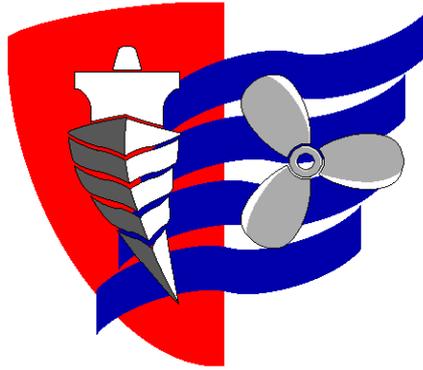


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**INSTALACIÓN DE UNA LÍNEA DE AGUA
CALIENTE PARA LA CALEFACCIÓN DE GAS
NATURAL EN LA ERM**

**Installing a hot pipe for natural gas heating in
regulating and metering station**

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARINA

Autor: Carlos Lombó Santiago
Director: Antonio Vega Omaña

Octubre - 2014

Agradecimientos:

Al profesor Antonio Vega Omaña por su orientación en la realización de este proyecto y su apoyo en todo momento, al Jefe de Energía de Solvay, Alberto Vallejo que me explicó pacientemente el funcionamiento de la Central de Cogeneración y me guió sobre la mejora propuesta en este trabajo y a mi madre, a la que le dedico este trabajo por su ayuda incondicional.

Índice

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
PROYECTO: INCORPORACIÓN DE UNA LÍNEA DE AGUA CALIENTE PARA LA CALEFACCIÓN DEL GN EN LA ERM.	1
METODOLOGÍA	2
CONSIDERACIONES RELATIVAS AL PROYECTO:	3
DESARROLLO	4
DESCRIPCION CENTRAL TERMOELECTRICA Y COGENERACION	4
PRESA Y PASA.....	5
RECEPCIÓN	5
TRATAMIENTO DE AGUAS.....	5
ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN	6
RED AUXILIAR DE CAPTACIÓN DE AGUA: POZOS	6
RÍO SAJA	7
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA	7
MAQUINAS ELÉCTRICAS	13
TRANSFORMADORES.....	13
CLASIFICACIÓN TRANSFORMADORES:	14
MOTORES.....	15
CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES:	15
GENERADORES.....	16
FRECUENCIA	16
POTENCIA REACTIVA	17
FUNCIONAMIENTO DE UN GENERADOR COMO MOTOR:	17

PROTECCIONES	18
APARAMENTA ELECTRICA.....	22
SECCIONADOR	22
DISYUNTOR O INTERRUPTOR.....	24
AUTOVALVULAS O PARARRAYOS.....	24
SUBESTACIONES	25
COMBUSTIBLES	26
POTENCIA CALORÍFICA O PODER CALORIFICO	27
GAS COMBUSTIBLE	28
COGENERACION	30
LOS CICLOS COMBINADOS GAS-VAPOR	30
TURBINA DE GAS	31
TURBINA DE VAPOR	32
CICLO COMBINADO GAS-VAPOR CON DOS NIVELES DE PRESION	35
PRODUCCIÓN	36
PRODUCCION ELECTRICA	36
PRODUCCION DE ENERGIA TERMICA	36
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA	38
DESCRIPCIÓN SUBESTACIÓN 220 KV / 12 KV	39
DESCRIPCION CABINAS DE 12 KV	40
ESQUEMA SUBESTACIÓN:	42
INSTALACIÓN PAQUETE TURBINA DE GAS.....	43
TURBINA DE GAS	43
COMPONENTES PRINCIPALES:	44
COMPRESOR DE AIRE:	44
TURBINA:	45

ALTERNADORES SINCRONOS	46
REDUCTORA	49
DESCRIPCION TURBINA DE GAS LM6000PC	50
TURBINA DE VAPOR	69
PARTES FUNDAMENTALES DE LA TURBINA DE VAPOR	71
REDUCTOR:	71
GENERADOR:	72
SISTEMA DE ADMISSION:.....	72
EL ROTOR.....	72
LA CARCASA.....	73
COJINETES DE APOYO, DE BANCADA O RADIALES	73
COJINETE DE EMPUJE O AXIAL	74
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	74
CALDERA (GV) – FOSTER WHEELER	78
MODOS DE OPERACIÓN.....	79
CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MODOS DE OPERACIÓN.....	80
DESCRIPCIÓN.....	83
FUNCIONAMIENTO.....	88
ESTACIÓN ERM	103
FILTRACIÓN:	105
CALENTADORES DE PUNTO DE ROCÍO:.....	105
EXPANSIÓN DEL GAS:	109
MEDIDA:.....	110
FILTRADO FINO:	110
CALENTAMIENTO:	110
CONCLUSIONES.....	112

PRESUPUESTO	114
ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO:	114
BIBLIOGRAFÍA:	115
ANEXO:.....	117

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Propuesta: incorporación de una línea de agua caliente para la calefacción del GN en la ERM.

Mi propuesta consiste en la incorporación de una línea que comunique el agua caliente procedente del desgasificador con los intercambiadores que se encuentran en la estación de regulación y medida encargado de calentar el gas natural, con la finalidad de reducir lo máximo posible el consumo de gas natural que se emplea en las calderas de la ERM para el calentamiento del gas que se destina a las turbinas de gas, empleando para ello el calor procedente del agua del tanque del desgasificador, que emplea vapor procedente de la caldera para calentarse, resultando este método de calefacción mucho más rentable que el empleo de gas.

La necesidad del calentamiento se debe a que el gas natural que llega a la ERM se encuentra a 60 bar, siendo la presión de trabajo en la central de 40 bar, haciendo necesaria su expansión en las válvulas de regulación, esta expansión produce el enfriamiento en aproximadamente de 0,5°C por cada bar de bajada en la presión.

Es necesario calentar el gas a la entrada por cuatro razones:

- Evitar congelación de las válvulas de reducción o de interrupción de seguridad.
- Evitar la condensación de hidrocarburos o agua, que pueden perjudicar la buena combustión del gas en los equipos o producir detonaciones en motores.

- Evitar condensaciones en el exterior de tuberías y equipos que producen corrosión de las partes metálicas.
- Ahorrar energía, mediante el uso de agua caliente excedente para calentamiento final del gas antes de su introducción en la turbina de gas.

METODOLOGÍA

El Estudio se realizara en La Central de Cogeneración de Sniace, en el Municipio de Torrelavega. El enfoque del Estudio tipo cualitativo ya que se estudiara el beneficio de la recuperación de energía en forma de calor y la consiguiente reducción en el consumo de gas, por la modificación de la instalación existente.

Como puede apreciarse en el plano nº1 tomamos el agua caliente del desgasificador y una vez empleado en los intercambiadores de la ERM lo devolvemos a la línea junto con el agua de aporte.

En el segundo plano nº2 se han representado los elementos que será necesario añadir para el funcionamiento de la instalación, se han empleado válvulas de solenoide para hacer el cambio entre la caldera ERM y el desgasificador con el fin de que pueda realizarse de forma automática el cambio entre ambas líneas cuando el tanque desgasificador alcance la temperatura adecuada, el caudal se regula mediante el uso de una válvula de regulación que se ajustará en

función de la temperatura del gas a la salida del intercambiador.

Consideraciones relativas al proyecto:

- Resulta necesario la conservación de una de las calderas de gas de la estación ERM para el momento del arranque, en estas condiciones la temperatura del desgasificador aún resulta insuficiente para el intercambiador.
- La tubería que comunica el desgasificador con los intercambiadores mide aproximadamente unos 50m y como la temperatura dada en el desgasificador es de 100°C y la necesaria en el intercambiador es de unos 80-90°C será necesario emplear tubería con recubrimiento calorifugado con el fin de perder la menor temperatura posible en el agua en el desplazamiento.
- Antes de introducir el agua caliente en el interior del intercambiador es conveniente hacer circular el agua en la tubería mientras que el desgasificador alcanza la temperatura necesaria, con esto evitamos coques térmicos que generarían dilataciones.
- La bomba de circulación del desgasificador está continuamente en funcionamiento.
- Se empleará una PT100 en la tubería de gas controlado la temperatura de este se encuentre sobre los 20°C tras el intercambiador, en función de la temperaturas del gas se procederá a la apertura o

cierre de las válvulas reguladoras que serán las encargadas de definir el caudal entrante en el intercambiador.

- Las válvulas deberán funcionar de modo automático y manual.
- El proceso de cambio entre el agua procedente de la ERM y del desgasificador seguirá los siguientes pasos:
 1. Parada del gas de la caldera ERM -Es importante mantener la circulación del agua en la caldera hasta que esta tenga una temperatura segura, esto se hace con el fin de evitar defectos a causa de un exceso de temperatura en las planchas.
 2. Apertura válvulas del desgasificador.
 3. Parar la bomba de la caldera de E.R.M.
 4. Cerrar las válvulas de la caldera.

DESARROLLO

DESCRIPCION CENTRAL TERMoeLECTRICA Y COGENERACION

Tanto la Central Térmica y Cogeneración están incluidas dentro de Sniace, S.A., a estas hay que añadir dentro de

este departamento la Presa y Pasa que se encarga de la recogida de agua para los distintos procesos productivos de Sniace, S.A.

PRESA Y PASA:

RECEPCIÓN

El agua procedente del río Saja es recogida en la presa de Sniace y conducida por gravedad, a través de una tubería, hasta la planta de tratamiento de aguas "PASA".



TRATAMIENTO DE AGUAS

En esta fase el agua es sometida a un proceso de clarificación, en el que mediante la adición de los reactivos (policloruro de aluminio y cloro), se consigue la formación

de flóculos, eliminándose la tierra vegetal, fangos y coloides en suspensión.

Posteriormente en los decantadores se separan los flóculos, pasando seguidamente a unos filtros de gravedad, donde se completa el tratamiento.

ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN

El agua tratada, se descarga tras atravesar el arenero y los canales de sedimentación, en unos depósitos denominados Filtros Waco, de donde se distribuye a las diferentes fábricas. La distribución se hace para algunas fábricas por gravedad (agua rodada) y para otras a presión por bombeo a través del “anillo de alta”.

El anillo de alta alimenta también a la Central Térmica; esta agua, tras atravesar el condensador y refrigerantes de la turbina, constituye el denominado “anillo de baja”, que distribuye el agua en baja presión a diferentes puntos de fábrica.

RED AUXILIAR DE CAPTACIÓN DE AGUA: POZOS

Con el fin de aprovechar al máximo la capacidad hidráulica de la cuenca y cubrir los defectos de abastecimiento de aguas en los periodos de estiaje, existen una serie de pozos situados sobre los diferentes acuíferos subterráneos existentes.

La elevación del agua es por medio de bombas centrífugas y con ella se puede abastecer, según los casos algunas dependencias de fábrica y en otros a Filtros Waco.

RÍO SAJA

Existe una presa sobre el río Saja en Puente San Miguel, donde se realiza la captación del agua. Dicha presa es propiedad de Sniace y tiene una anchura útil de 57,5 m.

El agua es desviada a través de un canal abierto, con las correspondientes rejillas metálicas de limpieza, hasta una canalización cerrada (tubería de cemento de 1,28 m de diámetro interior), que por gravedad la conduce hasta la estación de tratamiento "PASA".

El caudal de agua desviada de la presa, al canal de captación, se regula mediante una compuerta metálica motorizada. Esta compuerta se actúa bien con control local o bien con control remoto desde PASA. Esto permite que el operador de la estación de tratamiento de PASA, pueda regular en todo momento el caudal de agua necesario para la planta.

SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA

Los sistemas de tratamiento de agua tienen como objetivo suministrar agua de la calidad apropiada para su consumo en la caldera, el ciclo agua-vapor y rellenos de circuitos cerrados y aporte de torres de refrigeración. La obtención de agua desmineralizada, o agua demin, se realiza en varios pasos:

- Filtración.
- Descalcificación o ablandamiento: en esta fase se eliminan la mayor parte de las sales alcalinas, que dan dureza al agua, intercambiando iones Ca y Mg por Na.
- Desgasificación térmica.

- Desmineralización: en esta segunda fase se trata desmineralización propiamente dicha, eliminando en gran medida las sales que pudieran contenerse en el agua previamente ablandada.

FILTRACIÓN

Esta operación consiste en el paso del agua en sentido descendente atravesando un lecho de mayor o menor altura de arena o carbón.

Como se sabe, tratándose la filtración de una operación mecánica, es incapaz de eliminar los sólidos disueltos en el agua, captando las sustancias en suspensión.

El ciclo útil de filtrado queda agotado por la colmatación del lecho filtrante producido por la materia retenida. Por ello es necesario proceder cíclicamente al lavado y regeneración mecánica del propio lecho.

En los filtros de arena el lavado se realiza mediante un importante caudal de agua a contracorriente, caudal mayor incluso que el propio de servicio, esponjándose el lecho filtrante y agitándose la columna de arena hasta conseguir el desprendimiento y remoción de la materia retenida.

DESCALCIFICACIÓN O ABLANDAMIENTO POR INTERCAMBIO IÓNICO

La dureza del agua es debida a la presencia en solución de sales de calcio y de magnesio, y de ahí el nombre de descalcificación. Esta dureza del agua es el responsable

principal de las incrustaciones, puesto que los álcalis (Ca, Mg) son las sales más incrustantes.

El sistema de intercambio iónico, consiste en la propiedad que tienen las sustancias (resinas) químicamente formadas en general por un radical anicónico y un catión sódico (Na^+) de intercambiar el catión por los cationes Ca^{++} y Mg^{++} presentes en el agua.

La resina que constituye la carga del aparato descalcificador, se queda con el catión responsable de la dureza del agua y ésta sale del aparato desprovista de todos los cationes responsables de la dureza del agua tratada.

Debe apreciarse que no se ha producido una depuración del agua en el sentido de que el agua tratada tenga menos sales que a la entrada del sistema. La salinidad en equivalentes químicos es la misma, aunque al tratarse de sales sódicas en su totalidad, esta desprovista de capacidad incrustante.

Dado que el caudal entrante es continuo y la carga de resina de intercambio iónico es limitada, lógicamente llega un momento en que las resinas no cuentan con cationes Na^+ para intercambiar con los del agua entrante. En este momento se dice que la resina está agotada y debe interrumpirse el ciclo de servicio útil para proceder a la regeneración de la carga de resina. En este momento tiene lugar una operación de signo contrario en la que se emplea una solución de sal común (NaCl) que al paso a través del lecho de resina intercambia sus cationes con los de Ca^{++} y de Mg^{++} hasta dejar de nuevo en disposición de inicio del ciclo útil a la carga. Este proceso supone la interrupción del proceso.

Como solución a la parada temporal del sistema se dispone de dos columnas de descalcificación en paralelo y hacerlas trabajar alternativamente, llamado descalcificador duplex.

La fase de regeneración va precedida de un lavado a contracorriente del lecho y de un lavado lento al final de la regeneración seguido de un lavado rápido.

En la actualidad el funcionamiento de un descalcificador se realiza de forma totalmente automática.

DESGASIFICACIÓN TÉRMICA

Los gases disueltos en el agua de alimentación de calderas pueden producir efectos nocivos (corrosión) sobre las mismas e incluso sobre las instalaciones auxiliares y por ello deben ser eliminados del agua tanto como sea posible.

La desgasificación térmica es un proceso cuyo objetivo es la eliminación de los gases disueltos en el agua (fundamentalmente CO_2 , y O_2) y que utiliza como principio la conocida ley de Henry que indica que la concentración de equilibrio de un gas disuelto en un líquido es proporcional a la presión parcial de este gas en contacto con la superficie de este líquido.

El desgasificador térmico consiste en un aparato en forma de torre cilíndrica de eje vertical a la que accede el agua de aporte y el retorno de condensado por su parte superior. Por la parte inferior de la torre entra vapor procedente de la propia central y en su camino ascendente calienta el agua de alimentación entrante, condensándose parcialmente. La parte del vapor que no se condensa arrastra los

incondensables, saliendo un orificio en la parte superior de la torre desgasificadora.

La torre tiene por misión poner en contacto los flujos de agua y de vapor. Para ello rompe los chorros de agua que acceden a la misma, hasta convertirlo en pequeñas gotas, para favorecer el contacto íntimo entre el agua y el vapor. Esto se consigue con la disposición de bandejas perforadas, pulverizadores de agua o la mezcla de ambos sistemas.

Es corriente disponer en el tanque de alimentación propiamente dicho, que en este caso forma cuerpo con la torre desgasificadora, un sistema de vapor directo con objeto de calentar la masa de agua en poco tiempo cuando, después de una parada, interesa ponerla a régimen el sistema en pocos minutos.

Es evidente que, atendiendo a la ley de Henry interesa que la temperatura del agua de alimentación corresponda a la presión del vapor saturado reinante en el depósito. Por consiguiente el conjunto trabaja a presión superior a la atmosférica y en condiciones de saturación. Es normal operar a temperaturas del orden de unos 105 °C.

DESMINERALIZACIÓN CON RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

El agua producida en la etapa anterior no tiene en muchos casos las características necesarias para ser consumida en la caldera, ciclo agua-vapor y consumidores de vapor, ya que en general tiene una conductividad superior a las especificadas por los fabricantes de estos equipos.

La desmineralización con resinas de intercambio iónico obedece a un principio básico similar al de la descalcificación, explicada anteriormente. En este caso se trata de una instalación de mayor sofisticación, dado que se pretende no tan solo la eliminación de algún ion determinado, como en el caso de la descalcificación, sino la obtención de un agua libre de toda sal y por lo tanto libre de toda la carga de cationes y de aniones.

