

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



“Manual de Proceso de operación de Turbo Generador de
Condensación 22 MW del Ingenio Pantaleón”

Trabajo de graduación en la modalidad de Trabajo Profesional
presentado por

Mynor René Cinto González

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala,

2015

“Manual de Proceso de operación de Turbo Generador de
Condensación 22 MW del Ingenio Pantaleón”

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



“Manual de Proceso de operación de Turbo Generador de
Condensación 22 MW del Ingenio Pantaleón”

Trabajo de graduación en la modalidad de Trabajo Profesional
presentado por

Mynor René Cinto González

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala,

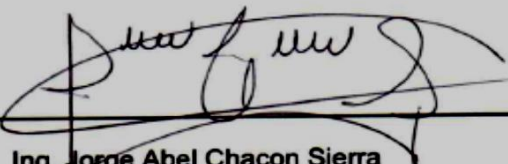
2015

Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Carlos Enrique López Silvestre

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Carlos Enrique López Silvestre

(f) 
Ing. Jorge Abel Chacon Sierra

(f) 
Ing. Alejandra Bonilla Barrera

Fecha de aprobación: Guatemala 27 enero 2015.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VIII
RESUMEN	X
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. MARCO TEÓRICO	4
A. Panorama general del proceso.....	4
B. Transformación de la energía	4
C. Sistemas principales en planta termoeléctrica	4
D. Equipos para generar vapor.....	5
E. Equipos para generar energía eléctrica.....	5
F. Sistema nacional de generación de energía eléctrica.....	5
G. Conceptos generales	6
1. Descripción de la planta termoeléctrica	7
2. Importancia de los procedimientos de operación	9
H. Equipo para generación de vapor	9
1. Caldera	9
2. Equipo auxiliar de la caldera	13
3. Quemadores de petróleo	16
4. Sistema de alimentación de bagazo.....	20
5. Circuito de condensados	21
6. Sistemas de control de la caldera	23
I. Equipo para generación de electricidad.....	26

1. Turbogenerador eléctrico	26
2. Partes principales de la turbina	26
3. Sistema auxiliar de la turbina.....	29
4. Partes de un generador eléctrico	31
5. Sistema de distribución eléctrica.....	33
6. Protecciones y controles del turbogenerador.....	34
7. Equipo para suministro de agua.....	35
J. PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN	38
1. Procedimientos para el arranque en frío.....	39
2. Procedimientos de arranque en caliente.....	62
3. Procedimientos de parada	67
4. Procedimientos de operación normal	69
5. Normas de seguridad industrial.....	74
V. CONCLUSIONES.....	77
VI. RECOMENDACIONES	78
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	79
VIII. GLOSARIO	80

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Caldera acuotubular	6
2	Circuito de condensados de planta termoeléctrica	19
3	Sistema de control de presión en la caldera	23
4	Sistema de control de tiro en el hogar de la caldera	24
5	Toberas	26
6	Flujo de toberas	26
7	Torre de enfriamiento	36

ÍNDICE DE TABLAS

1	Curva de arranque de la caldera	52
2	Incremento de carga eléctrica en el turbogenerador	60

LISTA DE SÍMBOLOS

Klb/h	Flujo de vapor medido en miles de libras por hora.
Psi	Dimensional de la presión manométrica, por sus siglas en inglés Pound square inch gauge (libras por pulgada cuadrada).
°F	Unidad de medida de la temperatura en grados Fahrenheit.
°C	Unidad de medida de la temperatura en grados centígrados o Celsius.
Kw	Kilo-watt, medida de la potencia eléctrica.
Rpm	Revoluciones por minuto, medida de la velocidad angular.
Kva	Kilovatios-ampere dimensional de energía eléctrica.
Vac	Voltaje de corriente alterna, dimensional de energía eléctrica.
Vdc	Voltaje de corriente continua, dimensional de energía eléctrica.
Gpm	Galones por minuto, medida del caudal de un líquido.
%	Porcentaje, fracción decimal de una cantidad.
Btu	Unidad de medida de la energía en el sistema inglés, por sus siglas en inglés British Thermal Unit.

