

Sistemas que Componen una Planta Termosolar

ÍNDICE:

1. EL CAMPO SOLAR.
2. EL SISTEMA HTF.
3. EL CICLO AGUA-VAPOR.
4. LA TURBINA DE VAPOR.
5. EL BOP.
6. SISTEMAS ELÉCTRICOS.

El Campo Solar

CILINDRO-PARABOLICOS.

Esta tecnología se empezó a usar en los años 80, y actualmente hay centrales en Europa y EEUU, siendo la más usada por ello se va a entrar más en detalle, su potencia oscila entre los 50 MW y los 200 MW. Los concentradores solares recogen la energía lumínica que nos llega de forma directa desde el Sol como multitud de rayos, concentrándola en un punto o foco donde es transferida en forma de energía térmica, dentro de los concentradores se encuentran los cilindro-parabólicos, en el que el foco está situado en la línea. Debido a su forma la concentración en el foco está en el rango de 30 a 100 veces la intensidad normal, su modo de funcionamiento consiste en orientarse de forma que el plano de la apertura esté perpendicular a los planos en los que se encuentran los rayos solares. Para ello sigue al Sol con un seguidor de un solo eje de forma que al estar continuamente enfocado, transfiere la energía al fluido que circula por el interior del tubo absorbente.

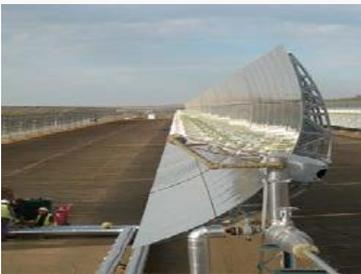


Figura 4. Captación solar por espejos Cilindro-parabólicos

Las partes principales que componen la instalación de un colector cilindro-parabólico son:

- 1) Cimentación. Soporta los colectores y los fija al suelo de forma que el conjunto estructural soporte las cargas para las que está diseñado, suelen ser de hormigón armado. Se realizan en función de las

dimensiones de los colectores y de las características estructuras, que están en función del peso, cargas de viento y tipo de terreno.

2) Estructura. Su función es la de dar rigidez al conjunto de elementos que lo componen, suelen ser metálicas, aunque actualmente se están investigando otros materiales como la fibra de vidrio, plásticos e incluso madera. Es importante que la estructura sea de calidad ya que cualquier deformación de esta a lo largo de su vida afectará a la concentración de la luz y con ello a la producción de energía.

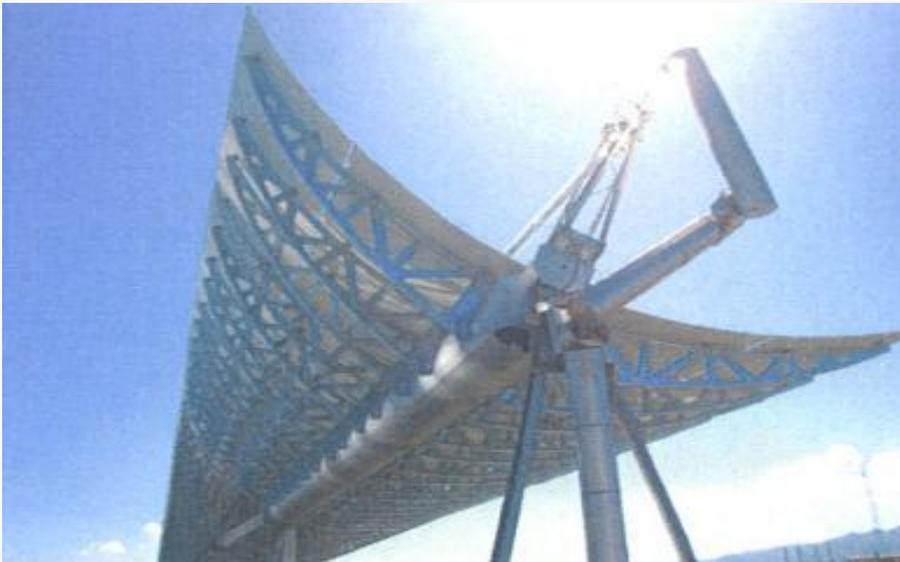


Figura 5. Estructura.

3) Reflector cilindro-parabólico. Es la parte concentradora del colector y su trabajo consiste en reflejar la radiación solar que incide sobre él y proyectarla de forma concentrada sobre el tubo absorbente. Los reflectores utilizados son espejos hechos de plata o aluminio aplicados sobre chapa, plástico o cristal. Los espejos al estar al aire libre se tienden a ensuciar por lo que deben ser limpiados para que no disminuya el rendimiento, el principal problema para su limpieza son los delicados tubos central.

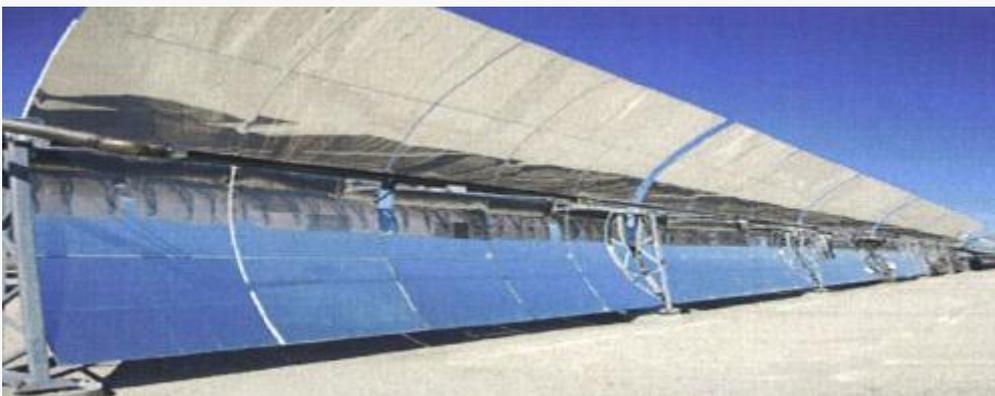


Figura 6. Reflector.

4) Tubo absorbente. Es el encargado de convertir la luz solar concentrada en energía térmica en el fluido caloportador, consiste principalmente en dos tubos uno interior de metal, recubierto de una capa especial de pintura negra a base de materiales de gran absorción superior al 90 % y baja emisividad a altas temperaturas, y otro tubo transparente de vidrio de alta transmitancia en el intervalo solar. Para unir los dos tubos se deben usar juntas especiales capaces de soportar las dilataciones. Además dentro de los tubos se introducen unos Getters, encargados de absorber las moléculas de las sustancias que puedan penetrar entre el tubo metálico y el de vidrio, para mantener el vacío. (El getter es un material, por ejemplo, magnesio, que se evapora una vez sellado el tubo. El magnesio evaporado se deposita en la superficie del vidrio formando un recubrimiento brillante. El getter adsorbe las moléculas de gas que puedan liberarse en el tubo, manteniendo la integridad del vacío)



Figura 7. Tubo absorbente.

5) **Transmisión.** Es el mecánico de seguimiento solar que se encarga de cambiar la posición del colector conforme el Sol se va moviendo, puede ser eléctrico, motor-reductor, o hidráulico, el más habitual. Normalmente para abaratar coste un solo mecanismo se debe encargar de mover 6 colectores en serie.

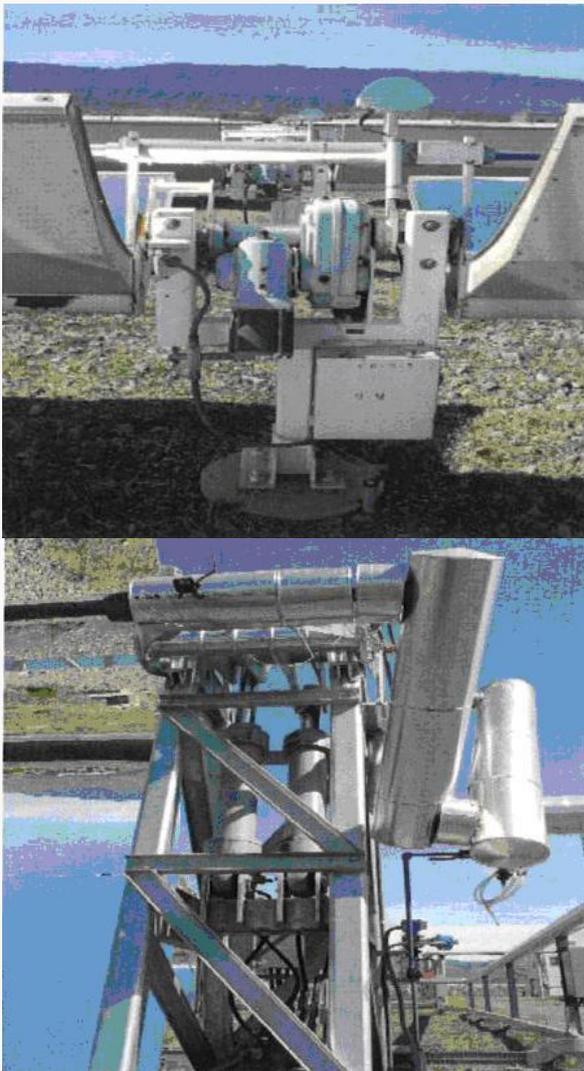


Figura 8. Transmisión eléctrica arriba e hidráulica abajo.

6) Sistema de seguimiento del Sol. Es el encargado de ajustar la posición del colector de tal manera que el rendimiento sea máximo, para la orientación se utilizan fotocélulas separadas por una banda de sombra, que en caso de desenfoco, produce un tensión que hace que motor gire o los pistones se muevan en la dirección deseada. Además de permitir el máximo aprovechamiento de la energía solar, el sistema de seguimiento sirve para desenfocar el espejo cuando la energía captada es excesiva, otra de sus funciones es colocar los espejos en posición de limpieza o de mantenimiento.

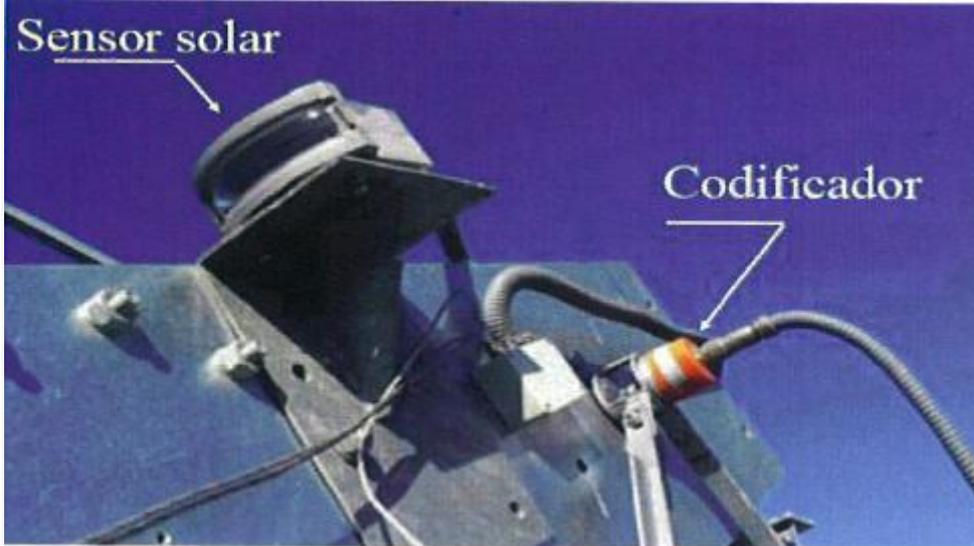


Figura 9. Sistema de seguimiento.

7) Conexión entre colectores. Los colectores se unen en serie formando filas y estos a su vez se unen paralelo. Estas piezas permiten al fluido circular entre los módulos, partes móviles, y las tuberías de circulación, partes fijas, etc. Pueden ser de dos tipos o bien juntas rotativas o tuberías flexibles.