Deben establecerse como mínimo dos columnas de intercambio iónico que constituyen dos fases bien definidas: la primera, en la que intervendrán resinas de tipo catiónico y una segunda, constituida por resinas de tipo aniónico.

En la primera fase la resina captaría todos los cationes presentes (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^{+} ...) y los sustituiría por el catión H^{+} (carácter ácido).

El agua entrando a la segunda fase de resinas aniónicas contiene en lugar de sales verdaderos ácidos (tales como HCL , H_2SO_4) En esta segunda fase el intercambio tendría lugar del lado de los aniones sustituyendo los mismos por el ión OH^{-} .

Habrían desaparecido tanto los cationes originales como los aniones siendo sustituidos por los grupos H^{+} y OH^{-} que en definitiva quedarían en el agua como sustitutos de las sales entrantes aunque en este caso constituyendo la propia agua que podría considerarse como destilada en frío.

También en este caso llega un momento que las resinas quedan agotadas como en el caso de la simple descalcificación. Son necesarios agentes regenerantes aunque ahora deben ser:

- Un ácido (HCL o H₂SO₄) como proveedor de H⁺
- Una base (NaOH) como proveedora de OH⁻.

Normalmente las plantas de tratamiento de agua están equipadas con los sistemas necesarios que permiten la regeneración automática de las resinas agotadas.

El parámetro que mide la calidad del agua producida en la planta de tratamiento es la conductividad, medida habitualmente en microsiemens por cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

El agua desmineralizada suele almacenarse en un depósito pulmón, desde donde se bombea hacia el punto del ciclo agua-vapor en el que se adiciona al circuito (tanque de agua de alimentación). Antes de ingresar en él se añadirán ciertos productos químicos, para ajustar el pH y el contenido en oxígeno disuelto fundamentalmente.

En plantas de caudal constante sería conveniente emplear plantas de osmosis inversa, sin embargo este tipo de plantas están dimensionadas para un flujo constante y determinado por ésta razón no pueden emplearse en la fábrica de Sniace en la que el flujo es muy variable.

MAQUINAS ELÉCTRICAS

TRANSFORMADORES

Un transformador es un aparato es un aparato cuya finalidad dentro de una instalación es cambiar el nivel de la tensión y/o de la intensidad.

CLASIFICACIÓN TRANSFORMADORES:

Transformadores de tensión:

Se utilizan para aplicaciones de protección y de medida, convirtiendo la tensión de la red a una tensión normalizada.

Transformadores de intensidad:

Se utilizan también en aplicaciones de protección y medida, para convertir la intensidad de la línea en una intensidad normalizada.

Transformadores de potencia:

Su misión es adecuar el nivel de tensión de la red al nivel de tensión que necesitan los centros de consumo. Mientras los transformadores de los tipos anteriores son de potencias reducidas, los de este tipo pueden alcanzar niveles de potencia muy elevados.

Las características fundamentales de un transformador:

Potencia aparente o S: Es la potencia aparente para la cual ha sido dimensionado. Junto con la tensión de utilización define por tanto la intensidad o carga que puede soportar.

Tensión primaria o U1: Tensión de servicio en el primario (normalmente el lado de más alta tensión).

Tensión secundaria o U2: Tensión de servicio en el secundario (normalmente el lado de más baja tensión).

Relación de transformación: Cociente $U1 / U2$

Hay que tener en cuenta que la potencia que un transformador recibe por uno de sus lados es la misma que transfiere al otro lado. Por tanto, como la potencia es proporcional al producto de la tensión por la intensidad, la

intensidad en el lado de alta tensión será siempre inferior a la del lado de baja tensión, y tanto menor como marque la relación de transformación.

MOTORES

Un motor es un aparato que transforma la energía de la red eléctrica en energía mecánica, haciendo girar un eje.

CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES:

Potencia mecánica (potencia activa), capaz de suministrar en el eje, normalmente dada en KW o CV.

Tensión de alimentación (V).

Factor de potencia, este valor, junto al de la potencia activa, define la potencia aparente del motor y por tanto la intensidad que consume.

Un motor siempre tiene un factor de potencia inferior a la unidad, y que generalmente oscila alrededor de 0.8. Cuanto mayor sea este valor mejor será el motor, pues dará su potencia con una menor intensidad.

Cuando un motor eléctrico sufre una avería de carácter interno (un principio de cortocircuito), uno de los primeros efectos es un aumento de la intensidad. También, la sobrecarga de un motor se refleja en el consumo de una intensidad excesiva. Por ello es importante controlar los amperímetros de un motor y tener una idea de cuál es el consumo normal.

En el momento del arranque un motor consume una intensidad cuyo valor oscila entre 4 y 8 veces el de la

intensidad nominal en carga. Este fenómeno es normal, pero puede quemar el motor si se producen múltiples arranques en un espacio de tiempo muy breve. Por otro lado, la duración del arranque no debe durar más allá de unos segundos. Lo contrario indica deficiencias en las condiciones de arranque (por ejemplo arranque en carga) o bien deterioro del motor.

GENERADORES

Un generador es una máquina que transforma energía mecánica en eléctrica. Por tanto la acción inversa a un motor.

Las características que definan a un generador son:

- **Tensión a la que genera la energía eléctrica.**
- **Frecuencia de la energía eléctrica generada.**
- **Factor de potencia.**
- **Potencia aparente.**

Frecuencia

La frecuencia de la energía eléctrica generada debe coincidir con la de la red a que se conecta el generador. Como la frecuencia depende de la velocidad de la máquina, es necesario que el generador gire a una velocidad determinada y fija. Esta velocidad es la velocidad de sincronismo.

Potencia reactiva

Un generador no puede trabajar con potencia reactiva nula. Para obtener un rendimiento óptimo es necesario que el factor de potencia de trabajo de la máquina (dado por la relación entre la potencia activa y reactiva) se aproxime al factor de potencia nominal. Debe evitarse que sea demasiado pequeño, pues por la máquina circularía una intensidad elevada sin aumentar la potencia activa, con lo cual aumentarían las pérdidas.

La potencia reactiva se regula con la excitación de la máquina. Esta regulación no tiene ningún efecto sobre la potencia activa, que solo depende de la máquina que arrastra al generador (por ejemplo: una turbina de vapor).

Es posible que, por algún defecto, un generador pase a trabajar con potencia reactiva negativa (capacitiva). Este funcionamiento es inestable y peligroso, por lo que debe ser corregido de inmediato. La protección contra el retorno de energía reactiva tiene por finalidad el evitarlo.

Funcionamiento de un generador como motor:

Puede ocurrir que la turbina de un generador se quede sin fuerza motriz mientras la máquina está acoplada a la red (por ejemplo: por cierre de la válvula de combustible). En estas circunstancias el generador pasa a absorber potencia de la red y a trabajar como motor, arrastrando a la turbina.

Este modo de funcionamiento es muy peligroso para la turbina, que puede calentarse inadmisiblemente o

embalarse. La protección contra el retorno de energía activa tiene por finalidad evitar este modo de trabajo.

PROTECCIONES

Los elementos de un circuito eléctrico deben ser protegidos contra los defectos que puedan aparecer. Un defecto de cualquier tipo degenera más o menos rápidamente en un cortocircuito entre fases o entre fase y tierra. Ello da lugar a la circulación de una corriente muy elevada que daña los aparatos de dos modos:

- 1.- Por esfuerzos térmicos, debido a la elevada cantidad de calor que es necesario disipar. Por ejemplo, fusión parcial de los contactos de un disyuntor.
- 2.- Por esfuerzos dinámicos, de atracción o repulsión entre las bobinas o fases al circular por ellas corrientes muy elevadas. Por ejemplo, distorsión de los bobinados de un transformador.

En este punto se explicaran brevemente las protecciones más comunes.

PROTECCIÓN CONTRA LAS SOBRECARGAS O PROTECCIÓN TERMICA

Esta protección persigue proteger a las máquinas contra la elevación excesiva de temperatura, que es la consecuencia más directa de una sobrecarga.

Como en general resulta difícil medir directamente la temperatura y además es necesario anticipar ese efecto

para poder evitarlo, utilizan relés que reproducen el comportamiento térmico de la máquina.

Estos relés toman en cuenta no sólo el estado actual de carga (intensidad) del aparato, sino también el calentamiento debido a la corriente de servicio o las sobrecargas previas.

PROTECCION DE SOBREINTENSIDAD

Protege a la máquina contra los esfuerzos dinámicos debidos a una intensidad de corriente muy alta.

Normalmente esta protección se realiza por medio de relés de tiempo inverso. En estos relés, los retardos en la desconexión, es inversamente proporcional a la magnitud de la intensidad.

Esta protección se diferencia de la anterior en dos puntos fundamentales:

- 1.- No tiene en cuenta la carga previa de la máquina, sólo el estado actual.
- 2.- El tiempo de desconexión es generalmente mucho más corto.

PROTECCIÓN DE SOBRETENSIÓN

Sigue el misma idea que la anterior, pero tomando en cuenta el valor de la tensión. El tiempo de desconexión suele ser inversamente proporcional a la sobretensión.

PROTECCIÓN DIFERENCIAL

Su misión es proteger los aparatos contra defectos internos. Para su funcionamiento emplea un relé que reacciona ante las intensidades secundarias de varios transformadores de intensidad, aislando el elemento si los valores de las intensidades indican un defecto interno.

PROTECCIÓN ANTE EL RETORNO DE POTENCIA

Solo se aplica en generadores.

En condiciones normales un generador utiliza la fuerza motriz suministrada por una turbina para producir energía eléctrica.

Puede ocurrir que la fuerza motriz disminuya (por ejemplo, por cierre de la válvula de entrada de vapor vivo en el caso de la turbina de vapor). Entonces la máquina seguiría girando a la velocidad de sincronismo absorbiendo potencia de la red y arrastrando a la turbina, es decir, actuando como un motor.

Este modo de funcionamiento es peligroso, ya que puede provocar un calentamiento inadmisibile de la turbina, además de otros efectos perniciosos.

Para evitar este peligro, un relé controla el sentido de la potencia eléctrica en el generador (producido o consumido), disparando generador y turbina si es necesario.

FALTAS A TIERRA

Existen dos formas principales de disponer una red eléctrica en cuanto a la tierra:

1.- Con el punto neutro aislado. No se fija la tensión de ninguna fase y no se conecta la red con tierra. En esta situación un defecto a tierra en algún punto no es motivo de falta, ya que se fija un punto de referencia para el sistema de tensiones e intensidades trifásico.

2.- Punto neutro puesto a tierra. Por el contrario en esta situación una segunda puesta a tierra supone, de hecho, un corto entre fases.

Por esta causa las puesta a tierra se vigila por medio de un relé que da la alarma cuando se produce la primera falta, de forma que puede eliminarse el defecto y la subsiguiente peligro de cortocircuito.

PROTECCION BUCHHOLZ

Se aplica en transformadores que se utilizan como aislante interno aceite o piraleno.

En estos aparatos cualquier defecto, por pequeño que sea, ocasiona la descomposición en mayor o menor grado del fluido aislante, dando lugar a la formación de gas.

Las burbujas de gas, en su camino hacia el punto más alto del transformador, atraviesan un dispositivo denominado relé Buchholz.

Este aparato consta de una cuba intercalada en el circuito de aceite de la máquina y uno o dos flotadores.

Los flotadores reaccionan ante la cantidad de burbujas cerrando unos contactos, que accionan una alarma o disparan el transformador.

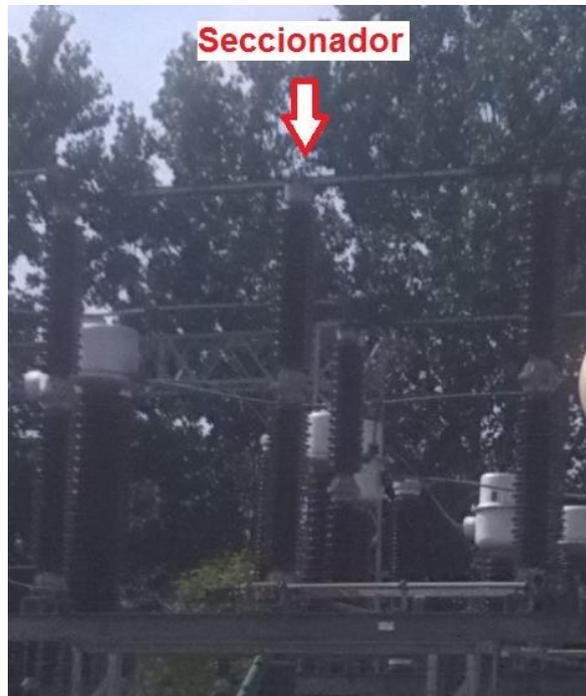
APARAMENTA ELECTRICA

En toda red eléctrica se utilizan una serie de aparatos que tienen como misión el corte del suministro en situaciones de servicio normal o al producirse una falta. En este punto se tratarán algunos de ellos:

SECCIONADOR

El seccionador tiene como misión interrumpir una línea cuando esta se encuentra en tensión pero sin carga, es decir, cuando no circula intensidad por ella. En general sirve como elemento de seguridad para interrumpir de forma visible el circuito antes de realizar trabajos de mantenimiento.

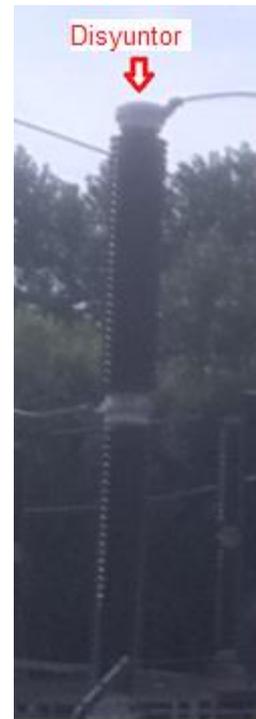
Cuando se abre o se cierra un circuito por el cual está circulando una corriente, durante un instante de tiempo circula a través del aire y entre los contactos una corriente eléctrica. Es decir, se produce un arco eléctrico. Este arco puede causar la fusión de los contactos, fuego, etc., por lo que debe ser extinguido de inmediato. Un seccionador no puede extinguir un arco eléctrico, por lo tanto nunca debe actuarse sobre un seccionador en carga. Antes de abrir o cerrar un seccionador hay que asegurarse de que por esa línea no circula ninguna intensidad.



DISYUNTOR o INTERRUPTOR

Un disyuntor permite abrir o cerrar un circuito a través del cual circula o va circular de inmediato una corriente eléctrica. Al contrario que el seccionador, tiene capacidad de extinción del arco eléctrico que se produce.

En caso de producirse un cortocircuito en una línea, circulará por ella una intensidad muy elevada. Para interrumpirla y limitar los desperfectos se emplean también disyuntores, con un poder adecuado a la intensidad que deben interrumpir. Por lo tanto, los disyuntores son elementos de maniobra y protección.



AUTOVALVULAS o PARARRAYOS

Una autoválvula es un dispositivo que permite descargar una sobretensión poniendo momentáneamente la línea a tierra, e interrumpiendo ese contacto tan pronto como desaparece la tensión excesiva en la línea.

Puede decirse que actúa como un interruptor entre la línea y tierra que se cierra cuando la tensión entre sus bornes supera un cierto valor (el de la tensión de



cebado) y se abre cuando desciende por debajo de otro valor.

Fundamentalmente este aparato protege contra fenómenos atmosféricos.

FUSIBLES

Un fusible es un elemento que, como indica su nombre, se funde cuando la intensidad que circula a través de él supera un determinado valor, se emplea para proteger aparatos eléctricos, interrumpiendo la alimentación antes que la sobre-intensidad pueda tener efectos perniciosos.

Hay dos tipos principales de fusibles: de distribución y para uso en motores. Se diferencian en la tolerancia que los segundos presentan ante corrientes muy intensas pero de breve duración, como las que se presentan en el momento del arranque de los motores. Los fusibles de distribución se utilizan en la protección de transformadores, que no presentan tales puntas.

SUBESTACIONES

Una red eléctrica está formada por:

- 1.- Líneas de distribución a través de las cuales se transporta la energía eléctrica.
- 2.- Transformadores de potencia que permiten acomodar la tensión a las necesidades de distribución y transporte.
- 3.- Aparatos de protección y corte (seccionadores, disyuntores, etc.).
- 4.- Consumidores (motores, alumbrado, etc.)



Para facilitar las maniobras y el control estos elementos se agrupan en sub-estaciones.

COMBUSTIBLES

Sustancias que en presencia de oxígeno y aportándole una cierta energía de activación, es capaz de arder. Los combustibles pueden clasificarse, según su naturaleza:

Combustibles sólidos: Carbón mineral (Antracita, carbón de coque, etc.), madera, plástico, textiles, etc.

Combustibles líquidos: Productos de destilación del petróleo (gasolina, gas-oil, fuel-oil, aceites, etc.), alcoholes, disolventes, etc.

Combustibles gaseosos: Gas natural, gas ciudad, metano, propano, butano, etileno, hidrógeno, etc.

En la planta de cogeneración el combustible empleado es el gas natural.

POTENCIA CALORÍFICA O PODER CALORIFICO

El poder calorífico es la cantidad de energía que un gramo de materia puede desprender mediante una reacción química.