Mw	Mega-watt dimensional de potencia eléctrica.
	Unidad de medida de la potencia de un motor eléctrico, por
Hp	sus siglas en inglés Horse Power.
Ph	Potencial de hidrogeno, indicador de la acidez o alcalinidad de una sustancia química.
Hz	Hertz, unidad de medida de los ciclos por segundo de una máquina.
Mw/h	Mega-watt-hora, unidad de potencia eléctrica.
Rtd	Detector de temperatura en base a la resistencia.
Acm	Medidor de control eléctrico avanzado.
Mva	Megavoltios-ampere, potencia aparente de un circuito eléctrico.
Gwh	Dimensional de potencia eléctrica, en gigas-watts-hora.
	Dimensional de voltaje eléctrico medida en
Kv	kilovoltios.

RESUMEN

La energía eléctrica generada en la planta eléctrica del ingenio es utilizada como respaldo o autoconsumo para el accionamiento de los equipos motrices necesarios para el proceso de fabricación del azúcar y el excedente de esta energía es vendida y suministrada al sistema de electrificación nacional.

En la planta termoeléctrica en mención, los equipos utilizados para la transformación de la energía se componen, en parte, de instrumentos electrónicos de alta tecnología y de equipos usados provenientes del extranjero, esta diversidad de maquinaria ha provocado un déficit de información debido a los manuales existentes que sean obsoletos y no cumplan con los requisitos necesarios para una operación confiable y una buena capacitación para el personal.

Este documento, describe una guía de procedimientos de operación para la planta termoeléctrica del ingenio azucarero, en el cual se determinan las normas, criterios, procedimientos y maniobras a seguir para la preparación, arranque, paro y operación normal de la planta. Al seguir esta guía de operación se reducirán los tiempos perdidos en los arranques y paradas al seguir una secuencia lógica y estandarizada, de esta manera se obtendrá una reducción de los costos de operación y de mantenimiento, logrando una mayor disponibilidad y confiabilidad de la planta termoeléctrica.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad ante el incremento del costo de los combustibles, la competitividad en los mercados energéticos y las fuertes exigencias medioambientales, las plantas termoeléctricas han tenido que buscar nuevas maneras o métodos tecnológicos para producir energía de la forma más eficiente, a menor costo, y cumpliendo con las exigencias ambientales.

La planta termoeléctrica se encuentra en la disposición de evaluar los métodos y procedimientos que permitan eficientar la producción y utilización de la energía y colocarse a mediano plazo en un nivel más competitivo.

Para entender la situación actual, en la primera parte del trabajo se hace una breve descripción del ciclo termodinámico de la planta termoeléctrica, donde, además, se realiza una monografía del lugar, también se define la importancia de los procedimientos operativos en una planta industrial.

En la segunda y tercera parte, se hace una descripción detallada del equipo principal y auxiliar para la generación de electricidad, como también las variables más importantes del proceso.

En la cuarta sección, se define el tema central del presente trabajo donde se describen las normas, los criterios, procedimientos y maniobras a seguir para la preparación, arranque, paro y operación normal, como también las pruebas rutinarias y no rutinarias en la planta termoeléctrica, en la última parte de esta investigación se describen los factores más importantes que afectan la eficiencia y los puntos de ahorro de energía en la planta termoeléctrica.

II. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Crear un manual de fácil comprensión dentro del cual se darán los lineamientos para la correcta operación de los equipos de la caldera, turbina, y generador, con la finalidad de garantizar la continuidad del proceso de la planta termoeléctrica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Proporcionar una guía práctica de inducción en la operación del turbogenerador y caldera para el personal nuevo.

Controlar el funcionamiento de los equipos de la planta termoeléctrica, mediante la estandarización del proceso de generación de energía eléctrica.

Lograr un criterio común de operación en todo el personal de la planta termoeléctrica.

Identificar procedimientos operativos de arranque, parada y operación normal para mantener la vida útil de los equipos de la planta.

III. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo, surgió de la necesidad de proveer a todo el personal de la planta termoeléctrica de un documento permanente único, que les brinde información y funcionamiento de los componentes principales, las normas y recomendaciones técnicas sobre la secuencia y criterios que deben seguir para llevar a cabo, de una forma estandarizada y eficiente todos los procedimientos de operación, arranque y parada de la planta termoeléctrica, además dicho documento tiene una aplicación directa para la capacitación e inducción del personal nuevo dentro de la planta.