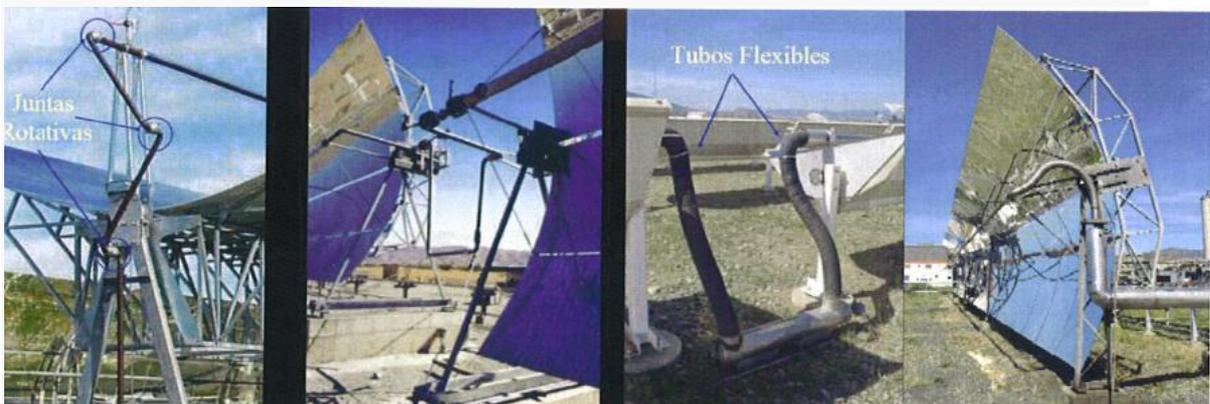


Figura 10. Juntas de conexión entre paneles.

8) Fluido de transferencia de calor. Son los encargados de absorber la energía solar en los tubos del campo solar y transportarla a los depósitos de sales. Existen diferentes tipos de fluidos usados para esta misión de ellos se pueden destacar los siguientes:

- Agua-vapor. Sus ventajas son: barata, fácil de conseguir, abundante, excelente medio de transmisión de calor, alto calor específico, propiedades y comportamiento muy conocido, no es toxica y no es inflamable. Sus desventajas son: es agresiva, muy oxidante, produce corrosión, determinadas sales precipitan produciendo incrustaciones, se dilata al solidificarse y aumenta muy fuertemente de presión con la temperatura.

- Mezclas de sales inorgánicas.
- Alquil bencenos. Son muy estables, soportan temperaturas de hasta 300 °C, no desprenden gases tóxicos, ni corrosivos y tienen un bajo punto de congelación entre -45 a -50 °C.
- Mercurio. Muy poco empleado por razones de toxicidad y precio, trabaja hasta temperaturas de 540 °C, requiere una gran vigilancia para detección de fuga de vapores, a partir de 360 °C requiere presión en la instalación haciendo que los costos sean muy altos.
- Mezclas difenilo y óxido de difenilo. Tienen puntos de fusión muy altos, desagradable olor fenólico a altas temperaturas (hasta los 410 °C), son muy caros y al tener un punto de ebullición bajo la instalación necesita un control de presión.

El Sistema HTF

ÍNDICE:

1. SISTEMA DE BOMBEO PRINCIPAL.
2. SISTEMA DE ULLAGE.
3. SISTEMA ANTI-CONGELACIÓN.
4. SISTEMA DE NITRÓGENO.
5. TANQUES DE EXPANSIÓN.
6. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE SALES (TES).
7. CALDERA AUXILIAR.

INTRODUCCIÓN

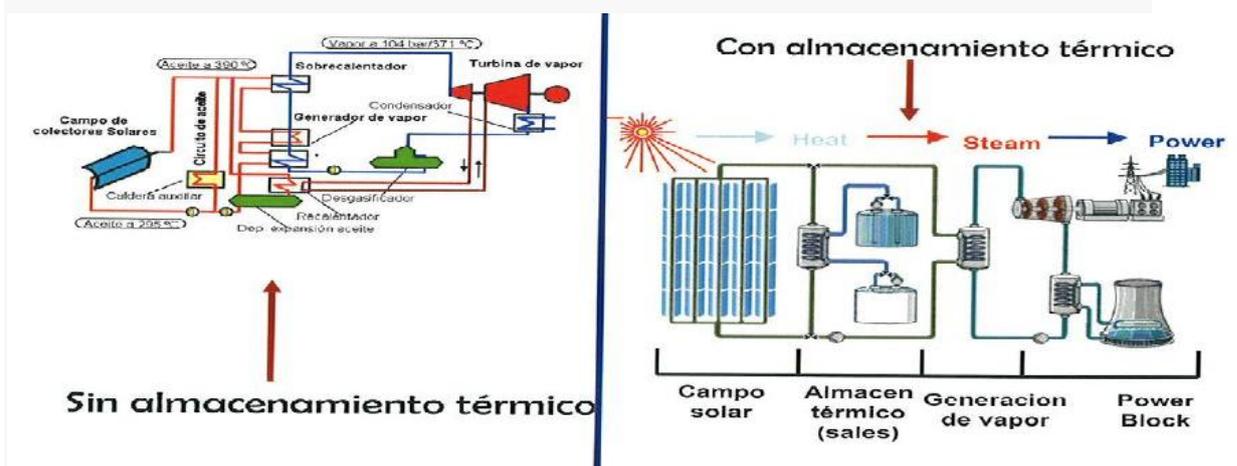


Figura 1. Dos posibles configuraciones.

La función principal del sistema HTF es transportar el calor captado por los concentradores cilindro parabólicos hasta el ciclo agua-vapor, para que este pueda generar vapor con el que accionar la turbina.

La razón fundamental por la que se elige el aceite térmico es porque tiene que circular por el campo solar, si fuera agua, a esa temperatura tendría que tener una gran presión, lo que encarece todo el sistema, ya que se deben emplear tuberías más resistentes y bombas más potentes.

El sistema puede tener almacenamiento en cuyo caso habría que sobre dimensionar el campo de captadores solares para derivar parte del calor a los depósitos de sales o sin almacenamiento.

Tabla 1. Parámetros característicos del sistema HTF.

1) Temperatura máxima del aceite térmico.	450 °C
2) Temperatura mínima de congelación.	12 °C
3) Temperaturas normales de trabajo. - A la entrada al campo solar. - A la salida del campo solar.	250-393 °C 293 °C 393 °C
4) Presión en diferentes puntos. - A la salida de las bombas. - A la entrada al campo solar. - A la salida del campo solar. - A la entrada/salida del tren de generación de vapor. - A la entrada/salida de los intercambiadores de sales.	15-30 bar. 14-28 bar. 10-15 bar. 393/293 bar. 293-380 bar.
5) Caudal de funcionamiento en cada uno de los modos de operación.	
6) Toneladas de aceite térmico que contiene el sistema.	2000
7) Nº de lazos del sistema (con sales).	240-250
8) Potencia total térmica recibida anualmente.	1.090.000 MWh
9) Potencia total térmica captada por el sistema HTF.	465.000 MWh
10) Eficiencia térmica de los colectores.	43 %
11) Eficiencia media total.	16 %
12) Producción energética neta.	160.000 MWh

El campo de colectores está formado por una gran cantidad de tuberías encargadas de transportar el aceite térmico a todos los sistemas que componen el HTF, son tuberías de acero al carbono, recubiertas de aislante y con una superficie final de chapa galvanizada, sólo parte de las tuberías están traceadas, (el traceado de tuberías es un sistema de calefacción eléctrico diseñado para controlar y mantener la temperatura del producto que fluye por una red de tuberías.) las principales características con las que se puede describir las tuberías del campo solar son las siguientes:

- 1) Están sometidas a fuertes variaciones de temperatura (dilataciones y tensiones térmicas).
- 2) Circulan dos tuberías en paralelo, la del fluido frío y la del caliente.
- 3) Cada lazo tiene una conexión a la tubería fría (entrada) y otra a la caliente (salida).
- 4) Necesita "liras" para absorber las dilataciones, más o menos una cada 70 metros.
- 5) Necesitan juntas de dilatación en determinados puntos para absorber dilataciones.
- 6) No puede ir traceada totalmente, por coste, ya que son muchos kilómetros.
- 7) Para evitar la congelación es necesario hacer circular el aceite de forma continua, evitando a toda costa que se quede retenido.
- 8) Las uniones no pueden ir con bridas, van con soldaduras para evitar fugas, lo que implica mantenimiento.



Figura 2. Campo de colectores.

El sistema HTF está compuesto por los siguientes subsistemas:

) 1. SISTEMA DE BOMBEO PRINCIPAL.

El sistema de bombeo está compuesto por una serie de grandes bombas encargadas de hacer circular el aceite térmico por toda la planta, la potencia de estas bombas suele rondar 1MW, existiendo 6 bombas en las plantas de 50 MW, de las 5 están trabajando en paralelo y 1 esta de repuesto, la presión suele ser de 30 bar., las bombas utilizadas suelen ser de tipo Sulzer de impulsor en voladizo, con doble cierre en un solo lado y con aspiración horizontal y descarga vertical, también pueden ser usadas otras de mayor potencia como usando solo 1 o 2 en serie de 2MW por bomba con una presión de entre 15-30 bar., siendo estas bombas del tipo Novo Pignone, con impulsor con doble apoyo, doble cierre en ambos lados del impulsor y aspiración vertical, con descarga vertical.

Bomba tipo Sulzer de impulsor en voladizo.





Figura 3. Sistema de bombeo principal

) 2. SISTEMA DE ULLAGE.

El sistema de eliminación de residuos o ullage, es el encargado de limpiar el aceite de los productos derivados de la contaminación por su oxidación y cracking(descomposición). Si no se eliminarán supondría la obstrucción de filtros, el deterioro de bombas y válvulas, la reducción de la capacidad de intercambio y la disminución del punto de inflamación.

El sistema de ullage funciona extrayendo un 2% del caudal total de aceite, este aceite lo calienta hasta que se evapora separando así de compuestos con punto de ebullición más alto, después de esto es enfriado para volverlo otra vez líquido, consiguiendo con ello separarlo de los productos con temperaturas más bajas de licuefacción.



Figura 4. Sistema de ullage.

) 3. SISTEMA ANTI-CONGELACION.

Su función es la de proporcionar calor al sistema HTF para evitar que llegue a su temperatura de congelación, este sistema también puede ser usado para adicionar calor al sistema, aunque no sea específicamente para evitar la congelación, puede realizar un calentamiento extra del HTF para generar más energía de la que se corresponde a la radiación que se está captando, también puede calentar el aceite sin radiación para general energía con combustible fósil, gas natural.

Para evitar un uso indebido del gas natural, la cantidad máxima que se puede consumir está limitada al 12-15%.

La presión de descarga de las bombas tiene que ser un poco superior a la presión de las bombas principales de HTF.

Traceado consiste en un sistema de calentamiento de las tuberías para evitar que aumente la viscosidad de los aceites y que se puedan solidificar, el traceado se puede hacer por resistencias eléctricas o por tuberías encamisadas calentadas por vapor, pero el traceado eléctrico suele ser el más usado por las siguientes características:

- 1) Es fácilmente controlable la temperatura del producto.
- 2) Todos los circuitos de calefacción pueden ser dirigidos de modo centralizado.
- 3) Existe un control continuo, y los gastos de operación son muy bajos.
- 4) No hay partes sujetas a rozamiento y se necesita muy poco mantenimiento.
- 5) Los cables para calefacción se colocan fácilmente.

) 4. SISTEMA DE NITROGENO.

Para evitar la degradación del aceite por oxidación y cracking en los tanques, estos son presurizados con nitrógeno con una presión superior a la de vapor unos 11 bars., de presión relativa.

Los tanques inertizados con nitrógeno son:

- 1) Todos los tanques del sistema de ullage, excepto el de evaporación flash.
- 2) El tanque de expansión.
- 3) El tanque de rebose.



Figura 5. Sistema de nitrógeno.

Inertización con Nitrógeno:

Cuando se almacenan sustancias altamente volátiles o sustancias propensas a la oxidación, la conservación del producto y la seguridad revisten la mayor importancia.

La inertización con nitrógeno o cubrimiento con nitrógeno es un método seguro y fiable para mantener constantemente una capa protectora de gas por encima de la sustancia.

La humedad del espacio superior se sustituye por nitrógeno de alta pureza, inerte y completamente seco. Un sistema de control de la válvula preciso, garantiza que cuando el depósito se llene o se vacíe, el contenido de nitrógeno se compensará automáticamente para mantener la capa protectora.

) 5. TANQUES DE EXPANSION.

Es el encargado de absorber las diferencias de volumen cuando el fluido se calienta, se encuentra situado en el punto más alto de la planta. Se debe vigilar el venteo ya que es muy importante al salir el vapor de agua por ahí, el tanque debe estar inertizado por nitrógeno. Está asociado al tanque de rebose y a la bomba de recirculación desde los tanques de rebose.

) 6. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE SALES (TES).

Es el encargado de almacenar la energía térmica para ser usada en las horas de baja o nula radiación solar. Se utilizan sales fundidas porque para almacenar la misma energía con aceite térmico los tanques serían mucho más grandes.