En general el poder calorífico describe la energía liberada en una reacción química entre un combustible y el comburente. Éste suele ser el oxígeno del aire. Los combustibles son sustancias fósiles sean sólidos (carbón, madera, etc.), líquidos (petróleo y sus derivados) o gaseosos (gas natural, propano, butano).

Se suele hablar de dos tipos de poder calorífico: Superior e Inferior.

- Poder Calorífico Superior (PCS): es el calor desprendido por todos los componentes de una unidad de masa al reaccionar con el oxígeno.
- Poder Calorífico Inferior (PCI): es el PCS, al que se le resta el calor producido por alguno de los componentes y que no puede ser aprovechado en los sistemas normales; especialmente se refiere al calor latente de condensación del vapor de agua que se produce en la combustión y que, por las temperaturas normalmente utilizadas en calderas y motores, se expulsa en forma de vapor. Se exceptúa el caso de las calderas de condensación.

GAS COMBUSTIBLE

Este es el combustible empleado en la central de cogeneración.

Se denomina gas combustible cuando un gas es capaz de reaccionar con el oxígeno del aire de forma rápida y con desprendimiento de energía térmica (proceso de combustión).

El gran número de combustibles gaseosos de origen diversos y distintas características ha hecho que se clasifiquen en diferentes familias. La norma española UNE 60.002 clasifica los gases combustibles según un parámetro, llamado Índice de Wobbe, cociente entre el poder calorífico superior y la raíz cuadrada de la densidad relativa del gas.

-Primera familia: índice de Wobbe comprendido entre 6,628 y 11,029 kW/m³ (cn).

-Segunda familia: índice de Wobbe comprendido entre 11,256 y 16,105 kW/m³ (cn).

-Tercera familia: índice de Wobbe comprendido entre 21,512 y 25,663 kW/m³ (cn).

GASES NATURALES

Se denomina gas natural a una mezcla de gases, cuyos componentes principales son hidrocarburos gaseosos (en particular, el metano está en proporción superior al 70 %). El gas natural se encuentra en la naturaleza en las

llamadas “bolsas de gas”, bajo tierra, cubiertas por capas impermeables que impiden su salida hacia el exterior.

El gas natural se puede encontrar acompañado al crudo en pozos petrolíferos (gas natural asociado) o bien en yacimientos exclusivos de gas natural (gas natural no asociado).

No existe una teoría rigurosa sobre información, pero se puede asegurar que proviene de un proceso análogo al de la formación del petróleo.

Los otros componentes que acompañan al metano son hidrocarburos saturados (sin dobles o triples enlace carbono-carbono), como etano, propano, butano, pentano y pequeños proporciones de otros gases como anhídrido carbónico, nitrógeno y en algún caso ácido sulfhídrico, oxígeno e hidrógeno.

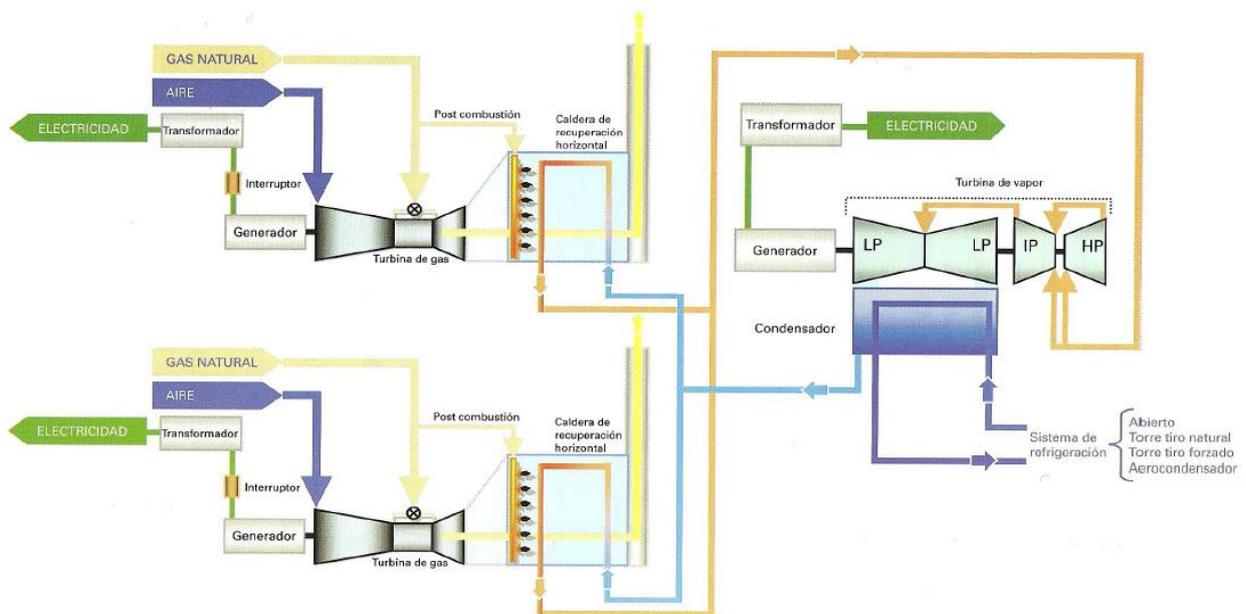
Descripción del gas natural de Sniace Cogeneración (valores aproximados):

METANO	89,561 %
ETANO	7,001 %
PROPANO	1,161 %
I-BUTANO	0,097 %
N-BUTANO	0,133 %
I-PENTANO	0,023 %
N-PENTANO	0.019 %
HEXANO	0.004 %
NITRÓGENO	0.972 %

CO ₂	1,028 %
PCS	11,726 kWh/m ³
PCI	10,571 kWh/m ³
Índice de Wobbe	14,909 kWh/m ³
Densidad relativa	0.6187*

Nota: la densidad relativa del aire es 1.

COGENERACION



LOS CICLOS COMBINADOS GAS-VAPOR

Puede definir un ciclo combinado como el acoplamiento de dos ciclos termodinámicos individuales, uno que opera a alta temperatura y otro con menores temperaturas de trabajo. El calor residual del proceso de generación de trabajo neto en el ciclo de alta temperatura se aprovecha en

su mayor parte en un intercambiador de calor para producir trabajo en un ciclo termodinámico de baja temperatura.

TURBINA DE GAS

La turbina de gas de una central de ciclo combinado gas-vapor es una turbina de gas de ciclo abierto y termodinámicamente es una aplicación del ciclo Brayton. La evolución que sigue el fluido se muestra en el diagrama T-S consta básicamente de las siguientes etapas:

- Una etapa de compresión, efectuada por una máquina térmica denominada compresor, lo más isotrópica posible.
- Una etapa de aportación de calor a presión constante.
- Una etapa de expansión, realizada en una máquina térmica denominada turbina, lo más isotrópica posible.
- Una etapa de cesión de calor a presión constante.

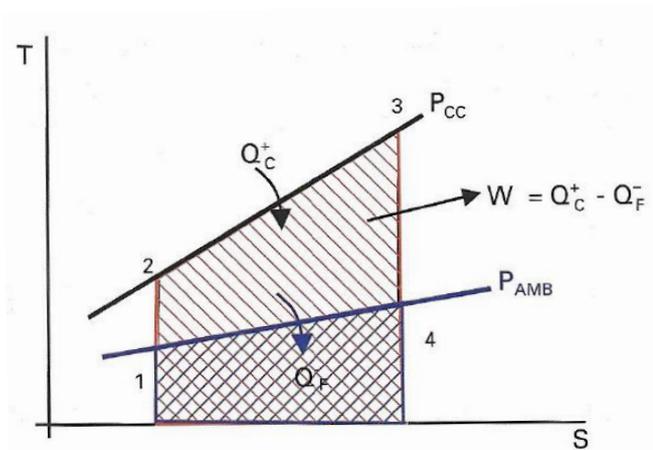
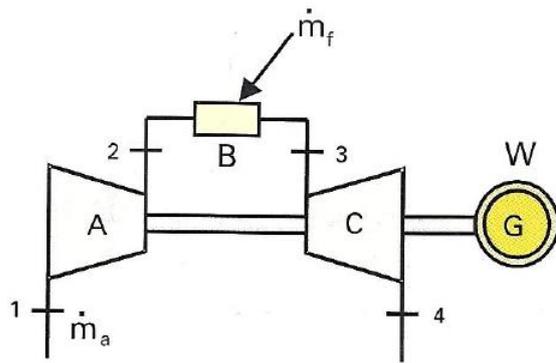


Diagrama T-S ideal del ciclo Brayton producido en una turbina de gas



LEYENDA

A Compresor

B Cámara de combustión

C Turbina

G Generador

Esquema Elementos turbina de gas

TURBINA DE VAPOR

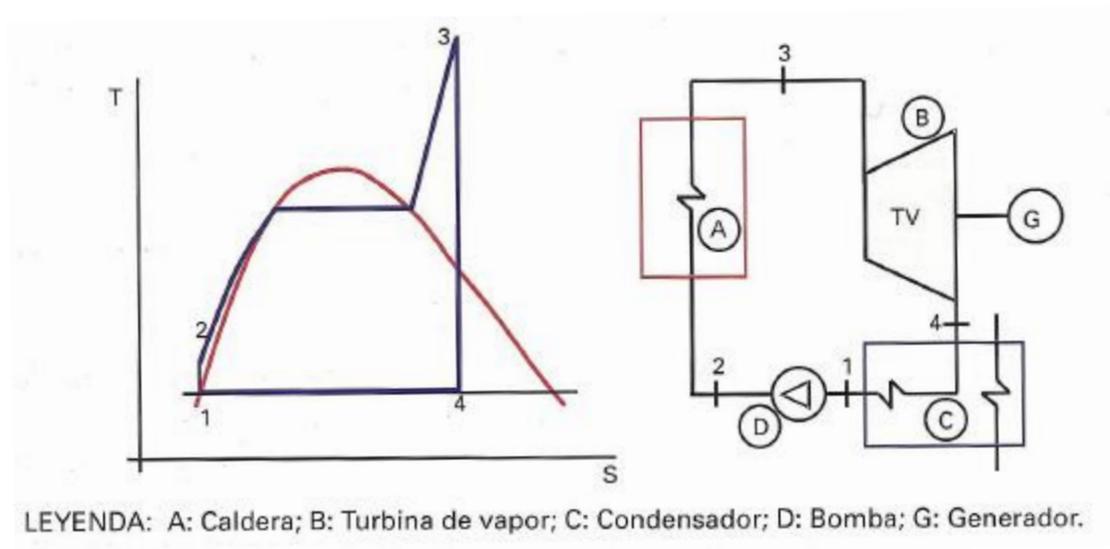
El ciclo de las turbinas de vapor corresponde al ciclo de Rankine y es la tecnológica del ciclo de Carnot para el caso de que el fluido motor un fluido condensable y durante su evolución se produzcan cambios de forma simplificada, y para el ciclo básico, la evolución del fluido sigue las siguientes etapas:

- Una etapa de expansión del fluido en fase vapor, realizada en una máquina térmica denominada turbina de vapor y lo más isoentrópica posible.
- A la salida de la turbina de vapor, una cesión de calor residual del vapor a presión constante en un dispositivo llamado condensador. En este dispositivo se realiza la condensación total del mismo y su paso a fase líquida.
- Varias etapas de elevación de la presión del fluido. El proceso se realiza con el fluido en fase líquida, con bombas y fuera de la zona de cambio de fase. Esta es una de las principales diferencias con el ciclo de Carnot ya que, en sentido estricto, para obtener la máxima eficiencia sería necesario realizar la

compresión de un fluido bifásico, con la dificultad tecnológica que ello conlleva.

- Una etapa de aportación de calor a presión constante. El fluido realiza una etapa de calentamiento previo en fase líquida, un proceso de cambio de fase y una elevación posterior de la temperatura del vapor en to que se denomina sobrecalentador (motivada por la necesidad de disminuir la humedad en el vapor en las últimas etapas de expansión de la turbina). Esto último constituye la segunda particularidad del ciclo de Rankine y otra diferencia fundamental con el ciclo de Carnot.

El fluido motor empleado suele ser agua desmineralizada, fundamentalmente por su facilidad de manejo, reposición y abundancia. La estructura básica de un ciclo agua-vapor en su versión más sencilla, así como la evolución del fluido en un diagrama T-S, se esquematiza en la siguiente figura.

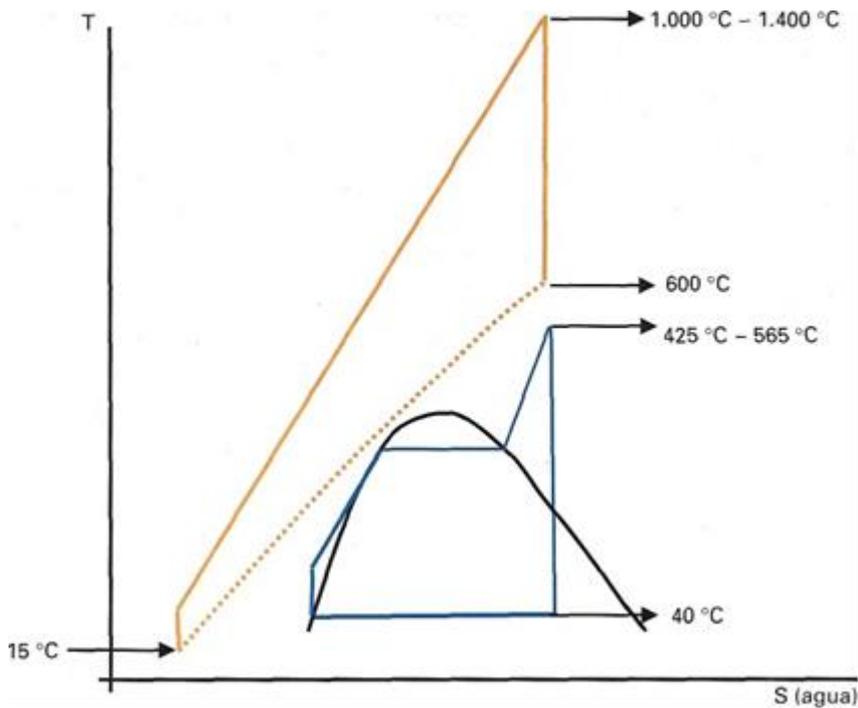


Representación en diagrama T-S del ciclo de las turbinas de vapor y de los equipos principales necesarios para su realización.

La unión termodinámica de estos ciclos conduce generalmente a la obtención de un rendimiento global superior a los rendimientos de los ciclos termodinámicos individuales que lo componen.

La justificación de los ciclos combinados reside en que, desde un punto de vista tecnológico, resulta difícil conseguir un único ciclo termodinámico que trabaje entre las temperaturas medias de los focos caliente y frío usuales. Es por ello que, como solución de compromiso, se acude al acoplamiento de dos ciclos: uno especializado en la producción de trabajo con alta eficiencia en rangos altos de temperaturas de trabajo (Brayton) y otro para temperaturas medias-bajas (Rankine). La eficiencia global del ciclo combinado gas-vapor vendría determinada por las eficiencias individuales de los ciclos Brayton y Rankine que lo componen, así como por la capacidad para realizar un adecuado trasvase del calor residual presente en el escape del ciclo Brayton al ciclo de Rankine por medio de la caldera de recuperación de calor.

En la figura se muestra una representación en diagrama T-S de los parámetros principales de los fluidos que evolucionan en los ciclos de Rankine y de Brayton.



Representación en un diagrama TS de la evolución de los fluidos empleados en los ciclos combinados gas-vapor, así como de valores orientativos de los puntos de trabajo fundamentales.

CICLO COMBINADO GAS-VAPOR CON DOS NIVELES DE PRESION

Con el fin de reducir las pérdidas por calor sensible y mejorar el rendimiento del ciclo termodinámico, es decir, reducir las pérdidas en acoplamiento de los ciclos Brayton y Rankine, se ha aumentado a dos los niveles de presión de vapor en la caldera.

Comparado con el ciclo combinado gas-vapor de un nivel de presión, las pérdidas en la chimenea se reducen del 10,7% al 7,15%, la energía en la turbina de vapor pasa del 20,79% al 21,3% aumentando la potencia 4,3 MW. Por el contrario, las pérdidas en el condensador se incrementan debido al mayor flujo de vapor 6 kg/s a condensar. Con este ciclo, el rendimiento bruto pasa a ser del 58,7%, en lugar del 58,1%

que se obtenía en ciclo combinado gas-vapor de un solo nivel de presión.

Otra ventaja de emplear dos niveles presión es que además del mismo caudal, presión y temperatura en el vapor de alta presión se obtiene un suplemento adicional de vapor a menor presión y temperatura. Ello se debe a que en el nivel de baja presión, por la menor presión y temperatura de saturación, se puede aprovechar de manera más eficiente el calor sensible de los gases de menor temperatura y, de este modo, incrementar el trabajo producido en la turbina de vapor.

PRODUCCIÓN

PRODUCCION ELECTRICA

La producción de electricidad esta generada por 2 turbo-alternadores idénticos constituidos por sendas turbinas de gas que accionan cada una un alternadores síncronos de 51.775 kVA con un factor de potencia de 0.8, una tensión de generación de 12 kV y una tensión de conexión de 220 kV.

La energía generada es consumida parcialmente en la planta de Cogeneración y en la fábrica de Sniace, S.A. y la excedentaria es vendida a la Red (Mercado Eléctrico).