El proceso operativo debe ser en esencia independiente de los individuos, de modo que cualquier persona capacitada adecuadamente pueda hacer que el sistema funcione eficientemente; un sistema bien documentado debe permitir que un proceso establecido continúe operando eficientemente sin importar la rotación del recurso humano.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Panorama general del proceso

Las calderas convierten la energía química del combustible (Bagazo o Aceite No. 6) a energía térmica la cual a su vez se utiliza para calentar el agua de alta calidad (agua de alimentación) para producir vapor de alta temperatura y presión. El vapor a alta presión se supe al sistema de vapor para impulsar el generador de la turbina de vapor y servir suministro a varios sistemas y componentes de la planta eléctrica. (Mejía Ramírez, Rudecindo. 1996. *Máquinas de Vapor y Turbinas Hidráulicas*. Ingenio Pantaleón. ACCMYS)

B. Transformación de la energía

Se denomina planta termoeléctrica al conjunto de máquinas motrices térmicas, generadores eléctricos, aparatos de maniobra y protección, que sirven para la producción de energía eléctrica. En la planta se obtiene la producción de energía eléctrica partiendo de la energía latente del combustible, esta transformación se efectúa en cuatro etapas.

1. Transformar energía latente del combustible en calor.
2. Transformar calor en energía potencial del vapor.
3. Transformar energía del vapor en energía mecánica.
4. Transformar energía mecánica en energía eléctrica. (Batres, Luis Pedro. 2008. *Beneficios Económicos de Instalar una Planta Co-Generadora de Energía en Guatemala*. Tesis Universidad Pontificia Comillas. España, Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingeniería. 73 págs.)

C. Sistemas principales en planta termoeléctrica

Elementos de control vitales para el buen funcionamiento tanto de la caldera como del turbogenerador en forma automática.

1. Sistema de agua alimentación.

2. Sistema de combustible.
3. Sistema de agua enfriamiento.
4. Sistema de vapor. (Ochoa Castillo, Edgar Baldemar. *Montaje y Pruebas de un Turbo Generador de Condensación Enfriado por Hidrogeno*. Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de Ingeniería. 61 págs.)

D. Equipos para generar vapor

Los dispositivos principales en el proceso de generar vapor.

1. Caldera.
2. Equipos auxiliares de caldera.
3. Quemadores de petróleo.
4. Alimentadores de bagazo. (Ochoa Castillo, Edgar Baldemar. *Montaje y Pruebas de un Turbo Generador de Condensación Enfriado por Hidrogeno*. Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de Ingeniería. 61 págs.)

E. Equipos para generar energía eléctrica

1. Turbina de vapor.
2. Sistema auxiliar de turbina.
3. Generador eléctrico.
4. Distribución eléctrica. (General Electric. 1948. *Steam Turbine Generator Manual*. Hill city, Kansas. Turbine- Generator Unit No. 2.)

F. Sistema nacional de generación de energía eléctrica

El sistema de generación está conformado por centrales hidroeléctricas, turbinas de vapor, turbinas de gas, motores de combustión interna y centrales geotérmicas. El proceso de generación de energía no está sujeto a autorización del Ministerio de Energía y Minas, salvo aquellas que hacen uso de bienes de dominio público.

1. Sistema de transporte

Está conformado por el sistema principal y el sistema secundario. Estando el sistema principal compartido por los generadores y las interconexiones a otros países, y operando a 3

niveles de voltaje; 230, 13.8 y 69 kv. El secundario es la conexión entre el generador y la red principal.

2. Sistema de distribución

Está conformado por la infraestructura de distribución, líneas, subestaciones, y las redes de distribución, que operan a tensiones menores a 34.5 kv. Las principales distribuidoras son: EEGSA, DEOCSA Y DEORSA.

3. Mercado eléctrico

El mercado de energía eléctrica está constituido por el Mercado Regulado y el Mercado Mayorista. Mercado Regulado; por la demanda son los usuarios con potencia menor a 100 kW. Por la oferta distribuidoras autorizadas dentro de su zona de cobertura. Mercado Mayorista; las operaciones en este mercado se realizan bajo las NCC, por medio de Mercado Spot, Mercado a Término y el Mercado de Transacciones.

G. Conceptos generales

El objetivo principal de este capítulo es hacer una breve descripción de las etapas del proceso termodinámico y las áreas que componen la planta térmica, Lo anterior servirá para que el lector se forme una idea general sobre como es el funcionamiento de la planta termoeléctrica; así al citar más adelante cualquier parte del proceso, se tendrá una idea clara de lo que se está hablando.