Existen dos tanque, el frío con una temperatura mínima de 292 °C para evitar la solidificación de las sales y el caliente a 386 °C calentado con el HTF proveniente del campo solar.

Las combinación de sales más usada es la compuesta en un 60% de nitrato sódico y un 40 % de nitrato potásico, tienen un alto coeficiente de transferencia térmica, entre un 0,6-1,2 MW/m², y una alta capacidad de almacenamiento térmico, su punto de fusión está comprendido entre los 220- 250 °C , por lo que necesitan de un trazo eléctrico.

6.1 Características del sistema de almacenamiento de sales en una planta de unos 50 MW.

- 1) Está diseñado para almacenar 1010 MWh.
- 2) Se necesitan unas 28800 toneladas de sales.
- 3) La carga térmica se lleva a cabo en 7,7 horas con un intercambio térmico HTF-sales de 131 MW.
- 4) La descarga del almacenamiento para vaciar el tanque caliente en 8,5 horas con un intercambio térmico de 119 MW.
- 5) Se bombea un caudal de sales del tanque frío al caliente de 935 kg/s aproximadamente. Y de descarga del caliente de 847 kg/s. Pasando el HTF de 287 °C a 379 °C .
- 6) Los intercambiadores, válvulas y tuberías disponen de trazo eléctrico para evitar la congelación de las sales.

- 7) Los tanques disponen de resistencias eléctricas en la zona central y en el suelo.
- 8) En caso de parada larga hay un sistema de recirculación de sales en el tanque frío para evitar su estratificación.
- 9) Los tanques están inertizados con nitrógeno para evitar oxígeno en contacto con el HTF en caso de fuga.
- 10) El depósito de drenajes, recoge los drenajes de las tuberías e intercambiadores y los devuelve al tanque frío.

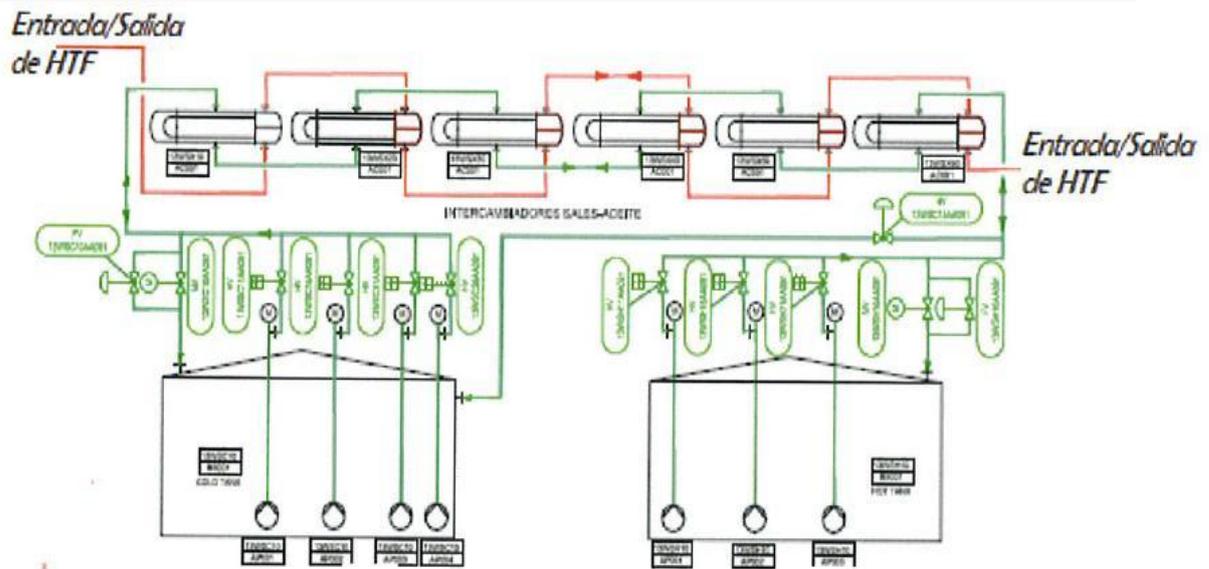


Figura 6. Esquema del sistema de almacenamiento de sales.

6.2 Elementos que forman el sistema.

1) Almacenamiento de sales frías.

- Tanque de almacenamiento de sales frías.
- Calentadores eléctricos sumergidos en el tanque.
- Bombas de almacenamiento de sales frías con motores eléctricos y variadores de velocidad.

2) Intercambiadores de calor para sales fundidas, el tren de intercambio está dispuesto en serie, en sentido desde el tanque frío al caliente, calentando las sales, el HTF circula por los tubos, mientras que las sales fundidas circulan por la carcasa, las tuberías llevan traceado eléctrico para evitar la congelación de las sales.



Figura 7. Intercambiadores de calor.

3) Almacenamiento de sales calientes.

- Tanque de almacenamiento de sales calientes.
- Calentadores eléctricos sumergidos en el tanque.
- Bombas de almacenamiento de sales calientes con motores eléctricos y variadores de velocidad.

4) Sistema de drenajes.

- Recipiente de drenaje, para vaciar las tuberías y los intercambiadores, es de unos 30 m³, situado a 2 metros por debajo del nivel del suelo, su función es recoger los drenajes de las tuberías y de los intercambiadores, posee traceado para evitar que solidifiquen cuando la planta esté parada.
- Bomba de drenaje para devolver las sales al tanque de sales frías.
- Posee un sistema de detección de fugas y condensados de HTF. Lo detecta, separa el HTF del circuito de sales e identifica el punto exacto de la fuga.

) 7. CALDERA AUXILIAR.

Es la encargada de mantener la temperatura del aceite en los valores correctos para que el sistema siga funcionando cuando por cualquier circunstancia los captadores no suministran suficiente energía. Se suele alimentar de gas natural.

El Ciclo Agua - Vapor

ÍNDICE:

1. FUNCIÓN DEL CICLO AGUA-VAPOR.
2. PRINCIPALES ELEMENTOS DEL CICLO AGUA-VAPOR.

) 1. FUNCIÓN DEL CICLO AGUA-VAPOR.

La principal función del ciclo agua-vapor es transportar vapor desde el tren generador hasta la turbina de vapor, y retornar hasta la caldera el agua condensada.

Se utiliza vapor como fluido calor-portador principalmente porque es un fluido barato y accesible en casi cualquier parte, es posible ajustar con gran precisión su temperatura, por la relación existente entre presión y temperatura, controlando ésta a través de válvulas reguladoras, es capaz de transportar grandes cantidades de energía con poca masa y es capaz de realizar ese transporte a cierta distancia, entre los puntos de generación y consumo.

Los principales inconvenientes de usar vapor de agua son, sus altas presiones, necesita de un tratamiento muy estricto para que no sea corrosivo ni produzca incrustaciones y es necesario un gran volumen.

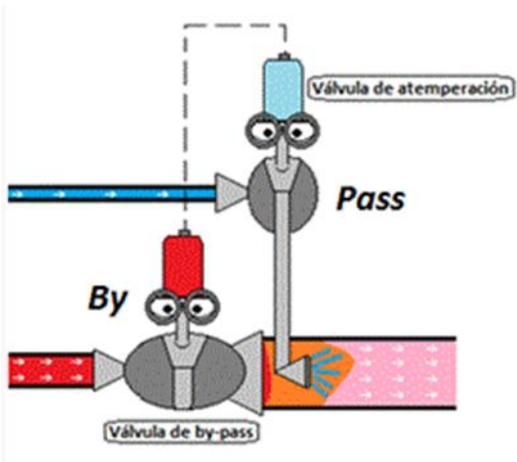
Tabla 1. Parámetros característicos de una planta termosolar de 50 MW.

Nº de generadores de vapor	2
Tipo de generación	Conducción. Intercambio térmico en intercambiadores tubulares aceite térmico-agua.
Nº de niveles de presión	2
Presión (circuito alta)	103 bares.
Presión (circuito baja)	25 bares.
Temperatura (circuito de alta)	385 °C
Temperatura (circuito de baja)	385 °C
Presión de vacío del condensador	0.08 bar.
Temperatura del condensado	26 °C
Consumo eléctrico total del ciclo	1700 kW.

) 2. PRINCIPALES ELEMENTOS DEL CICLO AGUA-VAPOR.

2.1 Válvulas de bypass.

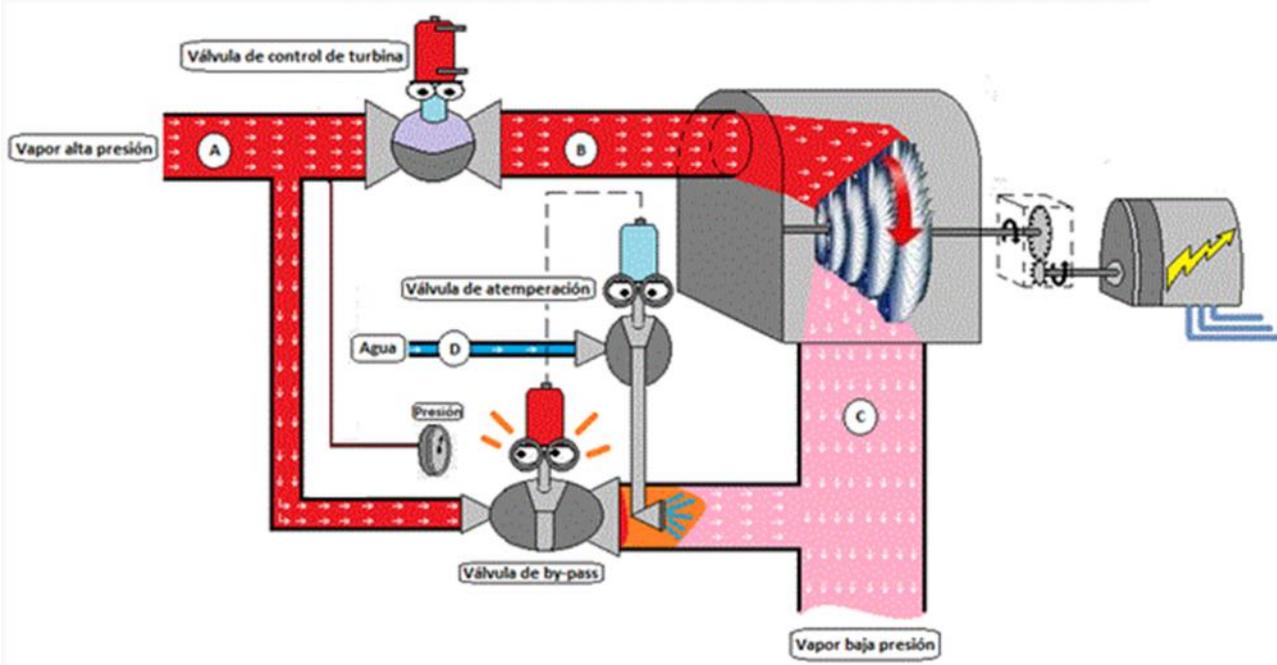
Son dos, de alta presión y de baja presión, Estas válvulas desviarán parte del vapor en la entrada de la turbina hacia otro sitio (normalmente hacia el condensador), adecuando la presión y la temperatura del vapor a su nuevo destino.



La válvula de By-Pass suele ir asociada a otra válvula que regula la atemperación del vapor.

La válvula de By-Pass es capaz de transformar el vapor de alta presión a vapor en baja presión, la válvula de atemperación se encarga de enfriar dicho vapor (echando agua desmineralizada), para adecuarlo a su destino (en este caso el condensador).

Normalmente la válvula de By-Pass limita la presión del vapor antes de la válvula de control de la turbina, si la presión subiera por encima de un valor esta válvula comenzaría a abrir.



A: Vapor sobrecalentado a alta presión

B: Vapor a la entrada de la turbina

C: Vapor a baja presión (Cerca de la saturación)

D: Agua desmineralizada

Normalmente esta válvula solo debería de utilizarse en los arranques, sin embargo también acabará abriendo siempre que la demanda de vapor de la turbina sea menor que el vapor generado por la caldera.

Como normalmente, estas centrales llevan una turbina de vapor con recalentamiento o regeneración, es necesario el uso de 2 válvulas by-pass.