PRODUCCION DE ENERGIA TERMICA

La producción de energía térmica se realiza mediante dos calderas de recuperación de los gases de combustión de las

turbinas de gas idénticas donde se da el intercambio de calor entre los gases de escape de las turbinas y el agua contenida en ellas y son de tipo acuotubular con postcombustión y que genera vapor a dos niveles de presión: a 63 bar y 445 °C, con una producción de 38.6 Tn/h, y a 6 bar y 195 °C, con una producción de 11.1 Tn/h. Y con postcombustión a 63 bar y 470 °C, con una producción de 48.4 Tn/h, y a 6 bar y 195 °C, con una producción de 9.7 Tn/h. Como se aprecia la finalidad de la postcombustión es la de aumentar la producción de vapor de alta reduciéndose un ligero descenso en la producción de vapor de baja presión.

La postcombustión es una combustión posterior a las turbinas y dentro de las calderas que produce un aumento de producción como se ha descrito. Esta combustión es posible a que en el proceso de combustión de las turbinas tiene un exceso de aire de un 15%.

El vapor generado a alta presión es suministrado a Sniace, S.A. para ser expansionado en una turbina de vapor que acciona un alternador síncrono de 27.500 kVA (22.000kW, factor de potencia 0.8, tensión de generación 12 kV).

El vapor generado a baja presión es suministrado asimismo a la Central Térmica para su empleo en procesos productivos de Sniace, S.A.

Tanto las turbina de gas como los quemadores de postcombustión de las calderas de recuperación utilizan como combustible gas natural que es suministrado a través de la correspondiente Estación de Regulación y Medida (E.R.M.) y por la empresa de distribución de gas ENAGAS.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA

Subestación de 220 kV / 12 Kv

- Dos Transformadores de potencia (ABB) triángulo / estrella de 220 kV/ 12kV de 50 MVA.
- Dos Transformadores de servicios auxiliares (OASA) triángulo / estrella de 12 kV / 400 V de 2 MVA.
- Reactancia limitadora.

Paquete de Turbinas de gas

- Dos Turbinas de Gas (General Electric LM6000PC) de 45 MW.
- Dos Alternadores H.M.I. de 51,7 MVA.
- Reductora TX80/20CV (Flender-Graffenstaden) de 51 MW.

Calderas

- Dos Calderas (Foster Wheeler) de recuperación de gases con dos calderines cada una (63 bar y 6 bar).
- Dos centralitas de postcombustión (Pillard).
- Tanque de Desgasificación.
- Tanque de purgas y tanque de purgas intermitentes.

Edificio E.R.M.

- Estación Reguladora Moduladora (E.R.M.) de gas a 43 bar (Tecnogas).
- Correctores de gas, telemedida y cromatógrafo
- Dos calderas de gas (Ferroli) de calentamiento de agua para calentar el gas de la E.R.M.

Dos compresores de aire con secador y pulmón a 10 bar y compresor diesel de emergencia.

Sistema contra-incendios

Bomba eléctrica y motor diesel.

Edificio Control

Sala de control, celdas 12 Kv, CCM de calderas y CCM de turbinas, autómatas y grupo de baterías.

Edificio almacén y vestuarios.

DESCRIPCIÓN SUBESTACIÓN 220 kV / 12 kV

Puesta a tierra llegada de Viesgo 89PT1L.

Interruptor de llegada de Viesgo 52L (220 kV) con sus dos seccionadores 89L1 y 89 L2.

Interruptor entrada al transformador TP1 con sus dos seccionadores 89 1TP1 y 89 2TP1.

Interruptor entrada al transformador TP2 (220 kV / 12 kV) 52TP2 con sus dos seccionadores 89 1TP2 Y 89 2TP2.

Dos transformadores (ABB) triángulo / estrella de 220 kV/ 12kV de 50 MVA TP1 Y TP2 que se unen en la zona de alta tensión a través de los 52TP1 y 52TP2.

Cada uno de los transformadores se puede poner a tierra a través del seccionador 89PTTP1 en el caso del transformador TP1 y del 89PTTP2 en el caso del transformador TP2.

De los dos transformadores sale la tensión a 12 kV hacia las cabinas de 12 kV dentro del Edificio de Control.

DESCRIPCION CABINAS DE 12 kV

Estas cabinas están situadas en la zona baja del edificio de control y son 9 cabinas.

Cabina nº1: Da alimentación al transformador 12 kV / 400 V de servicios auxiliares del grupo 12 (Turbina 12 Caldera 12) a través del interruptor 52SA2. Desde esta cabina se puede poner a tierra el transformador a través del seccionador 89TPSA2.

Cabina nº2: Interruptor 52B12 que está entre el transformador de alta tensión y cabinas de 12 kV. Además, se utilizara en caso de desacoplamiento de la Turbina 12 (TG12) y esta quede en modo Isla.

Cabina nº3: Interruptor 52G12 es el interruptor de acoplamiento a la red de la Turbina 12 (TG12), después de un arranque normal. Desde esta cabina se puede poner a tierra el alternador a través del seccionador 89PTG12.

Cabina nº4: Se encuentra el seccionador 89F2 para dar corriente a Fabrica (Sniace). Este seccionador normalmente se tendrá abierto, ya que alimentaremos la fábrica por el 89F1.

Cabina nº5: Se encuentra el interruptor 52F que da alimentación a Fábrica (Sniace) a través de la reactancia limitadora.

Cabina nº6: Se encuentra el seccionador 89F1 para dar corriente a Fabrica (Sniace). Este seccionador normalmente se tendrá cerrado, ya que alimentaremos a la Fábrica a través de este y por tanto, la Turbina 11 (TG11) estará acoplada con la Fábrica.

Cabina nº7: Interruptor 52G11 es el interruptor de acoplamiento a la red de la Turbina 11 (TG11), después de un arranque normal. Desde esta cabina se puede poner a tierra el alternador a través del seccionador 89PTG11.

Cabina nº8: Interruptor 52B11 que está entre el transformador de alta tensión y cabinas de 12 kV. Además, se utilizara en caso de desacoplamiento de la Turbina 11 (TG11) y esta quede en modo Isla.

Cabina nº9: Da alimentación al transformador 12 kV / 400 V de servicios auxiliares del grupo 11 (Turbina 11 Caldera 11) a través del interruptor 52SA1. Desde esta cabina se puede poner a tierra el transformador a través del seccionador 89TPSA1.

para que no interactúen problemas eléctricos entre ambos grupos.

INSTALACIÓN PAQUETE TURBINA DE GAS

Las turbinas de gas existentes en Sniace Cogeneración son del tipo Aero-derivadas, es decir, pertenecen al grupo de turbinas aeronáuticas que se han sido adaptadas para funcionar en tierra o en una situación no móvil.

En nuestro caso nuestras turbinas han sido fabricadas por General Electric y las denominan como LM6000PC, con número de serie 191-131 (antes 191-172) y 191-176 y procede del motor de aviación CF6-80C2 de General Electric.

Desde nuestro punto de vista tenemos dos paquetes o dos grupos de generación que está compuesto cada uno de lo siguiente:

- Turbina de gas LM6000PC
- Reductora GRAFFENSTAFEN
- Alternador BRUSH H.M.A.

TURBINA DE GAS

La turbina de gas, para el caso de un ciclo combinado gas-vapor, es un motor de combustión interna que transforma en energía mecánica la energía de combustión de un gas o de un líquido, y que sigue como ciclo termodinámico el ciclo Brayton.

En las turbinas de gas empleadas en los ciclos combinados, el aire se filtra, se comprime en el compresor y se introduce como comburente en la cámara de combustión. Así mismo, parte del aire comprimido se puede emplear para la refrigeración de las partes calientes la cámara de combustión y de las primeras etapas de la turbina de gas.

Los gases resultantes de la combustión ceden parte de su energía en las ruedas de la turbina transformando la energía asociada a la presión, temperatura y velocidad de la corriente de gases en energía mecánica en el eje.

La máxima temperatura admisible por los gases, tanto en la cámara de combustión como a la entrada de la primera rueda, está limitada por consideración de resistencia térmica y mecánica de los materiales empleados.

En el escape de la turbina los gases llevan una considerable energía (aproximadamente el 60% de la energía aportada en forma de combustible) que se recupera en su mayor parte en la caldera de recuperación de calor.

COMPONENTES PRINCIPALES:

COMPRESOR DE AIRE:

En él tiene lugar la combustión a presión, del gas combustible junto con el aire. Esta combustión a presión obliga a que el combustible sea introducido a un nivel de presión adecuada.

Debido a las altas temperaturas que pueden alcanzarse en la combustión y para no reducir demasiado la vida útil de

los elementos componentes de la cámara, se trabaja con un exceso de aire alto, utilizando del 300 al 400% del aire teórico necesario, con lo que se consigue por un lado reducir la temperatura de llama y por otro refrigerar las partes más calientes de la cámara. Parte del aire que procede del compresor, se dirige directamente hacia las paredes de la cámara de combustión para mantener su temperatura en valores convenientemente bajos.

Otra parte se hace circular por el interior de los alabes de la turbina, saliendo por orificios en los bordes que crean una película sobre la superficie de los alabes.

TURBINA:

En la turbina es donde tiene lugar la conversión de la energía contenida en los gases de combustión, en forma de presión y temperatura elevada (entalpía), a potencia mecánica (en forma de rotación de un eje). Como se ha indicado antes, una parte importante de esta potencia es absorbida directamente por el compresor.

Los gases, que entran a la turbina a una temperatura de 1.000-1.300 °C y una presión de 10 a 30 bares, salen a unos 440 °C y a una presión ligeramente superior a la atmosférica. Las altas temperaturas presentes en la turbina, sobre todo en las primeras etapas, hace necesario un recubrimiento cerámico especial en cada uno de los alabes y la corriente de aire comprimido proveniente del compresor.

Otra parte del aire del compresor, se envía a la primera rueda de álabes de turbina, donde se introduce por el

interior y sale por orificios en los bordes formando una película sobre la superficie de los álabes.

POTENCIA	50041 KW
RELACIÓN CALOR- POTENCIA	8961 KJ/KWH LHV
Nº DE EJES	2
RELACIÓN DE PRESIONES	31.0
REVOLUCIONES EJE	3627 RPM
FLUJO DE SALIDA	135 KG/S
TEMPERATURA DE SALIDA	438 °C

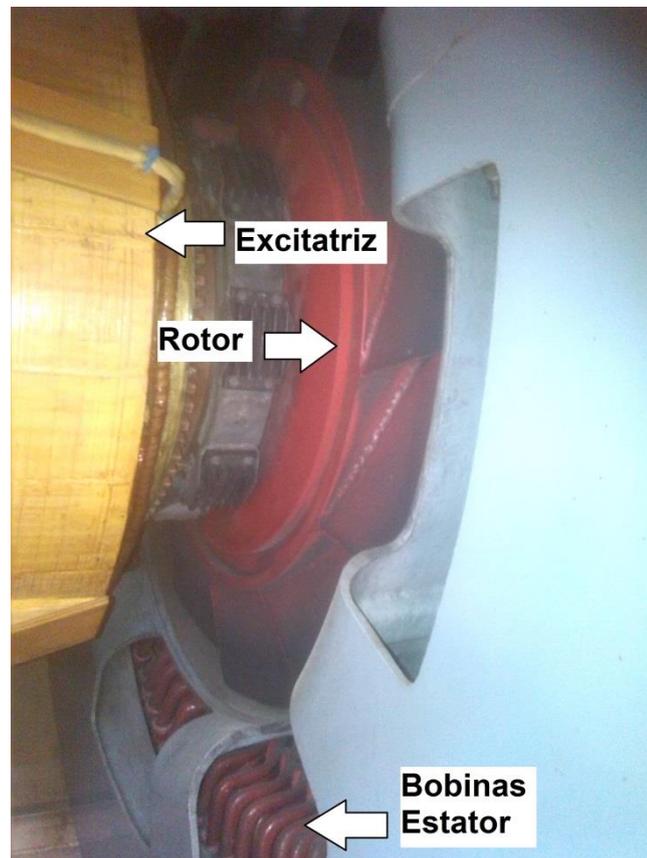
ALTERNADORES SINCRONOS

La característica fundamental de este tipo de alternador es la velocidad, denominada velocidad de sincronismo, es constante e igual a la frecuencia de la red eléctrica.

Estos alternadores constan de un devanado inductor y un devanado inducido, independientes. El sistema inductor (el que crea el campo magnético) va en el rotor, o parte móvil, y el inducido (donde se genera realmente la energía eléctrica) en el estator o parte fija. Otra característica de esta máquina es que el sistema inductor se alimenta con corriente continua proporcionada a través de los rectificadores estáticos, pudiendo regularse en estos la intensidad y tensión del campo inductor.

La máquina más utilizada en generación eléctrica es la maquina trifásica, que agrupa tres bobinas en el inducido en ángulos de 120° . Se producirán así tres ondas de tensión, una en cada bobina, obteniéndose así la llamada onda trifásica.

En cuanto a velocidades de giro, estas dependen del número de polos en el inductor y de la frecuencia de la corriente de generación. En nuestro caso la frecuencia de generación debe ser de 50Hz por lo que el alternador síncrono consta de 4 polos trabajando a una velocidad de 1500 rpm.



ESPECIFICACIONES ALTERNADOR

TIPO	DG215ZL-04
POTENCIA	51.775 KVA
FACTOR APARENTE	0.8
POTENCIA ACTIVA	41420 KW
TENSION NOMINAL	11750 V
INTENSIDAD NOMINAL DE CORRIENTE	2544 A
FRECUENCIA	50 HZ
VELOCIDAD	1500 RPM

EXCITADOR

TIPO	DGBP 60/20
POTENCIA	95.4 KW
TENSION	100 V DC
INTENSIDAD DE CORRIENTE	952 A DC
VELOCIDAD	1500 RPM
FRECUENCIA	150 HZ
TENSION DE EXCITACIÓN	87 V
INTESIDAD DE LA CORRIENTE DE EXCITACIÓN	7.25 A

REDUCTORA

El reductor es un elemento mecánico que adapta las velocidades de giro de la turbina de gas con la del alternador. Consiste en dos engranajes de diferentes tamaños, sumergidos parcialmente en aceite lubricante. De la carcasa principal, que contiene los dos engranajes y el aceite lubricante, salen dos ejes: uno que se une con el alternador y otro que lo une con la maquina térmica. La unión a estos elementos se realiza mediante acoplamientos elásticos, que tratan de compensar pequeñas desalineaciones y amortiguan la transmisión de las vibraciones que se producen en alguna de las máquinas hacia las otras.

ESPECIFICACIONES CAJA DE ENGRANAJES

Potencia normal del engraje	51000 kw
Velocidad de carga máxima	3615 rpm
Velocidad de potencia normal	1500 rpm
Relación de engrajes	2.41

Características de construcción

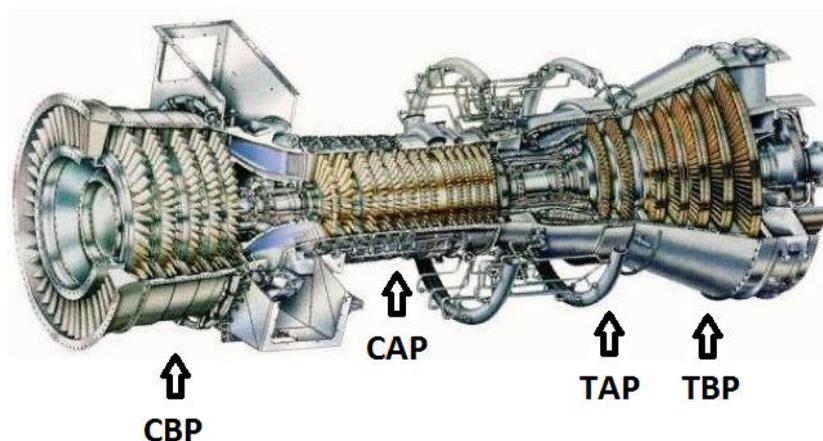
Distancia ejes centrales	830 mm
Peso total	21000 kg

Lubricación

Designación de aceite lubricante	46 iso vg
Presión de entrada	1.75 bar
Temp. entrada de aceite normal	55 °c
Temp. entrada de aceite máx	65 °c
Flujo	585 l/mm
Calorías a evacuar	386550 kcal/h

DESCRIPCION TURBINA DE GAS LM6000PC

La Turbina de Gas LM6000PC es una máquina con dos ejes concéntricos:



El eje de baja presión que lo denominaremos como eje de potencia o de baja velocidad, ya que este eje está conectado a la reductora que arrastra al alternador y que comprende de:

- 1.- Compresor de Baja Presión (LPC o CBP) con 5 etapas.
- 2.- Turbina de Baja Presión (LPT o TBP) con 5 etapas.



El eje de alta presión que lo denominaremos como eje generador de gases o de alta velocidad, ya que este eje por sí solo no hace nada más que acondicionar los gases para que posteriormente en la turbina de baja presión mueva el eje de baja y a su vez el alternador y que comprende de:

- 1.- Compresor de Alta Presión (HPC o CAP) que tiene 14 etapas.



2.- Turbina de Alta Presión (HPT o TAP) que tiene 2 etapas.



CIRCUITO DE GASES

El circuito de gases de una turbina en la turbina de gas de ejes concéntricos consta de los siguientes pasos:

- 1- El aire entra en el compresor de baja presión (el que mueve el alternador), en función del exceso de aire que haya entrado se abre una válvula de sangrado que deja salir este exceso al exterior, el resto llega al compresor de alta presión.
- 2- En el compresor de alta presión también se regula el caudal entrante por medio del sistema de geometría variable, en este punto el flujo de aire alcanza su presión máxima y es llevado a la cámara de combustión de alta y de aquí a la turbina de alta presión que consta de 2 coronas de álabes encargadas de impulsar el compresor de alta.

