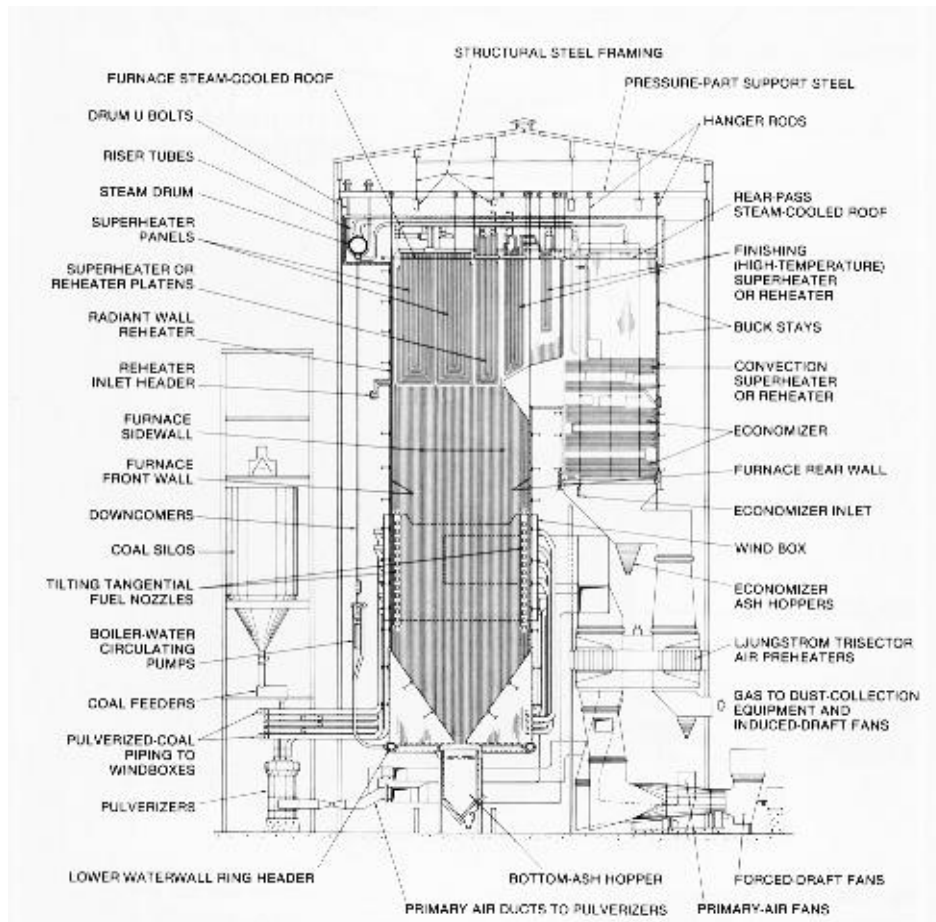
Estos generadores se tienen que operar por arriba de un mínimo especificado (en general de un cuarto o un tercio del flujo a plena carga), con objeto de mantener velocidades adecuadas del agua en los tubos de las paredes del hogar. Sin embargo el turbogenerador puede operarse a cualquier carga, con el empleo de un sistema de derivación, que desvía el exceso de flujo hacia un tanque de evaporación instantánea, para recuperación de calor. El sistema de derivación también puede utilizarse como un medio para controlar la temperatura del vapor a baja presión para la turbina durante el arranque y como un medio para controlar la temperatura del vapor que alimenta a una turbina durante los re - arranques en caliente.

Los generadores de circulación forzada tienen las siguientes ventajas:

- El espacio necesario para su instalación es mínimo.

- La circulación forzada asegura una refrigeración perfecta de todos los tubos vaporizadores.
- Eliminación de los tambores que son costosos y que atrasan la entrega del generador.
- Los generadores pueden ser adaptados para cualquier espacio disponible, ya que los tubos pueden ser instalados vertical u horizontalmente, según las necesidades. Los generadores a circulación forzada y a paso forzado pueden ser montados hasta en sitios desfavorables, ya que no hay que tomar en consideración la circulación natural. Los paquetes tubulares pueden colocarse muy favorablemente alrededor de cualquier hogar, de esta manera se tiene la posibilidad de que la cámara de combustión quede completamente revestida de tubos dispuestos sin otro propósito que obtener la mejor transmisión de calor por radiación. Con la misma facilidad pueden hacerse parrillas granuladoras y protección de techos de los tubos de cada paquete. La fuerte absorción de calor por radiación disminuye considerablemente la superficie de calefacción y que es posteriormente calentada por convección, contribuyendo así a reducir el precio del generador.
- Peso notablemente inferior al de los generadores de circulación natural, gracias también al empleo de tubos de diámetro pequeño. Una ventaja adicional que ofrecen estos tubos es que tienen paredes delgadas, de los cuales resulta una temperatura menor en la superficie.





**Fig. 3.10 Generador de vapor tipo supercrítico.**

### **3.4.2.2 GENERADORES DE VAPOR ACUATUBULARES DE CIRCULACIÓN FORZADA TIPO TUBOS DE AGUA CON SERPENTINES O BATERÍA.**

Estos generadores fueron desarrollados para satisfacer las necesidades industriales de un generador compacto, de rápida vaporización y montada en fábrica. Encuentran especial aplicación allí donde un proceso requiere vapor a alta presión y las capacidades necesarias son moderadas. Una unidad compacta se coloca allí donde existe necesidad de

carga, y esto hace innecesario el operar grandes generadores centralizados a reducidas cargas durante los períodos de trabajo cuando otras partes de la planta tienen demanda baja. Varios generadores compactos pueden situarse cercanos a las cargas de vapor de una planta en lugares muy separados, evitando así las pérdidas de las grandes líneas de vapor que pueden existir en una planta de vapor centralizado.

Los generadores tipo serpentín puede utilizarse en los tipos compactos de tubo de humo cuando se precisan elevadas presiones y capacidades de producción. Es posible lograr presiones de hasta 6.4 MPa con este tipo de generadores de tubos de agua de serpentín. Las capacidades generalmente están por debajo de 5000 Kg/hora, pero existen unidades para manejar cargas mayores.

Los tubos de generación de los generadores tipo serpentín constan de bobinas o baterías de tubo de pequeño diámetro dispuestas en bobinas helicoidales o en espiral o baterías horizontales. Algunas unidades grandes constan de una serie de haces conectados para formar una bobina o batería continua. El generador como utiliza la circulación forzada, le permite usar un tubo de pequeño diámetro con velocidades elevadas y altas tasas de transferencia térmica.