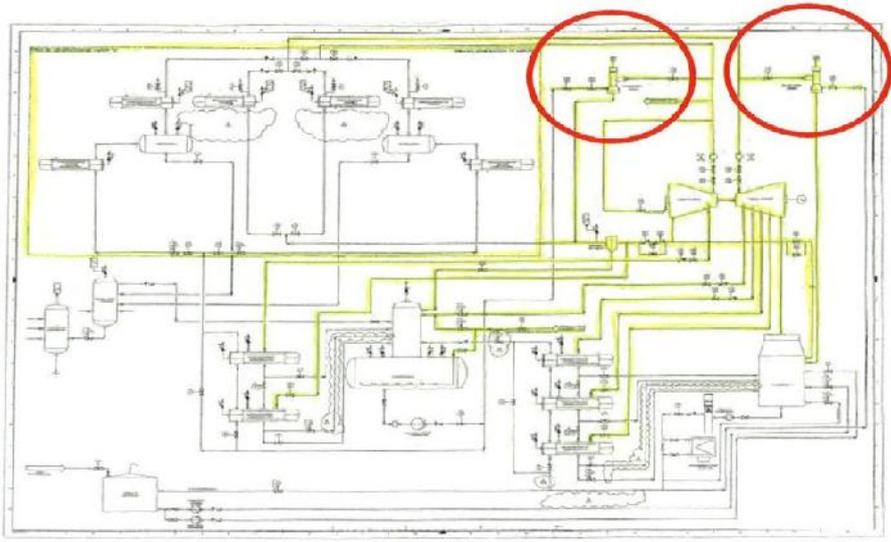


Figura 1. Localización de las válvulas de bypass.

2.2 El condensador.

Está situado a la salida de la turbina de vapor de baja presión su función principal es condensar el vapor, también se aprovecha en este punto para eliminar gases incondensables y nocivos ya que algunos son muy corrosivos como el oxígeno, se eliminan por métodos físico o químicos. La turbina va unida al condensador a través de una junta de expansión, además el condensador está protegido contra las sobre presiones con sus correspondientes válvulas, también tiene protección catódica para evitar su corrosión.

Existen diferentes configuraciones de salida de la turbina al condensador pueden ser en dirección axial o radial, según la salida del vapor sea en la dirección del eje o en la dirección radial. Las principales ventajas de la salida axial son una menor altura de cimentación y más eficiencia, su inconveniente es la dificultad para el acceso a uno de los cojinetes. Si la salida es radial su principal ventaja es la facilidad constructiva y sus inconvenientes son la gran altura de la cimentación y el mayor coste de la obra civil.

Los gases condensables son el 99 % del total, para su condensación se emplea agua fría que se hace pasar por un haz tubular del condensador, a una temperatura menor que la temperatura de saturación. Para la eliminación de los gases incondensables que son el otro 1% se utilizan dos sistemas o bien bombas de vacío eléctricas, que pueden ser de lóbulos rotativos, anillo líquido o de pistón oscilante y también se pueden utilizar eyectores de vapor. Los eyectores de vapor se basan en el principio de Bernoulli y su principal ventaja es que son simples.



Figura 2. El condensador.

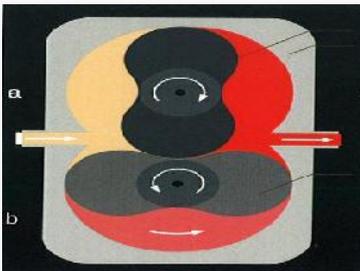


Figura 3. Bomba de lóbulos rotativos

El principio básico de los eyectores consiste en una boquilla que emite un chorro de líquido o de gas a alta velocidad, atrapando y acelerando el líquido, gas o materia sólida a su alrededor.



Figura 5. Eyector de vapor.

2.3 Extracciones de la turbina.

En la turbina existen diferentes tomas por donde se saca vapor para ser usado principalmente en el condensador y en el desgasificador, para eliminar los gases incondensables, y para precalentar el agua. Dependiendo de la zona de la turbina de donde se saque el vapor este tendrá unos valores de presión y temperatura determinados.

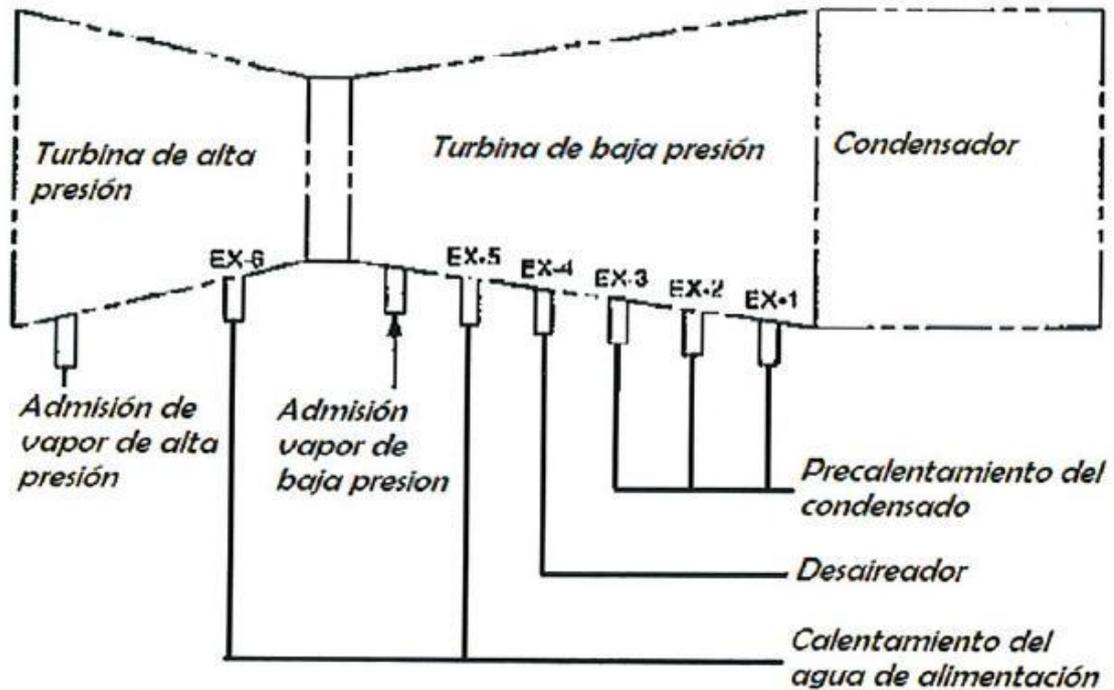


Figura 6. Extracciones de la turbina.

2.4 Precalentadores.

Son intercambiadores de carcasa-tubos, en forma de U, su función es precalentar el agua del desgasificador, lo precalientan por medio del vapor que se extrae de las turbinas.

2.5 El desgasificador.

Su función consiste en eliminar los gases que no ha sido posible eliminar en el condensador, principalmente oxígeno y dióxido de carbono, lo hace por medio de una desgasificación térmica, complementaria de la desgasificación del condensador. También se encarga de la adición de productos secuestrantes de oxígeno y también de precalentar el agua aprovechando la desgasificación térmica.

La desgasificación térmica es más efectiva que la desgasificación química, que también se realiza en el condensador. Se basa en que el oxígeno es menos soluble en el agua caliente, por lo que al aumentar la temperatura se desprende, algunas plantas no tienen este elemento, la desgasificación se realiza en el condensador, para ello el condensador está equipado con unas boquillas en el fondo para calentar el agua con vapor procedente de la línea de vapor vivo.



Figura 7.Desgasificador.

2.6 Bombas de alimentación a la caldera.

Son las bombas encargadas de impulsar el agua desde el depósito de agua de alimentación a la caldera, elevando su presión a la de trabajo.

Normalmente son bombas centrífugas multietapa, varias bombas centrífugas en serie, y generalmente están duplicadas como medida de seguridad.

El principal problema que pueden sufrir estas bombas es el de la cavitación (formación de cavidades llenas de vapor o de gas en el seno de un líquido en movimiento), ya que cuando la presión baja el líquido puede vaporizarse, las burbujas formadas en la aspiración de la bomba crecen y explotan, provocando cráteres, vibraciones, y un desgaste acelerado de la voluta y del rodete, para evitar la cavitación, hay que asegurar que el NPSH (altura mínima de aspiración) sea el correcto, también hay que asegurar que la entrada de líquido no está estrangulada y es suficiente.

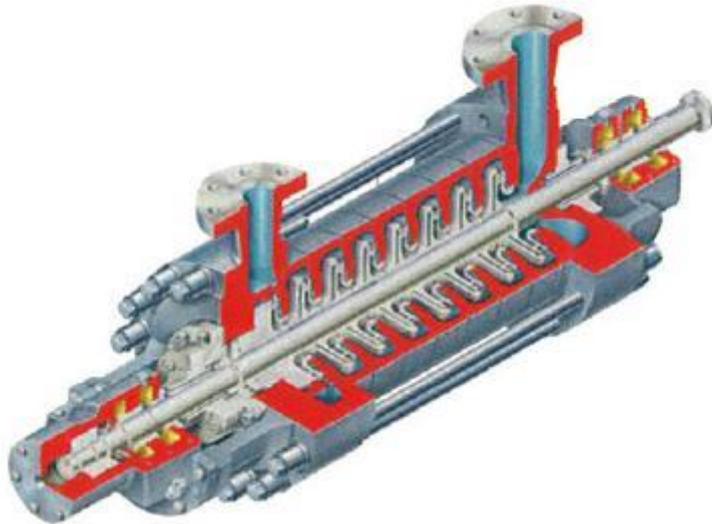


Figura 8. Bomba de alimentación.

2.7 Bombas de condensado.

Son las bombas encargadas de enviar el agua condensada del condensador al depósito de agua de alimentación.

Turbinas de Vapor

ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN.
2. CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS DE VAPOR.
3. ESTUDIO CONSTRUCTIVO DE LOS ELEMENTOS DE LAS TURBINAS.
4. CIRCUITO DE VAPOR CONDENSADO.
5. SISTEMAS DE ACEITE DE LA TURBINA.

6. REGULACIÓN DE LA VELOCIDAD.

7. DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD EN LAS TURBINAS DE VAPOR.

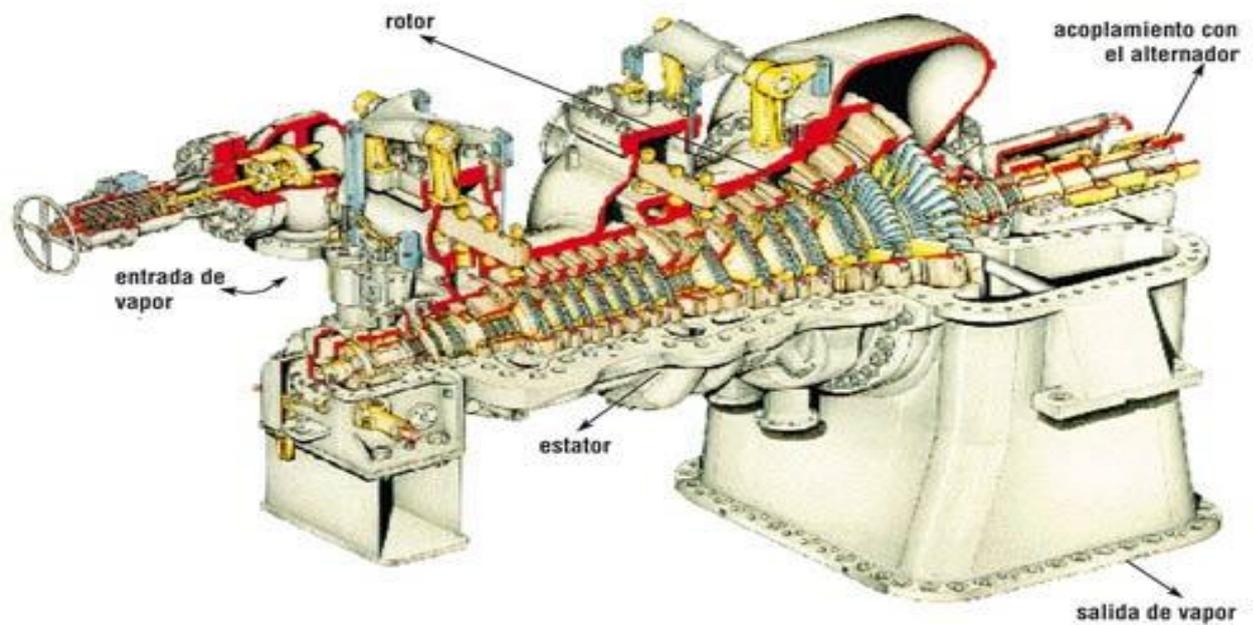


Figura 1. Turbina de vapor.