- 3- Desde la turbina de alta presión se llevan los gases a la turbina de baja presión siendo esta la turbina de potencia cuyo eje es el que comunica el giro al alternador a través de la reductora. Siendo la única finalidad del eje la baja la de acondicionar los gases.

Posteriormente a la instalación de la turbina también se añadió una corona de toberas de geometría variable al principio del compresor para limitar el flujo de aire entrante.

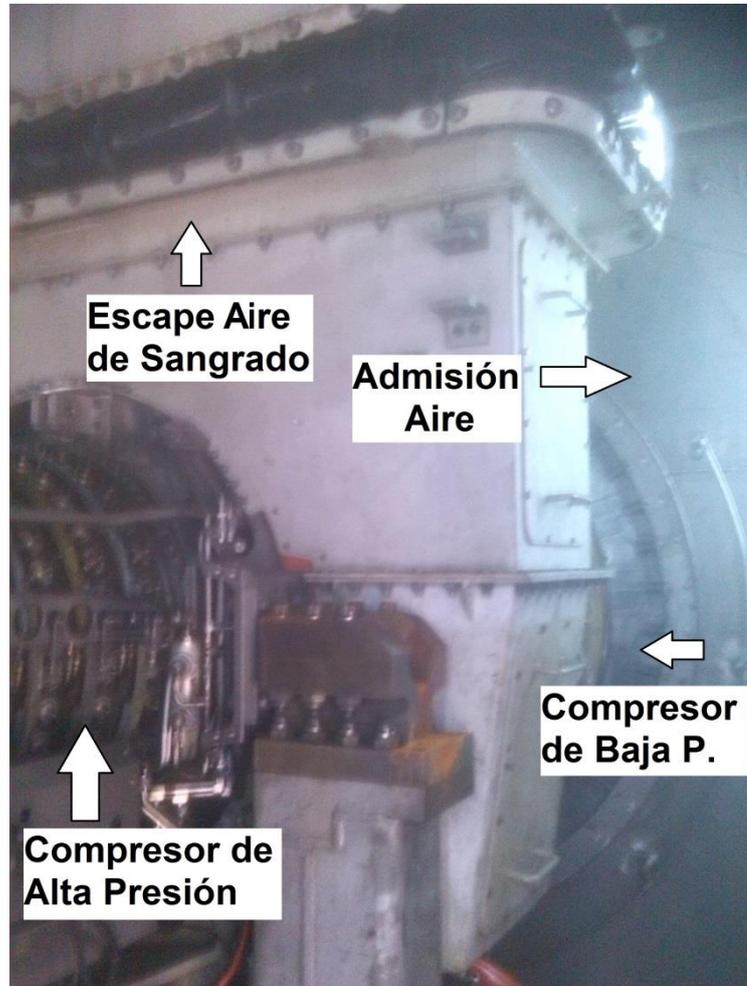
Otros puntos importantes de la máquina, describiendo desde la aspiración de la máquina hacia el escape, son:

Filtros de aspiración de aire de combustión: está formado por 132 pares de filtros (uno cilíndrico y otro cónico).



Silenciador: pantalla con un mallado de 800 micras que está justo antes de la entrada al compresor de baja presión.

Compresor baja presión



Válvulas variables de sangrado o de by-pass (VBV): Empleadas para evacuar todo aquel aire que sobra para la combustión dada la temperatura de salida de la turbina de alta presión (T48) o la temperatura de descarga del compresor de alta presión (T3)

Compresor de alta presión: con alavés variable en el estator (VSV).

Cámara de combustión anular.

Turbinas de alta presión

Turbina de baja presión

DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA POR PARTES

SISTEMA DE GEOMETRÍA VARIABLE

El sistema de control de la geometría variable incluye:

- Sistema de alabes guías de entrada variable (VIGV)
- Sistema de válvula variable de sangrado o bypass (VBV)
- Sistema del alabe de estator variable (VSV)

El sistema de control de geometría variable consiste en una bomba hidráulica de geometría variable, una unidad de control hidráulico (HCU) que acoge el servo mando hidráulico posicionado por el motor de torsión para llevar el fluido a una presión estable, dos accionamientos de sistema de alabes guías de entrada variable (VIGV), seis accionamientos de sistema de válvula variable de sangrado o bypass (VBV) y dos accionamientos del sistema del alabe de estator variable (VSV). La bomba de geometría variable es un diseño de desplazamiento fijo que suministra aceite presurizado a la unidad hidráulica para ser llevado a los accionamientos.

La finalidad del sistema de geometría variable es ajustar la sección de paso de las toberas y con ello el caudal de aire de admisión en el compresor de alta presión, se requiere de

éste sistema debido a la variación de densidad del aire con los cambios de temperatura.

SISTEMA COMBUSTIBLE

El sistema de combustible de la LM6000PC incluye colector de combustible, mangueras de combustibles y 30 inyectores de combustible.

La temperatura mínima del combustible gaseoso suministrado a la turbina de gas debe ser de 11°C mayor que la temperatura del vapor saturado de la presión de suministro del gas. En nuestro caso la temperatura mínima de entrada a la máquina que suspendería el arranque de la turbina es de 12.2 °C. La temperatura del gas no deberá pasar de 148,8 °C en la entrada del colector de gas.

La entrada de gas a la turbina será regulada por la válvula de gas MV-50V (WoodWard) con sus correspondientes válvulas de corte y de purgado.

SISTEMA DE TRANSMISIÓN

El sistema de transmisión o conjuntos del multiplicador de transferencia, está formado por el multiplicador de transferencia (TGB) y el multiplicador auxiliar (AGB), ésta es una unidad auxiliar conducida desde el sistema del rotor de alta presión por el multiplicador de entrada y el eje de la unidad radial. El conjunto del multiplicador de transferencia (TGB) lleva consigo acoplado los siguientes accesorios:

- Arranque hidráulico que conduce al sistema del rotor de alta presión a través del multiplicador auxiliar (AGB).
- Bombas de lubricación y limpieza.
- Bomba hidráulica y una unidad de control hidráulico (HCU).

SISTEMA DE ARRANQUE

El arranque conduce al sistema del rotor de alta presión a través del patín de la unidad de arranque del conjunto del multiplicador auxiliar (AGB). El arranque se necesita para arrancar, lavar con agua y cuando se necesita para hacer funcionar el motor. La razón del engranaje del motor al rotor de alta presión es aproximadamente de 0.96:1. En nuestro caso el sistema de arranque se hace a través de un sistema hidráulico que lleva una bomba hidráulica y un embrague acoplado al multiplicador de transferencia.

USO DEL ARRANQUE

Para motores de arranque suministrados por G.E. se recomienda que el arranque no se acople a menos que el eje de alta velocidad esté en reposo. Si es necesario, el acoplamiento puede ocurrir a velocidades que no pasen las 300 r.p.m. El acoplamiento del motor de arranque a la velocidad de 300 r.p.m. hasta 1700 r.p.m. deberá de ser evitada para evitar daños al motor de arranque o al conjunto de baja presión.

La velocidad nominal de corte para los motores de arranque suministrados GE es de 4600 r.p.m. (XN25). Durante el

arranque del motor, la velocidad de salida del motor de arranque mínima aceptable es de 4100 r.p.m. La velocidad de salida del motor de arranque máxima aceptable es de 4900 r.p.m.

MOTOR DE ARRANQUE HIDRÁULICO

El motor de arranque hidráulico consiste en el motor hidráulico de desplazamiento variable. La apertura del pistón es controlada por el rotor del disco oscilante, mientras que el desplazamiento es controlado por medio de un compresor de presión. El motor de arranque está equipado con un embrague de sobremarcha para prevenir que el motor sea conducido por el rotor de alta velocidad cuando la presión suministrada hidráulica y el flujo se reducen a cero.

No existen límites en el ciclo de trabajo del arranque hidráulico, siempre y cuando la temperatura del aceite se mantenga bajo los 59.9°C. De todas formas, no se recomienda exceder de los 25 min de arranque y un mínimo de 15 min entre dos arranques.

SISTEMA DE LUBRICACION

El motor usa aceite para:

Lubricar y enfriar los cojinetes del rotor de alta y baja presión, los pozos y el multiplicador de transferencia (TGB) y el multiplicador auxiliar (AGB).

Manejar los accionadores de los sistemas de alabes guías de entrada variable (VIGV), sistema de válvula variable de sangrado o bypass (VBV) y el sistema del alabe de estator variable (VSV); las válvulas de soplo de la octava etapa y de la presión de descarga del compresor: y la Válvula de control de balanceo de empuje (TBV) del rotor de baja presión.

El flujo de aceite por los elementos de suministro de la bomba de lubricación del motor es aproximadamente proporcional a la velocidad del rotor de alta presión.

ARRANQUE DE LA TURBINA

El arranque de la turbina consta de los siguientes elementos:

- 1- Empleando un motor hidráulico impulsamos el eje de baja presión hasta las 1000 rpm, el giro se transmite por medio del multiplicador auxiliar.
- 2- Alcanzadas las revoluciones en el eje de alta se provoca el giro del eje de baja por medio de un motor auxiliar (virador)(no representado en el pantallazo) conectado al multiplicador de transferencia (reductora eje baja - alternador) al eje de baja, el motor auxiliar crea un giro de 130 rpm.
- 3- Alcanzada esta velocidad en el eje de baja el virador se para y el eje de baja gira gracias el flujo de gases generados por el giro del eje de alta, en estas condiciones ya es posible introducir combustible en la cámara de combustión.

OPERACIÓN ANORMAL

Este capítulo cubre las condiciones y procedimientos de operación anormal, y características de auto protección provistas por los controles. Este capítulo provee definiciones, descripciones y acciones que se requieran del operador para las condiciones anormales que resulten en alarmas o acciones protectoras. Además cubre otras condiciones que no disparan alarmas o acciones protectoras, pero que requieren una acción especial por el operador.

DEFINICIONES GENERALES

La operación anormal se define como cualquier condición operativa de la LM6000PC que:

- Se desvía de los límites normales de operación.
- Sobrepasa los límites normales de operación.
- Provoca una alarma o la iniciación de otra acción protectora.

Una función protectora se define como cualquier acción iniciada automáticamente por el control del fabricante para:

- Prevenir daños al motor o a la instalación de la LM6000PC.
- Prevenir lesiones al personal.

ACCIONES DE CONTROL

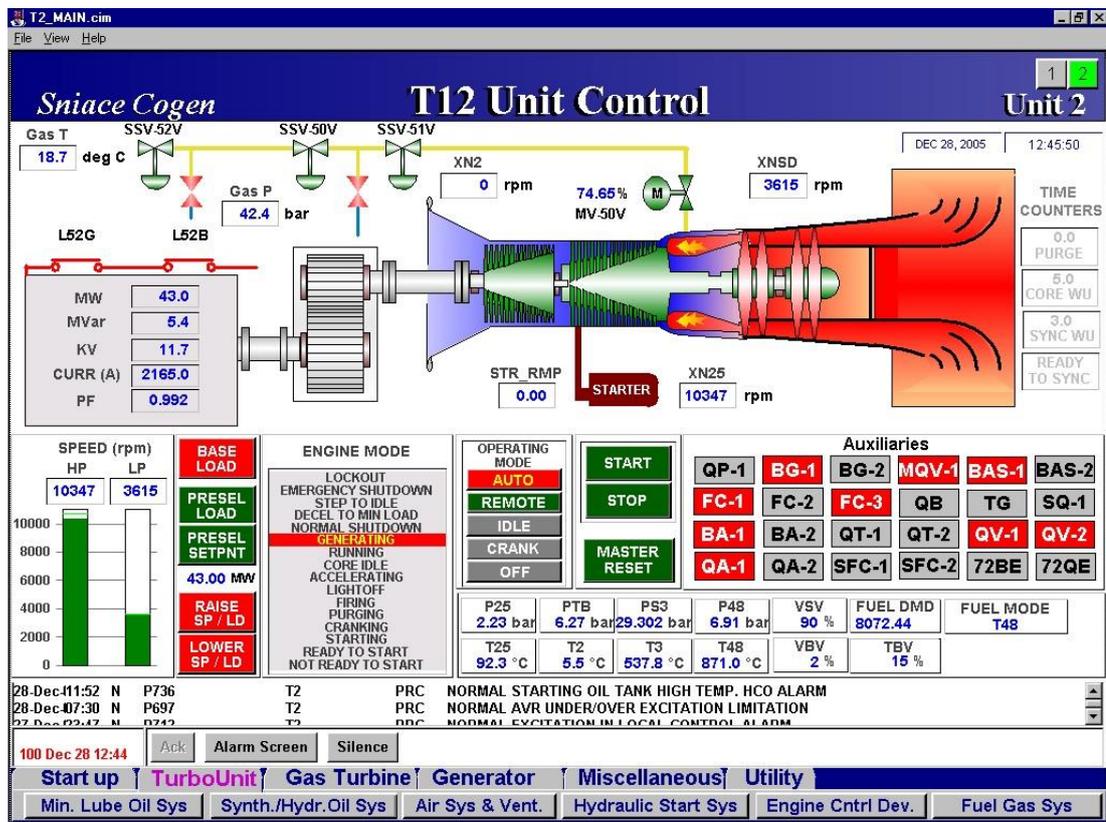
Existen tres niveles de protección iniciados por el sistema de control suministrado para la LM6000PC cuando se detectan condiciones de trabajo anormales:

- Alarmas (solamente).
- Reducciones de potencia
- Parada.

ALARMAS Y FAX DE EMERGENCIA

Las alarmas se usan para alertar al operador sobre alguna condición que requiera su intervención. Algunas alarmas pueden simplemente indicar que se ha llegado a una condición que va a requerir mantenimiento en corto tiempo. Otras alarmas indican que se ha llegado a una condición que puede llevar a la iniciación de una función de protección si no se toman medidas correctoras inmediatamente.

PANTALLA DE OPERACIÓN DE TURBINA



DESCRIPCION DE LA PANTALLA

Esquemáticamente se representa el alternador, reductora, turbina, motor de arranque (starter), interruptores de 12 Kv de la turbina (L52B y L52G) y sistema de gas.

Descripción de nomenclatura de pantalla:

BASE LOAD: Turbina en carga base y para que suba directamente a carga base.

PRESEL LOAD: Sirve para preseleccionar una carga determinada en el “presel set pnt” entre los valores de 43 a 3 mw.

PRESEL SET: Se introduce un valor determinado para preseleccionar una carga.

RAISE SP/LP: Botón para subir la carga de la turbina sin un valor determinado.

LOWER SP/LP: Botón para bajar la carga de la turbina sin un valor determinado.

ENGINE MODE: Indica el estado en que se encuentra la turbina.

LOCKOUT: Turbina bloqueada 4 horas.

EMERGENCY SHUTDOWN: Parada de emergencia según turbina.

STEP TO IDLE: Situación de calentamiento por fallo en turbina.

DECEL TO MIN LOAD: Bajada a carga mínima por defecto en turbina.

NORMAL SHUTDOWN: Parada normal iniciada por el operador.

GENERATING: Turbina acoplada.

RUNNING: Turbina en espera de acoplamiento.

CORE ILDE: Turbina en fase de calentamiento.

ACCELERATING: Turbina acelerando hasta Core Ilde.

LIGH OFF: Turbina sin fuego.

FIRING: Fase de entrada de gas y encendido de la combustión.

PURGING: Turbina se encuentra en fase de purga o de lavado off-line.

CRANKING: Fase de aceleración para llegar a purga.

STARTING: Fase de arranque de motores para poder hacer girar la turbina.

READY TO START: Turbina dispuesta para arrancar.

NOT READY TO START: Turbina no dispuesta para arrancar.

OPERATING MODE

AUTO – En este modo la turbina hace el arranque hasta velocidad de sincronismo de modo automático.

REMOTE – Arranque a distancia (no está utilizado).

IDLE – Arranque hasta modo de calentamiento a la espera de subir a sincronismo.

CRANK - O modo de purga de la turbina. También se selecciona para realizar el lavado Off-Line y la calibración de la máquina.

OFF – Modo en el que se deshabilita cualquier tipo de arranque de la turbina.

PULSADOR START

Sirve para alcanzar cualquiera de los operating mode seleccionado o a la hora de sincronismo subir la velocidad del eje de baja

PULSADOR STOP

Sirve para parar la turbina desde cualquiera de los “operating mod”e que tengamos seleccionados o también en caso de que tengamos que anular el siguiente “trip” “generator breaker trip 52gt” y pulsado posteriormente “start”.

MASTER RESET

Sirve para chequear las alarmas que nos y para confirma que estamos enterados de las alarmas, ya que en caso de bajada a mínima carga evita el desacoplamiento de la turbina, si la causa a desaparecido (temporizado de 3 minutos).

También es imprescindible pulsarlo cuando se vaya a sincronizar la turbina a la red.

AUXILIARES (MOTORES)

En estos botones se indican que motores de los auxiliares están en funcionamiento.

El significado de los colores es: Gris parado y rojo en marcha.

QP-1: Motor arrancador hidráulico.

BG-1 y BG-2: Motor aire refrigeración reductora flender.

MQV-1: Motor extractor de vahos de aceite mineral.

BAS-1 y BAS-2: Motor plinto envolvente.