1. INTRODUCCION.

La turbina de vapor de una planta de cogeneración es un equipo sencillo y, como máquina industrial, es una máquina madura, bien conocida y muy experimentada. Se conoce casi todo de ella. Más del 70 % de la energía eléctrica generada en el mundo se produce diariamente con turbinas de vapor. El funcionamiento es muy sencillo: se introduce vapor a una temperatura y presión determinadas y este vapor hace girar unos álabes unidos a un eje rotor; a la salida de la turbina, el vapor que se introdujo tiene una presión y una temperatura inferior. Parte de la energía perdida por el vapor se emplea en mover el rotor. Necesita también de unos equipos auxiliares muy sencillos, como un sistema de lubricación, de refrigeración, unos cojinetes de fricción, un sistema de regulación y control, y poco más.

La turbina es un equipo tan conocido y tan robusto que si no se hacen barbaridades con él tiene una vida útil larga y exenta de problemas. Eso sí hay que respetar cuatro normas sencillas:

- 1) Utilizar un vapor de las características físico-químicas apropiadas.
- 2) Respetar las instrucciones de operación en arranques, durante la marcha y durante las paradas del equipo.
- 3) Respetar las consignas de protección del equipo, y si da algún síntoma de mal funcionamiento (vibraciones, temperaturas elevadas, falta de potencia, etc.) parar y revisar el equipo, nunca sobrepasar los límites de determinados parámetros para poder seguir con ella en producción o incluso poder arrancarla.
- 4) Realizar los mantenimientos programados con la periodicidad prevista.

Son normas muy sencillas, y sin embargo, casi todos los problemas que tienen las turbinas, grandes o pequeños, se deben a no respetar alguna o algunas de esas 4 normas.



Figura 2. Turbina de vapor abierta.

2. CLASIFICACION DE LAS TURBINAS DE VAPOR.

Existen varias clasificaciones de las turbinas dependiendo del criterio utilizado, aunque los tipos fundamentales que nos interesan son:

- Según el número de etapas o escalonamientos:

- 1) Turbinas monoetapa, son turbinas que se utilizan para pequeñas y medianas potencias.
- 2) Turbinas multietapa, aquellas en las que la demanda de potencia es muy elevada, y además interesa que el rendimiento sea muy alto.

- Según la presión del vapor de salida:

- 1) Contrapresión, en ellas el vapor de escape es utilizado posteriormente en el proceso.
- 2) Escape libre, el vapor de escape va hacia la atmósfera. Este tipo de turbinas despilfarra la energía pues no se aprovecha el vapor de escape en otros procesos como calentamiento, etc.
- 3) Condensación, en las turbinas de condensación el vapor de escape es condensado con agua de refrigeración. Son turbinas de gran rendimiento y se emplean en máquinas de gran potencia.

- Según la forma en que se realiza la transformación de energía térmica en energía mecánica:

- 1) Turbinas de acción, en las cuales la transformación se realiza en los álabes fijos.
- 2) Turbinas de reacción, en ellas dicha transformación se realiza a la vez en los álabes fijos y en los álabes móviles.

- Según la dirección del flujo en el rodete.

- 1) Axiales, el paso de vapor se realiza siguiendo la dirección del eje de la turbina. Es el caso más normal.
- 2) Radiales, el paso de vapor se realiza siguiendo todas las direcciones perpendiculares al eje de la turbina.

- Turbinas con y sin extracción.

En las turbinas con extracción se extrae una corriente de vapor de la turbina antes de llegar al escape.

3. ESTUDIO CONSTRUCTIVO DE LOS ELEMENTOS DE LAS TURBINAS.

- Rotor, es la parte móvil de la turbina.

- Estator o carcasa, parte fija que aloja el rotor y sirve de armazón y sustentación a la turbina.
- Álabes, órganos de la turbina donde tiene lugar la expansión del vapor.
- Álabes fijos, van ensamblados en los diafragmas que forman parte del estator. Sirven para darle la dirección adecuada al vapor y que empuje sobre los álabes móviles.
- Diafragmas, son discos semicirculares que van dispuestos en el interior de la carcasa perpendicularmente al eje y que llevan en su periferia los álabes fijos.
- Cojinetes, son los elementos que soportan los esfuerzos y el peso del eje de la turbina. Los cojinetes pueden ser radiales, que son aquellos que soportan los esfuerzos verticales y el peso del eje, o axiales, soportan el esfuerzo en la dirección longitudinal del eje.
- Sistemas de estanqueidad, son aquellos sistemas de cierre situados a ambos extremos del eje de la turbina que evitan que escape el vapor de la turbina.

1) Sellados del rotor, son elementos mecánicos que evitan que escape vapor de la turbina al exterior, por los lados del eje en las carcasas de alta y de media presión y además evitan la entrada de aire en las carcasas de baja presión. Pueden ser de metal o de grafito. Normalmente en las máquinas de gran potencia los cierres son metálicos de tipo laberinto.

2) Regulación del sistema de sellado en una turbina de condensación.

- Estanqueidad interior, son los mecanismos que evitan la fuga de vapor entre los álabes móviles y fijos en las etapas sucesivas de la turbina.

4. CIRCUITO DE VAPOR Y CONDENSADO.

Descripción del circuito de vapor a través de una turbina.

- Turbinas de contrapresión.
- Turbinas de condensación.
- Turbinas de extracción y condensación.

a) Válvulas de parada, actúan por seguridad de la turbina y en situaciones de emergencia. Tienen la misión de cortar el flujo de vapor de entrada.

b) Válvulas de control y regulación, válvulas de vapor de entrada que proporcionan el caudal de vapor deseado para dar la potencia requerida por la turbina.

Sistemas de vacío y condensado en turbinas de condensación.

- Condensador, su función es establecer el mayor vacío posible eliminando el calor de condensación del vapor de agua.

- Eyectores, se encargan de eliminar los gases incondensables que hay en el condensador, procedente de las fugas de aire y de los gases disueltos en el condensado, etc.

- Bombas de condensado, tienen por misión desalojar el condensado producido en el escape de la turbina. Problemas si el nivel de condensado es demasiado alto y no quedan tubos libres para condensar el vapor.

- Purgas de condensado del cuerpo de la turbina y líneas de vapor de entrada y salida, sistema que permite la eliminación del condensado de equipo y líneas cuando la turbina está en situación de parada y puesta en marcha.

5. SISTEMAS DE ACEITE DE LA TURBINA.

Este sistema tiene dos misiones fundamentales en las turbinas de vapor: una como elemento hidráulico del sistema de regulación de la turbina, para accionamiento de servomotores y otros mecanismos y otra como elemento lubricante de las partes móviles, como cojinetes, reductores, etc.

Dependiendo que la turbina sea a contrapresión o a condensación los sistemas de aceite pueden ser más o menos complejos.

1) Ejemplo de sistemas de aceite en una turbina de contrapresión.

- Sistema de aceite de lubricación.
- Sistema de aceite de mando y regulación.
- Bomba auxiliar de aceite o bomba de puesta en marcha. Puede ser manual o movida por un motor o turbina.
- Bomba incorporada o bomba principal de aceite. Accionada por el eje de la turbina.

2) Ejemplo de sistema de aceite en una turbina de condensación.

- Sistema de aceite de lubricación.
- Sistema de aceite de mando o regulación.
- Sistema de aceite primario.
- Sistema de aceite de cierre rápido o seguridad.

Equipos principales de los sistemas de aceite.

- 1) Tanques de aceite.
- 2) Bombas de aceite, principal y reserva.
- 3) Refrigerantes de aceite.
- 4) Filtros de aceite.
- 5) Calentador de aceite. Termostato de alta y baja temperatura.
- 6) Extractor de gases de aceite.
- 7) Equipos de purificación de aceite.

6. REGULACION DE LA VELOCIDAD.

Objetivo de la regulación. El objetivo principal de la regulación de la velocidad en las turbinas es mantener el número de rpm. constante independientemente de la carga de la turbina.

Turbinas de pequeña y mediana potencia. Normalmente la válvula de parada de emergencia y de regulación de entrada de vapor es la misma.

Regulación por estrangulación o laminación.

En Turbinas de gran potencia. En ellas, las válvulas de parada y de regulación son independientes entre sí.

7. DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD EN LAS TURBINAS DE VAPOR.

Son mecanismos que protegen a la turbina contra anomalías propias de la máquina, del proceso o bien de la máquina arrastrada por la turbina.

1) Ejemplos de disparo en turbinas de contrapresión.

- Disparo por sobrevelocidad. Evita el embalamiento de la turbina al faltarle la carga que arrastra.
- Disparo por baja presión de aceite de lubricación. Protege a la máquina para evitar el roce entre el eje y el estator.
- Disparo manual de emergencia. Para que el operador pueda parar a voluntad la máquina ante cualquier anomalía, como pueden ser vibraciones o ruidos anormales, fuga de aceite al exterior, etc.

2) Ejemplos de disparo en turbinas de gran potencia (condensación).

- Dispositivo de disparo de aceite del cierre rápido. Dispositivo mecánico sobre el que actúan los siguientes disparos mecánicos de la turbina.

- a) Sobrevelocidad.
- b) Disparo manual de la turbina.
- c) Disparo por desplazamiento axial.

- Dispositivo de disparo por falta de vacío. Dispositivo mecánico que dispara la máquina al subir la presión de escape de vapor en el condensador.

- Dispositivo de disparo a distancia mediante válvula electromagnética. De este dispositivo de disparo cuelgan todas aquellas seguridades de la máquina, del proceso o de la máquina arrastrada. A la válvula electromagnética le llega una señal eléctrica que energiza una válvula solenoide que enviara al tanque el aceite del cierre rápido cerrando las válvulas de parada y de regulación de vapor de la turbina.

Entre los disparos mencionados que afectan a este dispositivo están:

- a) Paros manuales a distancia desde el panel principal y local.
- b) Baja presión de aceite de lubricación.
- c) Baja temperatura del vapor de entrada a la turbina.
- d) Baja presión del vapor de 100 a la turbina.
- e) Disparo por alto valor de vibraciones y de desplazamiento axial.
- f) Disparos de la máquina arrastrada que también paran la turbina.
- g) Disparo por bajo nivel de aceite de sello a los cierres del compresor.
- h) Disparo por altos niveles de líquido en los depósitos de aspiración del compresor.

Otros dispositivos de seguridad en las turbinas.

- a) Válvula de seguridad del condensador.
- b) Válvulas de seguridad de la línea de extracción.

BOP (Balance of Plant)

1. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA(PTA)
2. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE EQUIPOS (CCW)
3. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PRINCIPAL (MCW)
4. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE VERTIDOS (PTE)

1. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA(PTA)

Las centrales térmicas ya sean nucleares, ciclos combinados, convencionales de carbón, de fuel o de gas o termosolares requieren agua de gran pureza para la turbina de vapor, por lo que necesitan de plantas depuradoras para obtener agua desmineralizada adecuada para su consumo en la caldera y el ciclo agua-vapor. La obtención de agua desmineralizada, o agua *demin*, se realiza en dos pasos:

- 1) *Ablandamiento o desalación*. En esta fase se eliminan la mayor parte de las sales que contiene el agua. Si la fuente original de agua es un río o un caudal de agua dulce, el proceso se denomina ablandamiento, ya que eliminamos la dureza del agua. Si se trata de agua de mar, el proceso se denomina desalación.

2) *Afino*. En esta segunda fase hay que afinar la desmineralización, eliminando en gran medida las sales que pudieran contenerse en el agua ablandada o desalada, ya que como mucho se deben tener concentraciones de 10 ppm o menores si es posible.

Los procesos empleados para la depuración y adecuación del agua de alimentación a un agua apta para su uso son:

1. DESALACION

El proceso de ablandamiento es menos exigente que la desalación, ya que se usa agua dulce con muchas menos sales disueltas que el agua salada, por lo que nos centraremos en la desalación, ya que es igual que el ablandamiento pero en condiciones más duras al haber más concentración de elementos disueltos.

Aunque existen diversos criterios para clasificar los procesos de desalación, en general se puede hablar de procesos que requieren un cambio de fase y procesos que no lo requieren.

Entre los procesos que implican un cambio de fases están los siguientes:

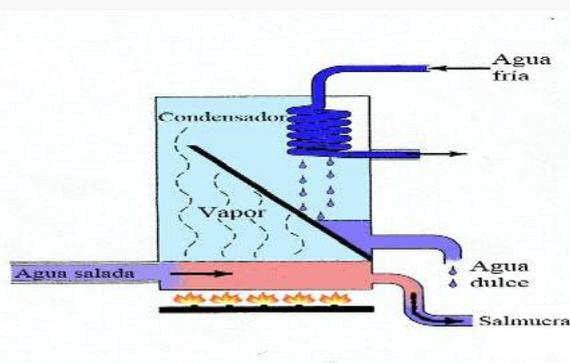
- Destilación en múltiple efecto.
- Flashing en múltiple efecto.
- Enfriamiento.

Los procesos que no implican un cambio de fases son:

- Ósmosis inversa.
- Electro diálisis.

El rendimiento de una instalación viene dado por el factor de rendimiento (FR), que mide la energía consumida por Kg. de agua producida. Evidentemente, un proceso será más eficiente cuanto mayor sea su factor de rendimiento.

1.1 LA DESALACIÓN POR DESTILACIÓN Y FLASHING EN MÚLTIPLE EFECTO.



Sistema de Refrigeración de Equipos (CCW)

En las centrales eléctricas, además de existir un sistema de refrigeración principal, existe un sistema de refrigeración secundario, normalmente cerrado, que sirve para refrigerar los diferentes equipos auxiliares de planta. Cada sistema puede poseer su propio sistema de refrigeración cerrado o puede existir uno común que refrigere a cada uno de los equipos por medio de intercambiadores de calor.

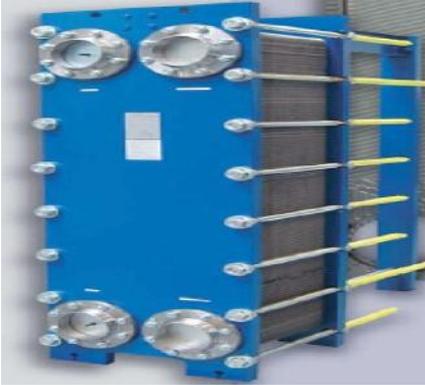


Figura 1. Intercambiador de placas.

Normalmente estos circuitos se rellenan de agua desmineralizada. Los sistemas normalmente a refrigerar son:

- Sistema de aceite turbina de vapor.
- Generador de la turbina de vapor.
- Aceite y de los sellos bombas de alimentación de agua a caldera.
- Sistema de toma de muestras.
- Purgas de caldera.
- Bombas de vacío.
- Sellos de bombas del sistema de desaireación de LP.
- Módulo hidráulico.

Sistema de Refrigeración Principal o Main Cooling Water (MCW)

ÍNDICE:

1. REFRIGERACIÓN POR CIRCUITO SEMIABIERTO (TORRES DE REFRIGERACIÓN).
2. REFRIGERACIÓN CON AEROCONDENSADORES.

Las centrales termosolares necesitan ser refrigeradas. Una vez utilizado, el vapor se convierte en vapor "muerto", y debe transformarse de nuevo en agua líquida, para que pueda recibir otra vez la transferencia de calor de la caldera de recuperación. Las técnicas convencionales para esta evacuación son dos: circuito semi-abierto y aerocondensación.

1. REFRIGERACION POR CIRCUITO SEMIABIERTO (TORRES DE REFRIGERACION).

Cuando por razones de disponibilidad de agua, razones legislativas o medio-ambientales no se puede disponer de un cauce público del que extraer el agua fría y devolverla a mayor temperatura, se emplea un circuito semiabierto con torres de refrigeración. La principal ventaja es que el aporte de agua es mucho menor, y por tanto, el impacto medioambiental de las centrales con torre de refrigeración también lo es. El inconveniente es que el rendimiento de este tipo de centrales es también menor que en circuito abierto.

Se emplean principalmente dos tipos de torres de refrigeración:

1) *La torre de tiro inducido*, es la más usada en instalaciones de gran tamaño. El agua caliente procedente de la refrigeración se deja caer por el interior de la torre mediante un sistema de distribución de agua, que debe caer uniformemente sobre la torre. En la parte superior se sitúan unos grandes ventiladores que hacen que el aire circule a contracorriente del agua. El fenómeno de cesión de calor se debe a que al entrar en contacto el agua caliente con el aire, se forma una película de aire húmedo alrededor de cada gota. El agua que pasa al aire, y por tanto se evapora, extrae el calor necesario para la evaporación del propio líquido y produce por tanto un enfriamiento del mismo. Por lo parte superior sale el aire húmedo, visible si las condiciones ambientales dificultan la disolución de este vapor en el aire (frío intenso o humedad relativa alta). Este vapor visible se denomina penacho o pluma.

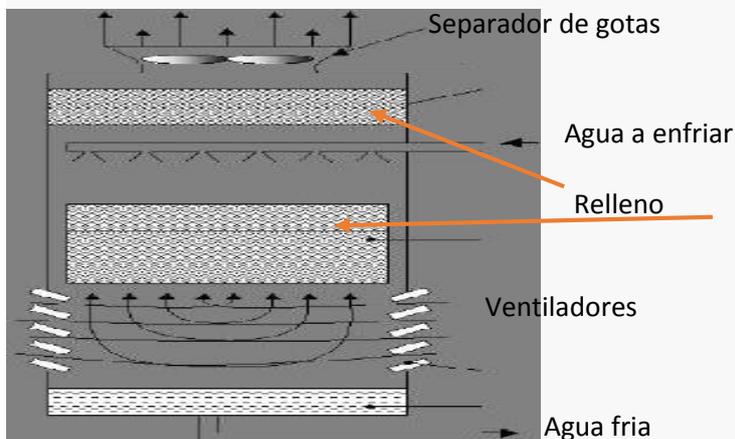


Figura 1. Torre de tiro inducido.

Una de las principales ventajas de este tipo de torre es que puede ser bastante baja, disminuyendo así la energía requerida para el bombeo de agua a las partes altas de la torre.

Los elementos que componen una torre de refrigeración son prácticamente los mismos para las de tipo forzado e inducido. Los más importantes son los siguientes:

a) Separador de gotas: El separador de gotas tiene la finalidad de detener las gotas de agua que arrastra la corriente de aire al salir de la torre. Este objetivo se consigue mediante un cambio brusco de la dirección (60° es la más efectiva) del aire al salir. Esta variación provoca que el agua arrastrada se deposite sobre la superficie del separador de gotas, cayendo posteriormente al relleno. La existencia del separador tiene las ventajas de reducción de pérdidas de agua, evita daños en el entorno de la torre, sobre todo si el agua de la torre es salada y limita la formación de neblinas.

b) Sistema de distribución de agua a enfriar: Este sistema de tuberías y conductores tiene la finalidad de repartir uniformemente el flujo de agua por encima del relleno. Existen dos métodos de reparto: por gravedad o por presión. En el primero el agua caliente cae sobre el relleno por su propio peso. Su funcionamiento consiste en llevar hasta una balsa colocada sobre el relleno el agua caliente y una vez allí se reparte por unos canales que dejan caer el agua por gravedad sobre unas piezas en forma de herradura que sirven de enlace entre los canales y el relleno. En el segundo, la tubería que contiene el agua con cierta presión, suministrada por las bombas de impulsión del circuito de refrigeración, se conduce por tuberías hasta unos aspersores, que rocían el relleno con pequeñas gotas.

c) Relleno: Tiene una vital importancia para el intercambio de calor, ya que debe proporcionar, una superficie de intercambio lo más grande posible entre el agua que cae y el aire que asciende y retardar el tiempo de caída del agua, asegurando una mayor duración del proceso de intercambio.

Las características que un relleno debe tener son:

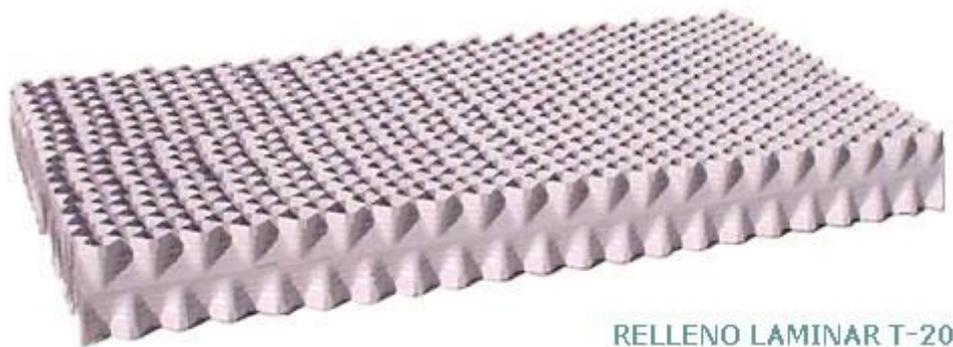
1. Se debe realizar con un material de bajo coste debido a la cantidad empleada, y debe ser de fácil colocación.
2. La superficie del mismo debe ser la mayor posible en relación con su volumen.
3. Su diseño debe permitir fácilmente el paso del aire entre él, de forma que ofrezca la menor resistencia y pérdida de carga. Así mismo debe distribuir uniformemente el aire y el agua.
4. Debe ser resistente al deterioro ambiental y químico, y fácil de limpiar.

Se utilizan dos tipos de relleno:

Relleno de película: Fabricado en material PVC



Relleno laminar:



d) Ventiladores: Son los encargados de crear el flujo de aire. El equipo completo se compone de motor, transmisión y aspas. Los motores de las torres de refrigeración deben estar convenientemente protegidos de la humedad, de la atmósfera contaminada por los aditivos del agua. e) Bombas de impulsión: Las bombas se utilizan para que el agua ya enfriada alcance presión suficiente como para llegar a los diferentes elementos a enfriar y posteriormente para subir el agua ya calentada a la parte superior de la torre, cerrando el circuito. El conjunto de bombas debe cumplir con los requerimientos de la instalación (caudal y altura manométrica).

f) Balsa: Situada en la parte inferior de la torre, es el depósito de agua fría de la torre.

g) Sistema de agua de aporte: La evaporación de agua en la torre provoca una disminución del volumen de agua en ésta. Por otro lado, la concentración de sales en el agua se controla con un régimen de purgas adecuado. La evaporación y las purgas hacen que sea necesario el aporte casi constante de agua.

2) *Las torres evaporativas de tiro forzado* están generalmente dotadas de un ventilador con su eje horizontal en el lado de la torre, el cual descarga aire hacia atrás. El flujo de aire es dirigido después hacia arriba por mamparas, haciéndolo pasar a través de la corriente descendente del agua, después de lo cual es descargado por la parte superior a través de un sistema que elimina el rocío. Ya que la totalidad de la superficie de la parte superior de la torre es usada para la descarga de aire, la velocidad del aire de salida es más baja que las velocidades de descarga de la torres de tiro inducido. Los elementos que componen estas torres son prácticamente los mismos que los que componen las torres de tiro inducido. En las torres de tiro inducido natural, el aire se mueve por el efecto chimenea. No se consume ningún tipo de energía para efectuar el movimiento de este aire. Son particularmente seguras en su funcionamiento y generalmente se emplean para el enfriamiento de grandes caudales de agua. Ocupan un volumen mayor a igualdad de capacidad de enfriamiento que las torres de tiro inducido o forzado.



Figura 2. Torres tiro forzado.

2. REFRIGERACION CON AEROCONDENSADORES.

De los dos sistemas de refrigeración, el que emplea aerocondensadores es el menos agresivo con el medio ambiente, pero el que tiene un coste más elevado y el que provoca en la planta una mayor disminución del rendimiento. Su funcionamiento se basa en el intercambio de calor entre el aire atmosférico y el vapor muerto procedente de la salida de la turbina. Es muy parecido al sistema que emplea el radiador del automóvil. El vapor se hace pasar a través de unos haces tubulares que aumentan la superficie de contacto del vapor. Éste se enfría en contacto con el metal del aerocondensador, que a su vez es enfriado por la poderosa corriente de aire que provocan unos gigantescos ventiladores, colocados generalmente en el plano horizontal. Los haces tubulares tienen forma de tejado de casa, y en el interior de ese tejado están colocados los ventiladores. La pérdida de rendimiento de la planta es consecuencia de la disminución del salto térmico en la turbina de vapor, al estar el foco frío de la turbina (es decir, la salida) a un nivel mayor. La pérdida puede cuantificarse, como ya hemos dicho, en unos 10 MW para una planta de 400 MW, sobre la potencia que alcanzaría una central igual refrigerada en circuito abierto.