FC-1, FC-2 Y FC-3: Motor aerorefrigeradores.

QB: Motor jackin pump o motor de elevación.

TG: Motor virador reductora.

SQ-1: Calentador tanque aceite hidráulico

BA-1 y BA-2: Motor envolvente.

QT-1: Calentador aceite sintético.

QT-2: Calentador aceite mineral.

QV-1 y QV-2: Separador vahos aceite sintético.

QA-1 y QA-2: Motor aceite mineral.

SFC-1 y SFC-2: Enfriador aceite hidráulico.

72BE - Motor ventilador emergencia envolvente turbina (corriente continua – baterías).

72QE – Motor bomba de emergencia aceite mineral (corriente continua – baterías).

CARPETAS INFERIORES

CARPETA STAR-UP: sirve para chequear los parámetros necesarios para poder arrancar la turbina.

START CHECKS: permisivos de arranque.

L4 CHECKS: permisos mark V.

CRANK CHECKS: permisos para girar el cigüeñal.

IGNITION CHECKS: permisos de Ignición.

CARPETA TURBO UNIT

MIN. LUBE OIL SYS: parámetros aceite mineral.

SYNTH. HYDR.OIL SYS: parámetros aceite sintético.

AIR SYS & VENT: parámetros sistema refrigeración turbina.

HYDRAULIC START SYS: parámetros arrancador hidráulico.

ENGINE CONTROL DEVICE: resto de parámetros de control de turbina.

FUEL GAS SYS: parámetros sistema de gas.

CARPETA GAS TURBINE

T48 DISPLAY

VIBRATION DISPLAY

WATER WASH DYSPLAY

OFF-LINE WATER WASH

ON-LINE WATER WASH

CARPETA GENERATOR

SYNCHRONIZING DYSPLAY - sincronización de la turbina

CARPETA MISCELANIUS Calibración y funcionamiento de las válvulas de regulación de turbina (fmv, vigv, vsv, tbv,vbv)

FUEL CONTROL MODE

TRENDS

CARPETA UTILITIES

CONTROL CONSTANTS: sirve para comprobar los valores constantes en la turbina (ejemplo tiempos de arranque).

LOGIC FORCING: programa para poder forzar señales de la turbinas.

RUNG DYSPLAY: acceso a programa del Mark V.

TRIP HISTORY: recogida interna de datos en caso de Trip (desconexión).

COUNTERS: contador de horas de la turbina.

TURBINA DE VAPOR

La turbina de vapor es un motor térmico cíclico rotativo, de combustión externa, que movido por vapor produce energía mecánica. El vapor entra a alta presión y temperatura, y se expande en la turbina, transformando una parte de su entalpía en energía mecánica. A la salida de la turbina, el vapor ha perdido presión y temperatura. Al igual que en el caso de las turbinas de gas, el eje está acoplado a un generador a través de un reductor, donde se transforma la energía mecánica en eléctrica.



TIPO Y TAMAÑO	SIEMENS NG 40/32/40 – 3
VELOCIDAD ROTACIÓN NOMINAL	8.000 r.p.m.
VELOCIDAD ROTACIÓN DEL CIERRE RÁPIDO	8.800 r.p.m.
POTENCIA NOMINAL	22.465 kW
PRESIÓN VAPOR VIVO	61 kg/cm ²
TEMPERATURA VAPOR VIVO	465 °C
PRESIÓN VAPOR DE INYECCIÓN	30 kg/cm ²
TEMPERATURA VAPOR INYECCIÓN	400 °C
PRESIÓN VAPOR DE TOMA	9 kg/cm ²
PRESIÓN VAPOR CONTRAPRESIÓN	4 kg/cm ²
VELOCIDAD ROTACIÓN ALTERNADOR	1.500 r.p.m.
TENSIÓN	11.750 V
INTENSIDAD	1.351 A
KVA	27.500

PARTES FUNDAMENTALES DE LA TURBINA DE VAPOR

CUERPO DE TURBINA:

Formado por el rotor (contiene las coronas giratorias de álabes), el estator, el eje y la carcasa (conteniendo las coronas fijas de toberas).

ESCAPE DE LA TURBINA:

Es el cuerpo posterior de la turbina por donde se conduce el vapor al condensador.

SECCIONES DE EXTRACCIÓN O REINYECCIÓN:

Es la zona por donde se extrae el vapor a presión intermedia o se inyecta.

CIERRES LABERINTICOS DE VAPOR:

Disminuye las fugas de vapor por los huecos, siendo conducido el vapor de fuga a un condensador de vahos o se extrae con eyectores.

REDUCTOR:

Al igual que ocurría en el caso de turbinas de gas, en potencias inferiores de 50 MW, la velocidad de rotación del eje suele ser superior a la necesaria para el accionamiento de un alterador (salida 1.500) y necesita el uso de este elemento reductor del número de revoluciones.

GENERADOR:

Es el elemento consumidor de la fuerza motriz aportada por la turbina y es el que genera la corriente eléctrica que se desea.

SISTEMA DE ADMISION:

Consta de una válvula de cierre rápido, el grupo de válvulas de control y toberas de admisión.

Las válvulas de control de admisión son unos de los elementos más importantes de la turbina de vapor y regulan el caudal de entrada a la turbina. Es una válvula pilotada hidráulicamente con la ayuda de un grupo de presión de aceite.

EL ROTOR

El rotor de una turbina de acción es de acero fundido con ciertas cantidades de níquel o cromo para darle tenacidad al rotor, y es de diámetro aproximadamente uniforme. Normalmente las ruedas donde se colocan los alabes se acoplan en caliente al rotor. También se pueden fabricar haciendo de una sola pieza forjada al rotor, maquinando las ranuras necesarias para colocar los alabes.

Los alabes se realizan de aceros inoxidable, aleaciones de cromo, con las curvaturas de diseño según los ángulos de salida de vapor y las velocidades necesarias. Son críticas las últimas etapas por la posibilidad de existencia de partículas de agua que erosionarían a los alabes. Por ello, suelen tener un recubrimiento resistente a la abrasión.

LA CARCASA

La carcasa se divide en dos partes: la parte inferior, unida a la bancada y la parte superior, que se desmonta cuando se quiere acceder al rotor. Ambas contienen las coronas fijas de toberas o alabes fijos.

Las carcasas se realizan de hierro, acero o aleaciones de acero, dependiendo de la temperatura del vapor.

La carcasa va recubierta por una manta aislante que disminuye la radiación de calor al exterior, evitando que el vapor se enfríe, pierda energía y por tanto la turbina pierda potencia y rendimiento. Esta manta aislante suele estar recubierta de una tela impermeable que evita su degradación y permite quitarla y ponerla con mayor facilidad.

COJINETES DE APOYO, DE BANCADA O RADIALES

Sobre ellos gira el rotor. Suelen ser de un material blando, y recubiertos de una capa antifricción. En realidad, el eje no gira sobre ellos, sino sobre una capa de aceite de lubricación. Son elementos de desgaste, que deben ser sustituidos periódicamente, bien con una frecuencia establecida si su coste es bajo respecto de su producción, o bien por observación de su superficie y cambio cuando se encuentren en un estado deficiente.

COJINETE DE EMPUJE O AXIAL

El cojinete axial o de empuje impide el desplazamiento del rotor en la dirección del eje. Supone un tope para el desplazamiento. En caso de no existir este tope, el empuje axial que sufre el eje por el efecto del vapor repercutirá en el reductor, aplicando en él una fuerza que no puede absorber.

Este cojinete, realizado en un material blando, está recubierto por una capa de material antifricción, que supone un rozamiento mínimo entre el disco y el cojinete. Además, el cojinete está convenientemente lubricado.

Cuando el desgaste de este disco es excesivo, se produce un desplazamiento mayor del permisible, que transmite esa fuerza no deseable a los elementos acoplados al eje de la turbina. Para comprobar el estado de ese cojinete, además de la medida de la temperatura y de las vibraciones del eje, se mide de forma constante el desplazamiento axial. Si se excede el límite permitido, para evitar daños, el sistema de control provoca la parada de la turbina o impide que ésta complete su puesta en marcha.

SISTEMA DE LUBRICACIÓN

Proporciona el aceite lubricante. Para asegurar la circulación del aceite en todo momento (un fallo en este sistema provocaría graves daños, sobre todo en el eje y en los cojinetes), el sistema suele estar equipado con tres bombas:

BOMBA MECÁNICA PRINCIPAL

Esta acoplada al eje de la turbina, de forma que siempre que esté girando la turbina también gire la bomba, asegurándose así la presión de bombeo mejor que con una bomba eléctrica. No obstante, en los arranques y paradas esta bomba no da presión suficiente, por lo que es necesario que el equipo tenga al menos una bomba adicional

BOMBA AUXILIAR

Se utiliza exclusivamente en los arranques y paradas, y sirve para asegurar la correcta presión de aceite hasta que la bomba mecánica puede realizar este servicio. A unas revoluciones determinadas durante el arranque, automáticamente se cambia de bomba auxiliar a bomba principal, y lo mismo durante las paradas de la turbina.

BOMBA DE EMERGENCIA

Si se produce un cero de planta, ésta queda sin tensión y la turbina de vapor dispara, durante la parada habría un momento en que ésta se quedaría sin lubricación, ya que la bomba auxiliar no tendría tensión. Para evitar este problema, las turbinas suelen ir equipadas con una bomba de emergencia que funciona con corriente continua proveniente de un sistema de baterías.

SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE VAHOS

El depósito de aceite suele estar a presión inferior a la atmosférica. De esta forma los vapores de aceite son extraídos y se dificulta una posible fuga de aceite al exterior. Para conseguir este vacío, el sistema de lubricación suele ir equipado con un extractor que garantiza que los vapores del aceite serán extraídos y se mantendrá una presión baja en el depósito.

SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE ACEITE

El aceite en su recorrido de lubricación se calienta; al calentarse modifica su viscosidad, y por tanto, sus características lubricantes. Si el calor es excesivo, se degrada. Para evitar todo esto, el sistema de lubricación dispone de unos intercambiadores que enfrían el aceite. Estos intercambiadores pueden ser de aire aceite, de forma que el calor del aceite se evacua a la atmosfera, o agua-aceite, de forma que el calor se transfiere at circuito cerrado de refrigeración con agua de la planta.

En caso de refrigeración por agua, este circuito combina normalmente la refrigeración de aceite del reductor y alternador, así como la refrigeración de los devanados del alternador.

SISTEMA DE ACEITE DE CONTROL

Cuando la válvula de regulación se acciona hidráulicamente el conjunto de turbina va equipado con un grupo de presión

que eleva la presión del aceite en el circuito de aceite de control hasta la necesaria, normalmente entre los 50 y los 200 bar de presión. El sistema de control gobierna la válvula de salida del grupo, que hace llegar la presión de aceite hasta la válvula de regulación de entrada de vapor.

SISTEMA DE SELLADO DE VAPOR

Las empaquetaduras o cierres en el eje evitan la fuga de vapor al exterior en la panes a presión o entrada de aire en las parte bajo vacío.

VIRADOR

El sistema virador consiste en un motor eléctrico que hace girar lentamente la turbina cuando no está en funcionamiento. Esto se hace para evitar que el rotor se curve al estar parado, por su propio peso o por expansión térmica. La velocidad de este sistema es muy baja (varios minutos para completar un giro completo de turbina), pero se vuelve esencial para asegurar la correcta rectitud del rotor. Si por alguna razón este sistema se detiene (avería del rotor, avería de la turbina, inspección interna con desmontaje) es necesario asegurar que, antes de arrancar, estén girando varias horas con el sistema virador.

COMPENSADOR

Es el elemento de unión entre la salida de la turbina y el resto de la instalación, es decir las tuberías que llevan el vapor al condensador. Ya que la carcasa de la turbina sufre grandes cambios de temperatura, este elemento de unión es imprescindible para controlar y amortiguar el efecto de dilataciones y contracciones.

CALDERA (GV) – FOSTER WHEELER



La caldera de recuperación de calor en un ciclo combinado es el elemento que aprovecha la energía de los gases de escape de la turbina de gas transformándola en vapor. Con posterioridad, ese vapor puede transformarse en electricidad en el turbogrupa, ser utilizando directamente (en todo o en parte) en procesos industriales o bien emplearse en la producción de calor en sistemas de calefacción centralizados.

MODOS DE OPERACIÓN

El generador de vapor FOSTER WHEELER está diseñado para funcionar de forma segura en dos modos diferentes:

a) Con gases de turbina (unfired).

El quemador de gas está apagado. La producción de vapor de la caldera será la que corresponde al calor aportado por los gases de escape de la turbina.

b) Con gases de turbina y postcombustión (cofired).

Cuando se está funcionando en el modo "a", pero se necesita más producción de vapor, se pone en servicio el quemador de postcombustión, utilizándose como comburente el oxígeno contenido en los gases de la turbina.



CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MODOS DE OPERACIÓN

a) Con los gases de turbina (unfired).

El quemador de gas está apagado. Se aprovecha únicamente el calor residual de los gases de escape de la turbina.

En este modo de operación, la caldera producirá un caudal de vapor de 38.6 t/h a 63 bar y 445 °C, en el circuito de alta presión y 11,1 t/h a 6 bar y 195 °C en el circuito de baja presión.

b) Con los gases de turbina y postcombustión de la turbina y el quemador de postcombustión. Esta toma para la

combustión del gas natural, el oxígeno contenido en los gases de la turbina. En este modo de operación, la caldera tiene tres puntos de trabajo, que dependen del caudal de gases que genere la turbina y del combustible utilizado.

DATOS DE OPERACIÓN UNFIRED –COFIRED

DATOS DE OPERACIÓN	UNFIRED	COFIRED
TEMPERTURA AMB. °C	14	14
ACUADAL GASES TURBINA T/h	449	450
TEMPERATURA GASES DE TURBINA °C	457	457
ALTA PRESION VAPOR		
CAUDAL VAPOR SOBRECALENTADO T/h	38,6	48,4
PRESION VAPOR SOBRECALENTADO Bar(g)	63	63
TEMP. VAPOR SOBRECALENTADO °C	445	470
TEMP. AGUA ALIMENTACIÓN °C	28	28
APROACH POINT °C	11	16
PINCH POINT °C	10	12
BAJA PRESION VAPOR		
CAUDAL VAPOR SOBRECALENTADO T/h	11,1	9,7
PRESION VAPOR	6	6

SOBRECALENTADO		
TEMP. VAPOR SOBRECALENTADO °C	195	195
TEMP. AGUA ALIMENTACIÓN °C	28	28
PINCH POINT °C	30	29
TEMP. GASES DE COMBUSTION		
ENTRADA PANTALLA °C	457	511
ENTRADA SOBREC. FINAL °C	448	498
ENTRADA SOBREC. PRIMARIO °C	445	469
ENTRADA BANCO ALTA PRESION °C	408	424
ENTRADA PRIMER ECO. ALTA PRESION °C	290	291
ENTRADA SOBREC. BAJA PRESION °C	255	252
ENTRADA BANCO BAJA PRESION °C	253	250
ENTRADA SEGUNDO ECO. ALTA PRESION °C	195	194
ENTRADA PRECALENTADOR °C	157	153
SALIDA DE CALDERA °C	143	139
PERDIDA DE CARGA LADO GASES mmca	196	200
COMBUSTIBLE UTILIZADO Mw		7.9

DESCRIPCIÓN

GENERALIDADES

El generador está diseñado para su instalación a la intemperie, es del tipo de recuperación del calor, acuotubular de circulación natural con post-combustión con los gases de escape de turbina, nivel de agua definido y vigilancia directa.

La caldera está compuesta por una envolvente metálica que está aislada interiormente donde se encuentran todos los elementos de alta y baja que absorben el calor de los gases. Todo el conjunto está soportado por una estructura metálica, sobre la que están instalados los calderines de alta y baja presión respectivamente.

La caldera ha sido diseñada y fabricada de acuerdo con los requerimientos del código ASME (Sección I edición 1995) ANSI / ASME B 31.1 (edición 1995) y ASME (sección II, V y IX edición 1995).

PARTES A PRESION

Se entiende como partes a presión, todos los elementos de la caldera que están sometidos a la presión del agua/vapor y del agua de alimentación en cualquiera de sus circuitos.

Según el sentido del flujo de los gases, la caldera consta de los siguientes elementos (ver plano caldera):

- Pantalla
- Sobrecalentador final de alta presión
- Sobrecalentador primario de alta presión
- Cuatro bancos evaporadores de convección de alta presión
- Segundo banco del economizador de alta presión
- Sobrecalentador de baja presión
- Tres bancos evaporadores de convección de baja presión
- Primer banco del economizador alta presión
- Economizador de baja presión
- Calentador de agua de aporte al desgasificador.

Situados sobre la estructura soporte, se encuentran los calderines de vapor, de alta y baja presión y fuera del flujo de gases:

- Downcomers
- Feeders
- Risers
- Tubos de transferencia.

A continuación se describen cada uno de los elementos que conforman las partes a presión de la caldera.

CALDERIN DE ALTA PRESION

Este calderín tiene la doble función de separar el agua del vapor generado en los circuitos de alta presión de la caldera y mantener una reserva de agua para dichos circuitos.

El calderín está situado en la parte superior de la caldera, sobre la estructura, apoyado sobre dos cunas soporte, como se muestra en el plano de la caldera.



Al calderín van conectados los risers en la zona central lateral, los bancos de convección en la zona central inferior y los Downcomers en los extremos inferiores del mismo.

En el interior del calderín se encuentran los elementos separadores de la mezcla agua-vapor y tuberías que cumplen las funciones siguientes:

- Separadores ciclónicos con dos circuitos de separación, en los que se realiza la primera etapa de separación
- Mallas de acero inoxidable “Demisters”, en los que se realiza una separación adicional del agua no separada en los elementos anteriores
- Secadores tipo chevron, situados en la parte superior del calderín, a la entrada de la caja seca, donde se realiza la separación final del agua y el vapor.
- Tubería de alimentación de agua.
- Tubería de purga continua.
- Tubería de inyección química
- Elementos anti-torbellino, situados a la entrada del agua a los downcomers.

DOWNCOMER DE ALTA PRESION

La función del downcomer es la de alimentar con agua del calderín los bancos de convección de alta presión por flujo natural (temperaturas).

CALDERIN DE BAJA PRESION

Al igual que el de alta presión, este calderín tiene la doble función de separar el agua del vapor para todos ellos.

El calderín de baja presión está situado en la parte superior de la caldera, sobre dos cunas soportes, como se puede ver en el plano de la caldera.

DOWCOMER DE BAJA PRESION

Tiene la misma función que el de alta presión.

PANTALLA

Este es el primer elemento cuya función principal es la de proteger el sobrecalentador final de sobre-calentadores cuando esté en servicio el quemador de gas.

Está formada por dos colectores y un haz de tubos lisos.

SOBRECALENTADOR FINAL DE ALTA PRESIÓN

El sobrecalentador está situado a continuación de la pantalla de protección y está formado por tres colectores y un haz de tubos aleteados.

Su función es incrementar la temperatura del vapor hasta los valores de diseño, junto con el sobrecalentador primario

y el atemperador, que va instalado en la línea de transferencia entre ambos sobrecalentadores.

SOBRECALENTADOR PRIMARIO DE ALTA PRESION

Este elemento situado a continuación de la pantalla de protección, está formado por cuatro colectores y un haz de tubos aleteados.

BANCO DE TUBOS VAPORIZADOR N°1 DE ALTA PRESIÓN o BANCO DE CONVECCIÓN

Este elemento situado a continuación del sobrecalentador primario, está formado por dos colectores y un haz de tubos aleteados.

FUNCIONAMIENTO

CIRCUITO DE AGUA-VAPOR

La unidad recibe el agua desmineralizada por la línea de aporte al desgasificador a 65°C de temperatura según las circunstancias. El agua pasa a través de un cambiador de agua/agua, donde recibe calor del agua desgasificada, pasa por los calentadores de ambas calderas y de aquí al desgasificador.

El desgasificador recibe el agua de aporte, el vapor del tanque de purgas y del colector de vapor sobrecalentado de baja presión. Por efecto de este vapor, el agua se calienta desprendiéndose el oxígeno contenido en ella. Un control de temperatura, formado por el controlador PT-0175 y la

válvula de control PV-0095, mantiene constante la temperatura del agua de alimentación.



Actualmente el control de nivel del desgasificador se realiza manualmente arrancando y parando las bombas que suministran el agua al desgasificador.

Los tres transmisiones de nivel LT_0180 A, B, y C, vigilan el nivel del agua, abriendo la válvula XV-180, cuando el nivel es alto o parando las bombas de alimentación de agua de las calderas, cuando el nivel es bajo.

Las bombas de alimentación aspiran del desgasificador, por una línea de 6" situada en la parte inferior del tanque. En esta línea, entre el tanque y el cambiador está instalada una conexión de $\frac{3}{4}$ " para la dosificación química.

CIRCUITO DE ALTA PRESIÓN

Cada una de las calderas dispone de un grupo de dos bombas de alimentación de agua, para el circuito de alta presión.

El agua desgasificada llega a las bombas de alimentación, que la impulsan por la línea de agua de alimentación, donde se han instalado el medidor de caudal FT-250, la válvula de control de FV-250, para el control del nivel del calderín. Entre ambos instrumentos hay una conexión de 1 1/2" para suministrar agua al atemperador.

El agua de alimentación entra en el circuito de alta presión, por el primer economizador circulando en forma de zig-zag, bajando por la mitad de los tubos de la fila y subiendo por la otra mitad. El sentido de circulación es el de contracorriente al de los gases, pasando al segundo economizador y circulando en este elemento en el mismo sentido. Del segundo economizador, el agua pasa al calderín, entrando a una temperatura de 268°C.

El agua de alimentación entra en el calderín a través de la tubería de alimentación. Esta tubería, que se extiende a lo largo del calderín, está perforada en toda su longitud, con el fin de que el agua sea uniformemente distribuida por todo el calderín. Desde el calderín el agua pasa a la pantalla y a los cuatro bancos vaporizadores a través de los dos tubos downcomers de 10" montados en los extremos del calderín y de los feeders correspondientes. En estos elementos, bancos y pantalla respectivamente, el agua asciende hasta los colectores superiores por convección, debido al calentamiento del agua en los tubos. Parte del agua se vaporiza, pasando a través de los tubos "risers" al

calderín la mezcla agua-vapor producida durante el proceso descrito.

La mezcla de agua-vapor se separa en el calderín por la acción de los elementos internos del mismo. Desde el calderín de alta presión, el vapor pasa al sobrecalentador primario de alta presión y de este al sobrecalentador final. En la tubería de transferencia, entre ambos sobrecalentadores, se encuentra el atemperador, encargado de controlar la temperatura del vapor a la salida de la caldera.

CIRCUITO DE BAJA PRESIÓN

El agua de alimentación entra directamente en el calderín de baja a la temperatura de salida de 105°C o 140°C según los casos.

La tubería de agua de alimentación, al igual que en el calderín de baja presión, se extiende a todo lo largo de él con el fin de que la entrada de agua sea uniforme en todo el calderín. El agua pasa del calderín a los dos bancos de convección, a través de los tubos downcomers y los feeders correspondientes. En dichos bancos y debido al efecto del calor, el agua al calentarse asciende hasta los colectores superiores, vaporizándose en parte y pasando la mezcla de agua-vapor producida hasta calderín a través de los tubos "risers".

La mezcla de agua-vapor se separa en el calderín por la acción de los elementos internos del mismo. Desde el calderín de baja presión el vapor pasa al sobrecalentador y desde este elemento al proceso de fabricación.

CIRCUITO DE GASES

El gas procedente de la turbina llega a la compuerta de gases a través del conducto de transición, donde en función de la demanda de carga existente, el gas será enviado a la atmósfera o a la caldera a través del quemador de postcombustión.

A continuación el gas atraviesa la pantalla, sobrecalentadores final y primario de alta presión, bancos de convección y el cuerpo nº2 del economizador de alta presión, así como el sobrecalentador de baja presión, los tres bancos de convección de baja presión y el banco nº1 del economizador de alta presión. Finalmente los gases pasan a través del banco del calentador de agua de aporte al desgasificador.

La producción de vapor dependerá del modo en que esté operando la caldera. Cuando el modo de operación con gases sea con gases de turbina, el caudal de vapor será prácticamente constante, al no modular la turbina.

En el caso de que sea necesaria una producción de vapor superior a la conseguida con el modo de operación anterior será preciso poner en servicio el quemador auxiliar. De este modo, se producirá un incremento en la temperatura en los gases de combustión, lo que permitirá conseguir una mayor producción de vapor, pudiendo variarse dicha producción desde 38,6 t/h hasta 43,7 o 48,4 t/h.

La modulación el quemador de 1:10.

ARRANQUE DE LA CALDERA

El arranque de la caldera se realizará con los gases de la turbina.

Con objeto de no sobrepasar los límites admisibles de calentamiento en la caldera, se debe respetar la curva de arranque.

Una vez se la caldera se encuentre a plena carga, con los gases de la turbina, se podrá poner en servicio el quemador para dar una mayor aportación de calor a la caldera, e incrementar la producción de vapor.

Antes de un arranque, es necesario verificar las condiciones de seguridad.

Debe abrirse un libro de registro de la caldera, indicándose en el mismo las incidencias de las operaciones.

Para el arranque de la caldera se debe seguir las siguientes normas de operación:

1. Llenar la caldera con agua previamente tratada y desgasificada hasta 2" por encima del nivel mínimo del indicador de nivel del calderín.
2. La temperatura de las partes a presión de la caldera no se debe incrementar más de 50°C si la caldera se llena con agua a temperatura superior a la ambiente.

Antes del arranque de la turbina abrirán las válvulas siguientes:

-Válvulas de venteo de los calderines.

-Válvulas de venteo y drenaje de la línea del sobrecalentador final de alta presión

-Válvulas de venteo y drenaje de la línea del sobrecalentador de baja presión.

-Se realizará el arranque de la turbina por el procedimiento habitual hasta la carga que se desee, pero vigilando las condiciones de funcionamiento de la caldera. La purga de caldera se realizará conjuntamente con la purga de la turbina.

-Se aplicará inicialmente un nivel de aportación de calor bajo a la caldera. Es recomendable una aportación de calor uniforme y continuo.

-La temperatura del gas a la entrada del sobrecalentador no debe ser mayor de 350°C.

-Purgar las columnas de agua de los indicadores de nivel de ambos calderines. El nivel de agua debería volver al indicador al tener la válvula de drenaje cerrada. Mantener el agua dentro de visibilidad en el indicador de nivel todo el tiempo, alimentando o purgando agua según sea necesario.

-A medida que aumenta la presión de la caldera es importante comprobar la expansión de todos sus componentes. Si la expansión está impedida en cualquier punto donde una posterior expansión pueda causar daños destructivos o tensiones, se debe parar inmediatamente, dejando que se enfríe la caldera para eliminar las interferencias.

-Cuando la presión alcance 1 o 2 bar, cerrar los venteos de los calderines y los drenajes de los sobrecalentadores de alta y baja presión.

-Dejar los venteos de salida de los sobrecalentadores de alta y baja presión abiertos hasta que la caldera alcance el 20% del MCR.

-Al alcanzar 2 Kg/cm² la temperatura de la turbina puede subir a 457°C.

Nota: Si la presión de línea no se puede lograr con el venteo de la salida del sobrecalentador abierto, mientras que las temperaturas del gas a la entrada del sobrecalentador se mantienen en 423°C, se puede cerrar parcialmente la válvula de venteo.

-Cuando la presión alcanza 3 Kg/cm² se abren los venteos de los economizadores de alta presión hasta que salga agua, luego cerrar dichos venteos.

-A medida que se incrementa la presión hasta aproximadamente el 50% de las condiciones de línea, comprobar el funcionamiento en automático del control de agua de alimentación y monitorizar el nivel del agua. Este lazo podría requerir un control manual hasta que el flujo de vapor se establece.

-Aunque las válvulas de seguridad hayan sido comprobadas y ajustadas por el fabricante antes del envío a obra, se deben comprobar en campo. Esta operación debe ser llevada a cabo inicialmente antes de poner en marcha la caldera.

-Las válvulas deben ser disparadas empezando normalmente con la de inferior tarado (a la salida del sobrecalentador). Cada una de las válvulas de seguridad debe ser disparada, registrándose la presión al dispararse y

al cerrar, y que cada válvula se dispare limpiamente sin “presimmering” y cierre limpiamente sin “chattering”. La primera válvula se debe bloquear para realizar la misma operación válvula. Si necesitan ajuste, debe ser realizado por una persona cualificada, y en el caso de válvulas con presiones de disparo superiores a 40 kg/cm², por un representante del fabricante.

-Después de que todas las válvulas de seguridad han sido probadas, ajustadas y dispuestas en posición de disparo, la caldera está lista para ponerse en servicio.

-Al alcanzar la presión de operación +/- 2 kg/cm², la válvula principal de corte de la línea de vapor puede abrirse completamente para que la caldera pueda acoplarse suavemente a la línea. Para ello debe abrirse primeramente la válvula de by-pass de la válvula de corte y cuando se hayan igualado las presiones a ambos lados de la válvula, abrir dicha válvula, cerrando posteriormente la válvula de by-pass.

-A medida que el flujo de vapor llega al 20% MCR cerrar los venteos de los sobre-calentadores de alta y baja presión. En este momento la aportación de calor se puede incrementar al haberse establecido la circulación de la caldera.

-Durante las primeras 24 horas de operación, la carga producida por la nueva caldera debe ser restringida a la carga para la condición de sin post-combustión.

-Durante este periodo de tiempo deberá realizarse el ajuste del funcionamiento del resto de funciones relacionadas con la operación (dosificación química ajuste de la purga continua etc. Comparando con las condiciones de diseño).

-Si se llevara a cabo un soplado de las tuberías debe establecerse un procedimiento para asegurar que los resultados finales producirán el grado de limpieza necesario.

-Las pruebas de combustión deben realizarse tan pronto como sea posible después de que la nueva caldera esté en línea en condiciones estables.

-Los resultados de las pruebas de combustión aplicados al sistema de control permitirán poner la caldera en control automático.

-Purga del calderín. La purga continua se realiza desde el calderín de vapor utilizando un tubo interno. Este método permite una extracción continua del agua de la caldera, donde las concentraciones de sólidos disueltos.

PARADA NORMAL DE LA CALDERA

-Antes de realizar una parada programada de la caldera, se recomienda la reducción de la carga de la caldera al mínimo sin post-combustión, con objeto de reducir la carga de forma gradual.

-Se debe abrir el venteo del colector de salida del sobrecalentador cuando la unidad alcanza 20% de MCR.

-Reducir la carga al mínimo. Asegurarse de que todas las válvulas de combustible a los quemadores principales y a los ignitores están cerradas completamente.

-Asegurarse que el nivel de agua está mantenido en un rango normal durante la parada de la caldera.

-Normalmente el proceso de enfriamiento se realizará a menor velocidad que la indicada en la curva de calentamiento, pudiendo ser controlada hasta cierto punto por el venteo situado a la salida del sobrecalentador. La caldera solamente debe enfriarse de forma forzada en emergencias.

-Una vez que la presión de la caldera es menor que la presión de línea se abrirán las válvulas de purga por lo menos una vez, añadiendo agua de alimentación simultáneamente para mantener el nivel de agua en el calderín de vapor.

-Cerrar la válvula de corte de agua solamente después de que la caldera está bastante fría.

-Si la caldera se mantiene parada, pero llena de agua por algún tiempo, los venteos del calderín y sobrecalentador deben cerrarse cuando la presión llega a 0.4 kg/cm². Se deben incrementar los niveles de alcalinidad y productos eliminadores de oxígeno.

-Si se tiene que drenar la caldera para inspección interna o reparación, la caldera debe vaciarse cuando la presión llaga a 0.4 kg/cm². Si se dispone de agua caliente es conveniente limpiar la caldera por lo menos una vez durante el proceso de drenaje.

-Vaciado de caldera – nunca debe vaciar la caldera en caliente.

-Cuando la caldera se ha enfriado hasta el punto de que sólo hay unos 0.4 kg/cm² de presión, puede ser vaciada recomendándose que haya una limpieza con agua de alimentación caliente, vaciándola otra vez para limpiar todos los lodos solubles que puedan estar presentes.

PARADA DE EMERGENCIA DE CALDERA

-Las emergencias más comunes por las que se debe parar una caldera suelen estar relacionadas con las pérdidas de agua, bien debida a la rotura de tubos, o bien por una falta de agua de alimentación que no pueda reponerse con rapidez.

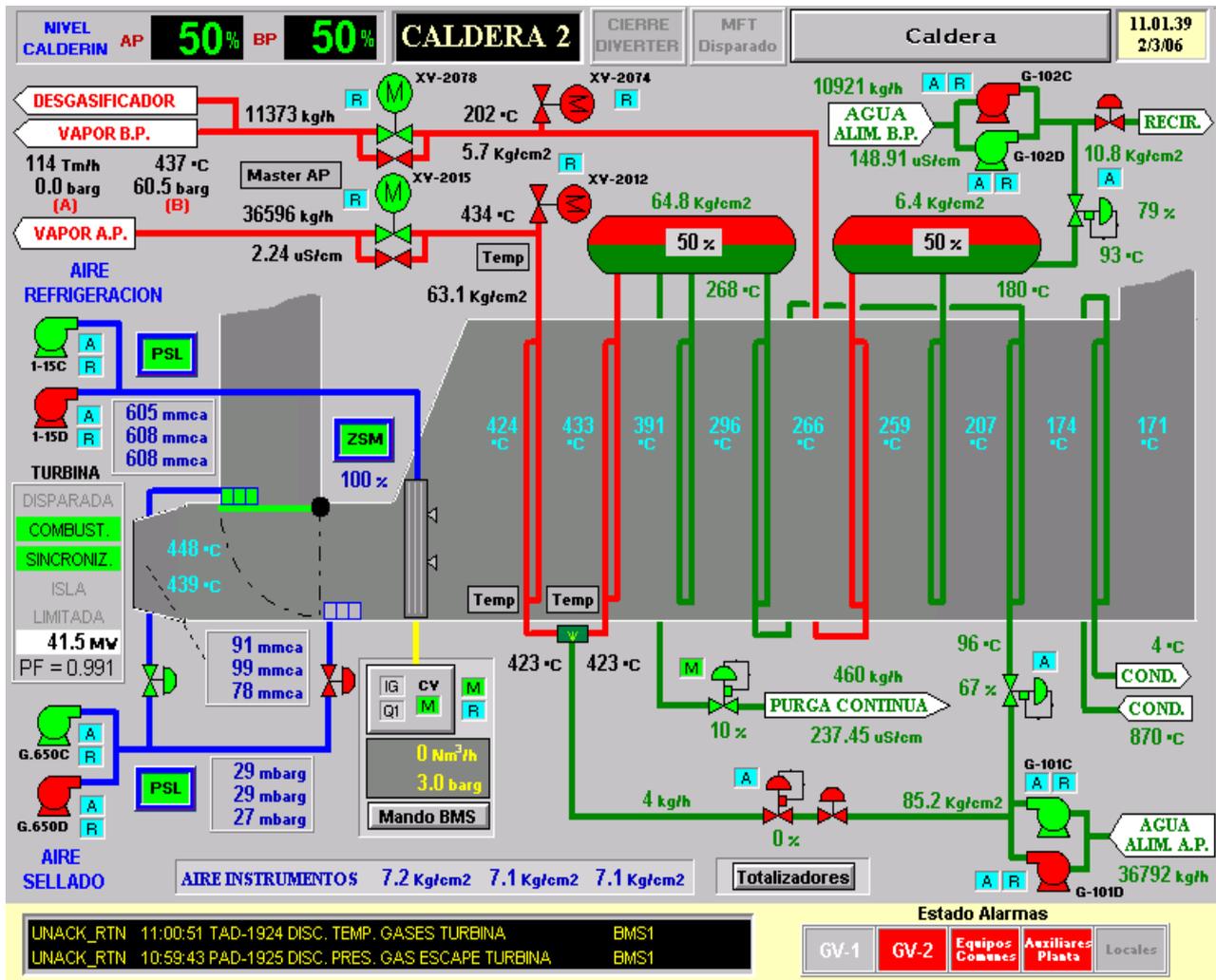
-Si se produce una fuga en un tubo de la caldera, sobrecalentador, o economizador, deberá reducirse la carga de la caldera inmediatamente al mínimo de turbina y en este punto, si el nivel de agua puede ser mantenido en el calderín, seguir los procedimientos normales de parada de caldera.