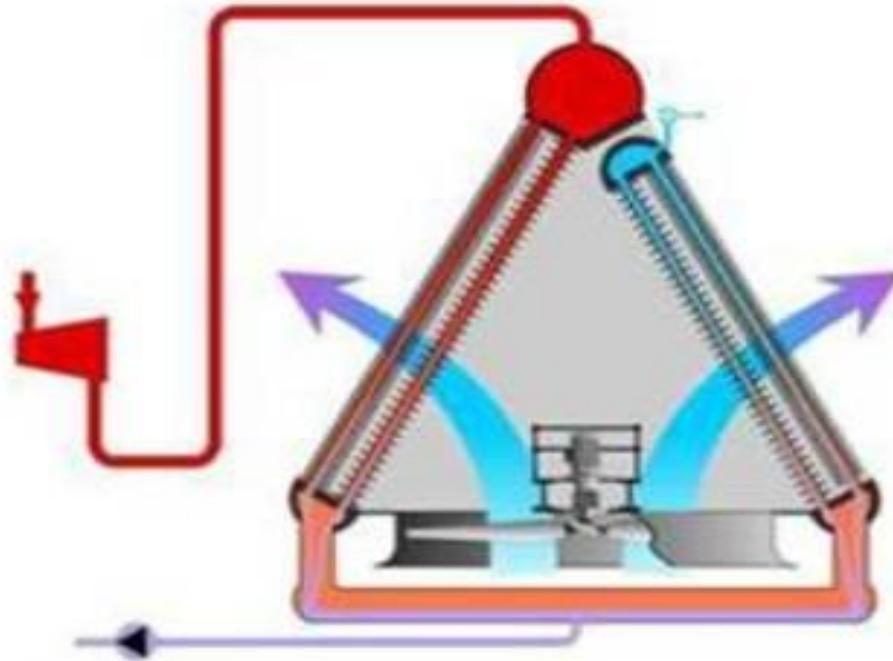


Figura 3. Esquema de funcionamiento de un aerogenerador.

Sistema de Tratamiento de Vertidos (PTE)

ÍNDICE:

1. VERTIDOS.

2. CONTROL DE VERTIDOS.

1. VERTIDOS.

Los efluentes líquidos de una central termosolar provienen del circuito de refrigeración y de los distintos procesos que se llevan a cabo.

En cuanto al agua de refrigeración sus características dependen del sistema de refrigeración (circuito abierto o circuito cerrado, con torre de refrigeración) y del origen del agua que se utilice, del mar o dulce.

Las aguas de proceso tienen diversos orígenes: efluentes de purga de caldera, aguas que pueden haber estado en contacto con aceites o combustibles, efluentes de la planta de producción de agua desmineralizada y aguas sanitarias. Normalmente cada uno de estos efluentes es depurado por separado, y una vez que tiene la calidad necesaria, es conducido a una balsa común, en la que se analiza el vertido de aguas de proceso en su conjunto para comprobar que no se supera ninguno de los parámetros establecidos en las diversas normativas de aplicación.

Las aguas de lluvia que se recogen en la superficie ocupada por la central se vierten sin ningún tipo de tratamiento. Únicamente es necesario asegurar que esas aguas no entran en contacto con ningún contaminante (productos químicos, aceites, etc.), y que las conducciones de recogida de aguas pluviales no son utilizadas en ningún caso para el vertido de otros líquidos.

Por último, hay algunas aguas que no son vertidas a los cauces públicos, y que deben ser retiradas por gestores autorizados para su tratamiento como son las aguas de limpieza de la torre de refrigeración, aguas de limpieza de caldera, y en general, cualquier agua que pueda contener contaminantes que no

puedan depurarse de forma oportuna. Es conveniente recordar que está absolutamente prohibido alcanzar los límites de concentración de un contaminante por dilución.

1.1 AGUAS DE REFRIGERACIÓN

La mayor parte de las centrales se refrigeran con agua, aunque algunas lo hacen directamente con aire atmosférico utilizando aerocondensadores, que condensan el vapor de escape de la turbina mediante intercambio de calor con el aire atmosférico.

En el resto de las centrales, es el agua el fluido que se utiliza para evacuar el calor no aprovechable para la producción de energía. Esta agua puede tener dos orígenes: el mar o los ríos.

Sea un río o el mar el proveedor del agua de refrigeración, aún existen dos posibilidades, con impactos ambientales diferentes: circuito abierto o circuito cerrado.

1) *Ciclo abierto*: el agua se toma del mar o del río, se impulsa hacia el condensador, produciéndose el intercambio de calor. Así, el vapor se condensa, y el agua de refrigeración registra un incremento térmico de entre tres y ocho grados. Realizada su función, el agua se devuelve al mar. El aspecto medioambiental más significativo de esa agua que se devuelve es el incremento de temperatura. Esto distorsiona el ecosistema existente en el punto de vertido, aunque de una forma muy puntual. El caudal de agua de refrigeración en circuito abierto suele ser importante.

Otro aspecto medioambiental a considerar es la cloración. El agua que se devuelve al mar o al cauce del río no es exactamente igual que el agua que se tomó pues es necesario añadirle un biocida que impida la proliferación de algas o cualquier otro organismo en tuberías o haces tubulares del condensador. El biocida más utilizado, por su economía, es la lejía, en cantidades que oscilan entre 0.2-1 ppm.

2) *Circuito cerrado de refrigeración*: Si la principal característica del agua del circuito abierto era el aumento de la temperatura, en el caso de circuito cerrado ese aspecto medioambiental es casi insignificante, pues en general se devuelve agua a una temperatura similar a la del medio del que se toma. **El aspecto medioambiental más importante es el aumento de la concentración de sales**, provocado sencillamente porque el agua que se evapora en la torre en agua pura, quedando cualquier sustancia en el agua que queda en la balsa, y por tanto, aumenta su concentración.

Únicamente hay que constar que por normativa son necesarias unas limpiezas periódicas de la torre para evitar la proliferación de la bacteria denominada legionella, causante de enfermedades respiratorias que pueden incluso provocar la muerte. Las limpiezas de la torre, que se realizan incrementando la concentración del biocida, lejía, han de hacerse respetando los límites de vertido de esa sustancia al medio receptor del efluente.

Otros productos químicos que se añaden al agua de refrigeración en circuito cerrado son los llamados anti-incrustantes y los antioxidantes, que tratan de proteger la instalación de depósitos que pudieran obstruir conductos y tratan de evitar la oxidación de metales. Las fichas de seguridad de estos productos indican su composición y como pueden afectar al medioambiente, aunque en general suele tratarse de productos poco agresivos. Su función, además, se ve afectada por el pH del agua de refrigeración, por lo que habitualmente es necesario modificarlo, normalmente disminuyéndolo con la adición de ácido sulfúrico. El control del pH del agua del vertido de purga de torre se hace también necesario, para asegurar que no se va a afectar el medio receptor.

1.2 AGUAS DE PROCESO

Después del agua de refrigeración, las aguas de purgas de calderas suponen el segundo caudal efluente por cantidad. La necesidad de purgar las calderas proviene del aumento de concentración de sales en la fase líquida. Estas sales pueden ser arrastradas por el vapor y provocar diversos daños en la caldera, en el ciclo agua-vapor o en la turbina de vapor. Por ello, es necesario realizar purgas continuas y discontinuas en calderines y en diversos puntos de la instalación, para mantener controlada la concentración de sales.

El agua que se adiciona a la caldera es un agua desmineralizada, de extraordinaria pureza, *pero a la que se añaden una serie de sustancias para controlar el pH y el contenido en oxígeno disuelto en la fase líquida. Para el control de pH se suele adicionar amoníaco y fosfatos*, que actúan como regulador en la fase vapor y en la fase líquida. Para el control del oxígeno disuelto se adiciona hidracina, aunque este producto se está sustituyendo por otros ante la sospecha de que es cancerígeno. Por tanto, el agua de purgas contendrá amoníaco, fosfatos e hidracina. El vertido incontrolado de hidracina provocaría una disminución del oxígeno disuelto en el medio receptor, que afectaría su ecosistema. Los fosfatos son un poderoso abono, que harían aumentar la flora en las orillas del cauce o fomentarían la proliferación de algas. El amoníaco es un biocida. Por ello, es necesario controlar la concentración final de cada una de estas sustancias para asegurar que cumplen los límites marcados por las diferentes normativas.

En menor cantidad pero de cierta toxicidad es el agua que ha podido estar en contacto con aceites y combustibles. Esta agua ha de ser depurada previamente en depuradoras específicas que faciliten la separación entre las dos fases líquidas. En general, están basadas en la diferencia de densidad. El aceite que puedan contener ha de ser retirado de estas depuradoras por un gestor autorizado para su posterior tratamiento. Aguas que han podido estar en contacto con aceites son todas las aguas de vertidos ocasionales y accidentales que se recogen en las naves que alojan los trenes de potencia, en los talleres, y en general, en cualquier zona que tenga equipos que trabajen con aceite. Estas zonas deben estar dotadas de un sistema de drenajes que conduzca las aguas recogidas en cualquier derrame hacia las depuradoras que separarán agua y aceites.

Las aguas sanitarias procedentes de los edificios de oficinas o de cualquier otra zona dotada de servicios deben conducirse a una depuradora específica. Son pequeñas depuradoras, muy conocidas y estudiadas, que no ofrecen ninguna complicación si están correctamente operadas y mantenidas.

1.3 AGUAS DE LLUVIA

Para evitar que el agua procedente de la lluvia se acumule en lugares inadecuados es necesario, en cualquier instalación industrial, canalizar esta agua y verterla a un cauce público, que puede ser la red de alcantarillado de la zona, un cauce cercano, o bien verterse junto a las aguas de refrigeración o proceso.

Esta agua, si no están contaminadas por ningún tipo de sustancia con la que se hayan podido mezclarse, suelen verterse sin sufrir ningún proceso de depuración.

1.4 OTRAS AGUAS DE DIFERENTES PROCESOS OCASIONALES

En determinados procesos se generan otras aguas residuales que no son vertidas a cauces públicos, sino que son retiradas por un gestor autorizado de residuos en camiones cisterna.

Uno de estos procesos en el que es necesario el retirado del agua resultante es la limpieza de las diferentes balsas de la planta (balsa de torres, balsa de aguas de procesos, balsa de neutralización). Los residuos sólidos y el agua de la limpieza no pueden ser vertidos incontroladamente y deben ser retirados por un gestor autorizado.

Otro proceso que implica el vertido de gran cantidad de agua que no cumple las condiciones de vertido es el agua procedente de la limpieza de caldera. Ocasionalmente, después de una reparación, o tras un periodo de parada de planta en el que se ha hecho una conservación húmeda de la caldera, se genera una gran cantidad de agua que supera los límites de vertido en lo referente a amoníaco e hidracina. El amoníaco puede ser neutralizado y la hidracina puede ser reducida a nitrógeno y agua, pero las aguas procedentes de la conservación húmeda de caldera no pueden verterse directamente, y debe ser comprobada su composición antes de proceder al vertido.

2. CONTROL DE VERTIDOS.



Figura 2. Tubo emisario para la captación o vertido de agua de alimentación.

Podemos distinguir entre los controles que se realizan dentro de la planta, esto es, antes del vertido, y los controles que se realizan fuera de la planta, en el medio receptor.

Respecto a los vertidos de refrigeración antes del vertido se controla y se registra el caudal, el pH, la conductividad (como medida indirecta de la salinidad) y la concentración de cloro libre.

Respecto a los vertidos de proceso, hay que tener en cuenta la prohibición de alcanzar los límites de concentración impuestos a los distintos contaminantes por dilución. Como cada uno de los efluentes de proceso tiene características y composición diferentes, si todos ellos se conducen a una balsa común y se analiza el contenido de esta balsa, unos efluentes, realmente influentes en la balsa, estarían diluyendo a otros. Por ello, cada uno de los vertidos debe ser analizado, controlado y registrado por separado, con independencia de que se viertan a una balsa común o no.

El medio receptor, esto es, el mar o el río en el que se realice el vertido, debe ser controlado también periódicamente. Para ello, se analiza la influencia del vertido en varios puntos situados a cierta distancia del punto de salida, y se contrasta con un punto situado en una zona no influida por el vertido, aguas arriba en el caso de un río, o a varios kilómetros en el caso del mar. Además de la salinidad, temperatura, cloro y pH hay que controlar cómo se ve afectado el fondo del cauce y la flora y fauna de éste.

En cuanto a los vertidos de aguas pluviales, en general no tienen ningún tipo de control, al tratarse de aguas que no están afectadas por el proceso.

Sistemas Eléctricos

ÍNDICE:

1. GENERADOR O ALTERNADOR ELÉCTRICO.
2. SUBESTACIÓN DE INTEMPERIE Y BLINDADAS.
3. LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN.
4. SISTEMA DE RESPALDO.