-Si el suministro de agua de alimentación se interrumpe debido a problemas de la bomba en funcionamiento, deberá arrancar automáticamente la bomba en reserva. El nivel de agua nunca se debe perder en el calderín de vapor. Dejar que el nivel de agua vuelva a los valores normales y la caldera a la carga anterior (durante la siguiente parada se debe hacer una prueba hidrostática de la caldera por si hay fugas).

-Cuando se produce una fuga masiva, que impide mantener el nivel de agua o se producen pérdidas permanentes de agua de alimentación, apagar todos los fuegos inmediatamente. Permanecer 5 minutos con la turbina al mínimo, para eliminar todos los productos de combustión, (si se usaba combustible auxiliar) y dejar que se enfríe la caldera.

-Nunca, bajo ninguna circunstancia, alimentar agua a la caldera si el agua ha estado fuera del indicador de nivel durante más de 3 minutos.

PANTALLA CALDERA



Nomenclatura de colores para aparatos:

Verde: marcha

Rojo: parado

Amarillo: fallo eléctrico

Gris: no está en la posición correcta

En cuanto al circuito de agua vapor el verde es el agua y el rojo las zona de vapor.

Con el ratón y pulsando en el botón caldera (en negrita) nos aparecerá todas las carpetas a las que podemos acceder. Como se ve en el siguiente dibujo.

Si pulsamos sobre PRINCIPAL tendremos acceso a poder salir del programa y otros apartados de gestión del programa.

Si pulsamos sobre SISTEMA DE AGUA veremos el circuito de agua de envío a la planta, así como los tanques de dosificación de productos químicos al agua.

Si pulsamos sobre LAZOS SISTEMA DE AGUA accederemos a todos lazos de control del agua.

Si pulsamos sobre CALDERA veremos la caldera, pero si queremos cambiar de caldera pulsaremos sobre el nombre de la caldera y posteriormente OK.

Si pulsamos sobre LAZOS DE CALDERA veremos todos los lazos de control de la caldera.

Si pulsamos sobre SISTEMA DE VAPOR veremos el esquema de vapor de toda la fábrica y sus valores.

Si pulsamos sobre ESTACION DE GAS veremos los valores medidos en los contadores de gas.

Si pulsamos sobre GENERACION – 12 KV el estado y los valores de las 9 celdas de 12 KV.

Si pulsamos sobre SIST. ELECTRICO 220 KV veremos el estado y producciones en 220 KV.

Si pulsamos sobre DISTRIBUCION B.T. veremos el estado en que se encuentra los distintos interruptores de los aparatos de baja tensión.

Si pulsamos sobre COMPRESORES DE AIRE accederemos al estado de funcionamiento de los compresores de aire.

Si pulsamos sobre TENDENCIAS REALES podremos diseñar gráficos con valores reales instantáneos de las calderas.

Si pulsamos sobre TENDENCIAS HISTORICAS podremos ver los valores históricos de las calderas en los 2 últimos meses.

Si pulsamos sobre TURBINA DE GAS 1 o 2 podremos acceder a los valores de las turbinas de gas 11 y 12.

Si pulsamos sobre MAR96 veremos los valores eléctricos de toda la planta.

ESTACIÓN ERM

El gas natural que se suministra a la turbina de gas debe tener unas condiciones determinadas. Debe tener una presión en un rango concreto, debe llegar a una temperatura correcta y el grado de limpieza debe estar controlado. Además, la composición química del gas natural debe estar controlada. Por último, debe conocerse la cantidad de gas que se consume y su poder calorífico, a efectos de facturación del combustible consumido. De todo ello se encarga la Estación de Gas, también conocida como ERM (estación de regulación y medida).

Naturalmente la ERM no es responsable de la composición química del gas. Los motores de gas son especialmente sensibles a la proporción de CH₄ y el consecuente aumento de hidrocarburos más pesados aumenta el riesgo de detonación y obligan a bajar la carga del motor. Los motores industriales actuales suelen aceptar combustibles con un índice de metano superior al 70-80.

Es necesario incidir en la importancia de la temperatura para el buen funcionamiento de la instalación de gas, y de los equipos que están alimentador por ella. Esta necesidad de calentamiento se debe al efecto Joule-Thomson que hace que el gas se enfríe al expandirse. En el gas natural, el enfriamiento es aproximadamente de 0,5 °C por cada bar de bajada en la presión. Es necesario calentar el gas a la entrada por cuatro razones:

- Evitar congelación de las válvulas de reducción o de interrupción de seguridad.

- Evitar la condensación de hidrocarburos o agua, que pueden perjudicar la buena combustión del gas en los equipos o producir detonaciones en motores.
- Evitar condensaciones en el exterior de tuberías y equipos que producen corrosión de las partes metálicas.
- Ahorrar energía, mediante el uso de agua caliente o vapor de baja excedente para calentamiento final del gas antes de introducción en turbina de gas.

Por tanto, podemos resumir diciendo que las principales funciones de la estación de gas son:

- Que el gas que se reciba tenga una presión constante o dentro de unos rangos determinados.
- Que la temperatura sea la adecuada.
- Que el gas se reciba limpio, sin partículas que puedan ocasionar problemas.
- Medir el caudal y, en algunos casos, también la composición del gas.

La estación de regulación y medida dispone de los siguientes equipos:

- Filtros.
- Válvulas reductoras de presión.
- Sistema de precalentamiento.
- Cromatógrafo.
- Contador.

Filtración:

los filtros limpian el gas de las posibles impurezas solidas que se pudiesen arrastrar. La instalación consta tanto de filtros de cartucho como de filtros ciclónicos.

**Calentadores de punto de rocío:**

Debe disponerse de un sistema de calefacción para evitar que después de la expansión el gas tenga una temperatura inferior a la del punto de rocío del gas combustible y del punto de rocío del aire exterior. Estos calentadores suelen dimensionarse de manera que en las condiciones más desfavorables la temperatura del gas después de la expansión sea superior a 8 °C.

Para el calentamiento del agua que calentará el gas en el intercambiador, se emplean dos calderas de gas Ferroli Pegasus 255 Ln 2s las cuales realizan la combustión dentro de una caja estanca, sin contacto con el aire del local donde están instaladas y el aire que necesitan para la combustión lo absorben del exterior a través de un

conducto. De la misma forma, los gases de la combustión se evacúan directamente al exterior a través de un conducto por tiro forzado.

Este tipo de calderas tienen un alto rendimiento 91.9% y pocas emisiones de NOx (menos de 70mg/kWh), constan de un quemador atmosférico de dos etapas dotado de encendido electrónico con control de llama por ionización. El encendido parcial (1ª etapa) o total (1ª + 2ª etapa) del quemador permite al aparato suministrar dos diferentes potencias, en función del requerimiento de la instalación.

ESPECIFICACIONES CALDERA E.R.M.

POTENCIA TÉRMICA P.C.I.	280 KW
POTENCIA TÉRMICA ÚTIL	255 KW
RENDIMIENTO ÚTIL 100% P.MÁX	91.9 %
RENDIMIENTO ÚTIL 30% P.MÁX	90.7 %
CONTENIDO AGUA	70 LITROS
PRESIÓN DE TRABAJO	6 BAR
PRESIÓN MÍNIMA	0.4 BAR
TEMPERATURA MÁXIMA	100
Nº RAMPAS DEL QUEMADOR	15



El consumo de estas calderas viene dado en función de la temperatura ambiente y de la cantidad de gas a calentar a modo de ejemplo pondré los siguientes días:

	25 JULIO	31 ENERO
GASTO GAS TURBINA DE GAS	407.000 m^3	462.000 m^3
GASTO GAS POSTCOMBUSTIÓN	NO TIENE	41900 m^3
GASTO GAS CALDERA ERM	270 m^3	500 m^3
GENERACIÓN ELECTRICIDAD	1.698.000 KW	1.913.000 KW
PRODUCCIÓN TOTAL DE VAPOR	2241 TN	2771 TN

PRODUCCIÓN VAPOR 64 BAR	1804 TN	2317 TN
PRODUCCIÓN VAPOR 4 BAR	437 TN	454 TN

En el año 2012 el consumo de gas de esta caldera fue de:

- **136426 NM3**
- **PCS: 11,812 KWh/NM3 Y PCI: 10,654 KWh/NM3**

Los intercambiadores de calor (agua caliente – gas natural) de la ERM son los siguientes:



Son de tipo carcasa y tubos y como indica su nombre este tipo de intercambiador de calor consta de un gran recipiente a presión (carcasa) con un haz de tubos en su interior. El gas natural pasa a través de los tubos y el agua caliente por fuera de los tubos (a través de la carcasa) para transmitir el calor entre los dos fluidos.

Los intercambiadores constan de calorifugado para que la pérdida de calor al exterior sea mínima.

Las especificaciones de los intercambiadores son las siguientes:

	CARCASA	TUBOS
FLUIDO	AGUA	GAS NATURAL
PRESIÓN DISEÑO	4 BAR	72 BAR
TEMPERATURA DE DISEÑO	90 °C	55 °C
PRESIÓN DE PRUEBA	6 BAR	108 BAR

Expansión del gas:

Si el gas tiene más presión de la que se necesita, deberá atravesar unas válvulas reductoras de presión hasta ajustarse a la necesaria.



Medida:

La compañía suministradora necesita, para facturar, que se instalen caudalímetros para saber el caudal de gas consumido. Además, hay que tener en cuenta que el gas no se factura por volumen o peso, sino que se factura como energía (actualmente se hace por kWh). Por tanto, es necesario saber cuál es el poder calorífico del gas, pues el caudalímetro nos dará volumen de gas que ha atravesado la línea. Para conocer este poder calorífico en las instalaciones grandes se instala un cromatógrafo, debidamente calibrado, que se encargue de aportar el dato de la composición y el poder calorífico del gas.

Los caudalímetros, correctores y cromatógrafos están duplicados, pues las cantidades de dinero que se facturan a través de ello justifican sobradamente la instalación de equipos de reserva. La medida dada por el caudalímetro es corregida en un corrector por presión, temperatura y coeficiente de compresibilidad, y registrada continuamente. Hoy en día las compañías de gas suelen exigir la instalación de equipos de telemedida, de manera que la compañías reciben las medidas en tiempo real.

Filtrado fino:

Un filtrado más exhaustivo es necesario antes de inyectar el gas a la turbina. Para ello se instalan unos filtros más finos justo antes de entrar en ésta.

Calentamiento:

Antes de entrar en la turbina o en el motor alternativo, y para una correcta combustión, el gas ajustado en presión, se calienta nuevamente, ya ajustado en presión y

temperatura puede alcanzar temperaturas de entre 25 y 140 °C en la entrada. Para este calentamiento se emplea vapor del sistema, utilizando intercambiadores. Esta es una forma de ahorro de energía si utilizamos vapor de baja presión excedente.

CONCLUSIONES

Como se explicó al principio, la modificación propuesta tiene la finalidad de reducir lo máximo posible el consumo de gas natural que se emplea en las calderas de la ERM para el calentamiento del gas que se destina a las turbinas de gas, empleando para ello el calor procedente del agua del tanque del desgasificador, que emplea vapor procedente de la caldera para calentarse.

La incorporación de esta mejora supone un ahorro económico considerable al no requerir el empleo de gas natural en las calderas de la E.R.M. como se ve a continuación:

El consumo actual de las calderas de la E.R.M. anualmente se encuentra en los 136426 Nm³ con un PCS 11,812KW/NM³ y PCI 10,654KW/NM³ mediante el aprovechamiento del agua del desgasificador este consumo se reducirá a únicamente el 5% del consumo actual, o incluso inferior, siendo únicamente necesario el empleo de esta caldera en los periodos de arranque, cuando aún el desgasificador no haya alcanzado la temperatura de funcionamiento (alrededor de 100 °C). Dentro de este 5% se incluyen también las pérdidas ocasionadas por el enfriamiento producido en el agua por la calefacción del gas natural.

El consumo de calor sufrido por el agua procedente del desgasificador es mínimo, únicamente suponiendo un coste en la situación en la que empleemos postcombustión para generar vapor en momentos muy puntuales, ya que en la caldera por lo general se tiene exceso de vapor cuando no se requiere en los procesos industriales de la fábrica.

Como ventaja añadida el agua empleada en el calentador retorna al desgasificador por lo que el costo es la energía empleada en el intercambiador es prácticamente nula.

El coste actual por MWh es de 23€, el consumo anual es de 1611.46 MWh (Nm³ * PCI) lo cual supone un gasto de anual de 37063.58€, tras la implementación de la línea se reduce en 80.57 MWh y el precio a 1853.11€.

Dicho valor se incrementara con el incremento del valor del gas natural en el futuro.

La incorporación de esta mejora actualmente resulta especialmente interesante debido a la pérdida de las subvenciones en el coste del gas natural, siendo necesaria la optimización de la planta lo máximo posible.

Además debido en parte a la cercanía del desgasificador con las estación de regulación y medida y a que no resulta necesario emplear acero inoxidable en la línea porque el agua empleada en el tanque está tratada, se estima que el coste de esta instalación se amortiza en menos de cuatro meses resultando su instalación muy rentable incluso a corto plazo.

PRESUPUESTO

La finalidad de este trabajo es realizar un estudio un estudio técnico siendo este un presupuesto estimado.

Estimación del presupuesto:

- Válvula 2 vías 230€, servomotor 200€ = 530€
- Tubería cobre calorifugada 23,25€/m * 50m * 2= 2325€
- Soportes y empalmes de tuberías= 200€
- Sonda Pt100 con convertidor 118,20€ * 2= 236.4€
- Controlador temperatura electrónico= 166€
- Bomba de circulación= 500€
- Válvulas solenoide 100€ *6 = 600€
- **Total Materiales= 4557.4€**
- Personal (5 operarios una semana)= 2000€
- Costes seguridad= 500€
- **Total partidas= 7057.4€**
- Gastos licencias y trámites(10%)= 705.74€
- IVA(21%)= 1482€
- Costes Projectista= 1500€
- **Presupuesto general para el cliente= 10745.2€**

El presupuesto final del proyecto asciende a la cantidad de DIEZ MIL SETECIENTOS CUARENTA Y CINCO CON DOS euros.

BIBLIOGRAFÍA:

•Centrales térmicas de ciclo combinado : teoría y proyecto / Santiago Sabugal García, Florentino Gómez Moñux.

•Cogeneración. Diseño, operación y mantenimiento de plantas. Editorial: Diaz de Santos.

•Manual Caldera pegasus LN (web):

www.ferroli.es/descarga.php%3Fa%3DManual-Instrucciones-PEGASUS-LN-2S-119-289.pdf+%&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=es

•Opex-energy(web):

<http://opex-energy.com/ciclos/estacion/regulacion/medida.html>

•Manual Turbina de Gas LM6000 (web):

<http://www.tuten.net/power/pdf/lm6000/sprint.pdf>

•Estación ERM (web):

<http://www.oocities.org/guri1999/patio.html>

•Intercambiadores (web):

http://195.33.167.185/opencms/opencms/gib/es/products/Other_GEA_Products/shell-tube.html

- Costo Gas natural (web):

<http://www.labolsa.com/mercado/GAS/5a/>

- Foto Turbina de Gas Lm6000pc (web):

http://www.industrialgeneratorsforsale.com/wp-content/uploads/wpsc/product_images/LM%206000%20PC%20Sprint%20Turbine%20Packages.jpg

ANEXO I:**Planos descriptivos de la planta:**

Plano 1: Central cogeneración.

Plano 2: Instalación línea de agua caliente.

Plano 3: Disposición Líneas.

Plano 4: ERM (estación regulación y medida).