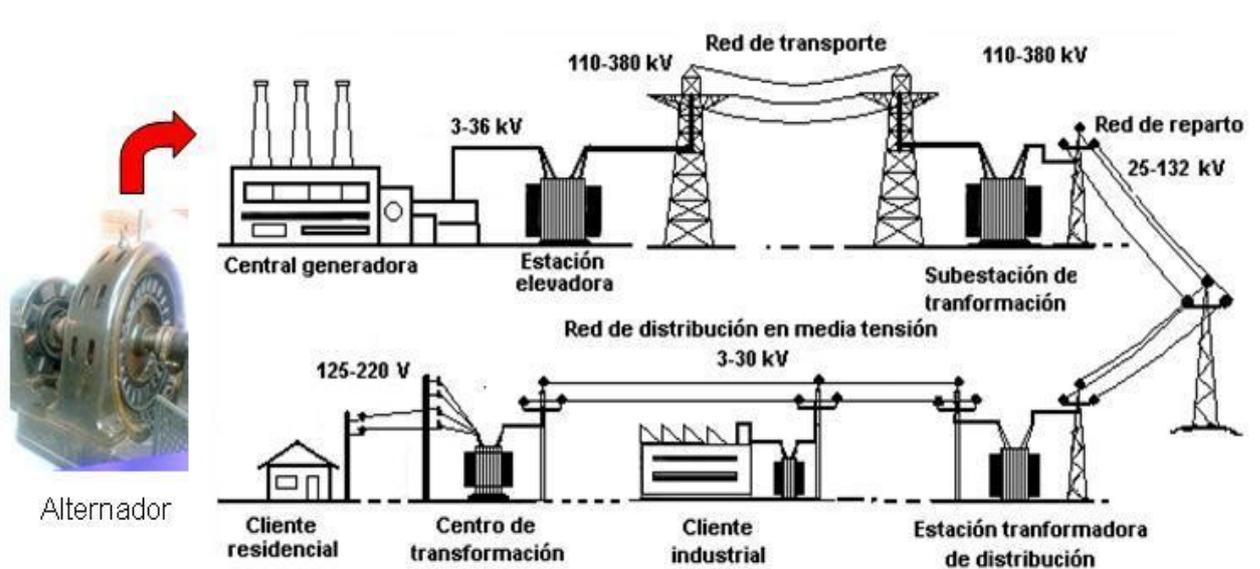


Figura 1. Esquema de producción y distribución de la energía eléctrica.

1. GENERADOR O ALTERNADOR ELECTRICICO.



Figura 2. Alternador trifásico.

Un generador eléctrico es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes. Los generadores eléctricos son máquinas destinadas a transformar la energía mecánica en eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura (denominada también estator). Si mecánicamente se produce un movimiento relativo entre los conductores y el campo, se generará una fuerza electromotriz (F.E.M.).

Para poder mover el generador se usa la energía generada en la combustión o la procedente de la captación solar, que a través de la turbina se convierte en un movimiento rotativo, el cual es transmitido por la turbina al generador a través del rotor.

El generador también puede ser usado en el arranque de la central como motor para mover la turbina y el compresor hasta que se alcance la velocidad necesaria para poder empezar a introducir combustible en la

cámara de combustión y que sea la turbina la que arrastre al generador y al compresor, empezando entonces nuestra central a producir energía eléctrica.

El generador suele ser trifásico, esto quiere decir que produce un conjunto de tres corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia y amplitud y por consiguiente, valor eficaz, que presentan diferencia de fase entre ellas de 120° , y están dadas en un orden determinado.

2. SUBESTACION DE INTEMPERIE Y BLINDADAS.



Figura 3. Subestación.

Una subestación eléctrica es usada para la transformación de la tensión de red o del generador a una tensión adecuada a las necesidades. En el caso de las centrales productoras lo se hace normalmente es elevar la tensión que está dando el generador hasta la tensión de la red de distribución a la que se este conectado, puede luego haber otras subestaciones encargadas de elevar a un más la tensión para las líneas de distribución de larga distancia o disminuirla para el consumo. Lo que se consigue al elevar las tensiones es disminuir la intensidad que circula por las líneas obteniendo con ello una de reducción de pérdidas y que la sección de los conductores sea menor con el consiguiente ahorro económico.

2.1 Subestación de intemperie.

Las subestaciones de intemperie son las encargadas de regular y gestionar el transporte de la energía eléctrica, su aislante es el aire o espacio que hay entre los elementos, para el control de la subestación se emplea la siguiente aparamenta:

- *Seccionadores*, se encargan de cortar las líneas cuando no circula corriente a través de ellas.
- *Interruptores*, encargados de cortar las líneas cuando circula corriente.
- *Transformadores de intensidad y tensión*, para realizar las medidas de los parámetros de funcionamiento de nuestra línea.
- *Descargadores*, son elementos encargados de enviar a tierra sobre tensiones provocadas o bien por la caída de un rayo o por una sobre tensión del generador.

2.2 Subestaciones Blindadas

La Subestación eléctrica blindada más usual es la GIS, Gas Insulated Switchgear. En ellas el fluido que trabaja como aislante es el gas SF₆, hexafluoruro de azufre. Éste gas es usado en la mayoría de interruptores de subestaciones eléctricas convencionales por sus adecuadas características para la eliminación del arco eléctrico.

En este tipo de instalaciones los interruptores, seccionadores, transformadores de medida y el embarrado que los conecta están encapsulados con el hexafluoruro de azufre. Toda esta instalación puede ir instalada dentro de naves o a la intemperie.

Son numerosos los países que en la actualidad están instalando éste tipo de subestación eléctrica, porque admite un alto grado de tensión de trabajo en un reducido espacio, tienen un mantenimiento muy reducido, y son muy aptas para lugares con ambientes pulvijenos, la desventaja es que el hexafluoruro de azufre es un gas con un gran poder de efecto invernadero, por lo que se debe tener mucho cuidado con sus escapes.

2.3 Transformador.



Figura 4. Transformador.

El transformador de tensión es el principal elemento de la subestación, es el encargado de convertir el valor de la tensión del generador en el valor de la tensión de la red donde volcamos la energía producida, por lo que es un punto crítico al ser por donde sale toda la energía eléctrica.



Figura 5. Interior de un transformador.

Los transformadores son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro silicio. Las bobinas o devanados se denominan primario y secundario según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente.

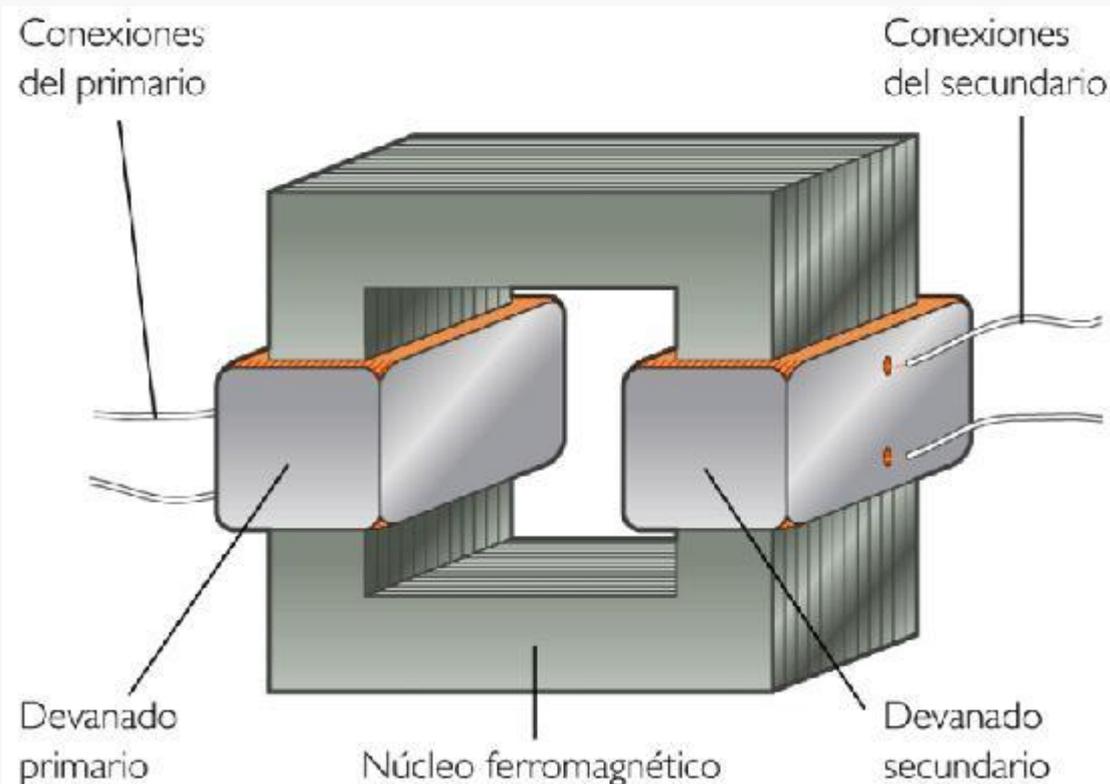


Figura 6. Esquema de un transformador.

Los transformadores suelen ir encapsulados y bañados en aceites minerales para su refrigeración y aislamiento, ya que suelen calentarse por las corrientes eléctricas que circulan a través de ellos. Se debe tener especial cuidado con los aumentos de temperatura, para no sobrepasar ciertos límites ya que se podrían provocar altas presiones dentro de la carcasa del transformador e incluso explosiones que

podrían acarrear serios problemas al estar el aceite implicado. Los grandes transformadores de las centrales tienen sus propios sistemas de refrigeración para evitar estos posibles problemas.

3. LINEAS DE DISTRIBUCION.

Para la distribución de la energía eléctrica se suelen usar dos tipos de líneas eléctricas, según se requiera por condiciones económicas, de seguridad o estéticas:

- Líneas Aéreas, son las típicas líneas en las que los cables van colgados de postes ya sean de madera o de metal, se suelen usar para reducir costes, ya que nos ahorramos el coste del aislante al ir los cables desnudos, siendo el aislante el propio aire que separa las fases, y los costes que supondría tener que hacer las canalizaciones en el suelo, otra ventaja es que es más fácil ver donde se ha roto la línea. Los problemas que pueden presentar son el peligro de choque contra ellas por parte de aeronaves y aves, por lo que estas líneas deben tener boyas para que se vean. Se suelen usar en las redes de distribución de larga distancia y en zonas no habitadas.



Figura 7. Línea Aérea.

- Líneas Enterradas, en este caso los cables están recubiertos por sus correspondientes aislantes, y van a través de canalizaciones que pueden ser tubos de plástico o metálicos, canales de cemento, zanjas excavadas en la tierra, colgados de paredes en túneles. Las desventajas son que se disipa peor el calor por lo que hay que utilizar secciones mayores de cable, puede ser difícil encontrar un avería, hay que hacer una obra civil mayor por lo que aumentan los costes y pueden ser seccionados al realizar obras con excavadoras sino se sabe bien su localización o no han sido marcados adecuadamente. Se suelen usar en zonas habitadas para evitar riesgos y por cuestiones estéticas.



Figura 8. Canalización enterrada.

3.1. Alta tensión.

Se considera alta tensión a todo aquel valor superior a los 1500 voltios en corriente alterna. La alta tensión se utiliza en las redes de transporte eléctrico a grandes distancias para reducir las pérdidas y la sección de los conductores, ya que al aumentar la tensión de nuestra red reducimos la intensidad para transportar la misma potencia.

3.2. Media tensión.

La media tensión es la que esta considera entre los 3 kV y los 40 kV, que suele ser el rango en el que produce el generador, en este rango de tensiones también suelen estar las redes de distribución a los núcleos urbanos e industrias.

3.3. Baja tensión.

La baja tensión es la utilizada para el consumo de los hogares y maquinaria pequeña, está comprendida entre los 220-400 V.

4. SISTEMAS DE RESPALDO.



Figura 9. Grupo electrógeno.

Los sistemas de respaldo son normalmente generadores diesel empleados en casos de averías o accidentes que dejen la instalación sin suministro de electricidad de la red, con ellos se consigue operar bajo mínimos, para poder operar o parar la instalación de forma segura, hasta que se subsane el problema. Se suelen usar generadores con motores diesel ya que tienen un tiempo de reacción muy corto y los hay en un amplio rango de potencias, para casos puntuales y consumos pequeños se pueden utilizar baterías ya que no tienen tiempo de espera entre que se corta la electricidad y entran las baterías, ya que con los generadores diesel hay un pequeño de tiempo de reacción hasta que entran funcionar.