La planta de energía térmica está compuesta por varios pasos para convertir la energía química del combustible en energía eléctrica producida por el generador. Este proceso requiere de procesos intermedios (pasos) y esto es lo que se conoce como el ciclo de la central eléctrica. El primer proceso es convertir la energía química del combustible a energía de calor (térmica) en el vapor, el segundo proceso de conversión ocurre a la salida de la turbina, aquí se remueve la mayoría de energía térmica del vapor y se convierte a energía mecánica para girar el generador. El tercer proceso ocurre en el generador donde la energía mecánica de la turbina se convierte en energía eléctrica.

1. Descripción de la planta termoeléctrica

a. Transformación de la energía

Una central de energía puede interpretarse como una “fábrica de conversión de energía” que convierte una forma de energía a otra. En la planta eléctrica se utilizan cuatro formas de energía: energía química, energía mecánica, energía calorífica y energía eléctrica.

La energía química se encuentra atrapada en los enlaces moleculares de los combustibles, esta energía se libera cuando el oxígeno y el calor se suministran para quemar el combustible.

La energía calorífica es el producto de la temperatura y la presión de una sustancia. Existen dos tipos de energía, energía interna (u) y energía de presión y volumen ($p-v$). La cantidad de energía total en una sustancia se mide como la entalpía. La entalpía es la suma de la energía interna y su energía de presión y volumen, se expresa en BTU/lb.

La energía mecánica está constituida por dos componentes diferentes, energía potencial y energía cinética. La energía potencial de un objeto es resultado de su distancia o su elevación.

La energía cinética es la que contiene un objeto como resultado de su velocidad. La energía calorífica se convierte usualmente en energía mecánica utilizando un sistema de pistón y cilindro.

El vapor hace el trabajo ejerciendo una fuerza en el pistón, hace que el volumen del vapor aumente según la presión y la energía de calor disminuye. La diferencia en la energía calorífica del vapor antes y después de la expansión es la energía que fue convertida en energía mecánica, que hace el trabajo de mover el rotor del turbogenerador.

La energía eléctrica es el resultado del flujo de electrones a través de un conductor. La turbina realiza trabajo en el generador ejerciendo una fuerza (torsión) mientras mueve al mismo, entonces el generador convierte energía mecánica a energía eléctrica.

b. Datos generales de la caldera

Presión	850 psi
Temperatura vapor de operación	900 °F
Producción vapor	210,000 Lb Vapor
Año instalación	1995

c. Datos generales del turbogenerador

GENERAL ELECTRIC					
TURBINE - GENERATOR					
STEAM TURBINE					
No.	128447				
Rated	22000	Kw	Rpm	3600	
Steam Pressure	850	psig	Temp.	900	°F
Stages	14	Exhaust Pressure	2	In Hg Abs.	
GENERATOR					
No.	8287197	Hidrogen Cooled	Rating	Capability	Capability
Type	ATB	Gas Pressure	0.5 Psig	15 Psig	30 Psig
Poles	2	Kva	23.529	27.058	29.412
Volts	14400	Kilowatts	20,000	23,000	25,000
Excitation	250 Volts	Armature Amp	943	1085	1179
		Field Amp	319	346	365
		Power Factor	0.85	0.85	0.85

d. Datos generales de la torre de enfriamiento

Fabricante	Marley cooling tower company
Tipo	Tiro mecánico a contracorriente
Capacidad	240,000 galones de agua
Condensador	Intercambiador tipo concha, 2 pasos
Suministro agua de enfriamiento	Bomba de recirculación 18000 Gpm

2. Importancia de los procedimientos de operación

La necesidad de aplicar controles más efectivos en las operaciones, para garantizar la seguridad del personal, la integridad de los equipos y la eficiente continuidad del proceso, obliga a buscar medios y utilizar métodos o procedimientos en el área de trabajo, especialmente en aquellos donde el funcionamiento o las condiciones son muy críticas, al operar correctamente se estará previniendo accidentes, lo cual redundará en la continuidad del proceso productivo, reducción de costos por disminuir las paradas de las unidades, mayor calidad y disponibilidad.

El objetivo es que el proceso operativo sea principalmente independiente de los individuos, de modo que cualquier persona capacitada y experimentada pueda hacer que el sistema funcione; un procedimiento bien documentado debe permitir que un proceso establecido continúe a pesar de que un empleado importante tome el día libre o, que de improviso, abandone la compañía. La documentación sirve también para inducir y capacitar al nuevo personal, ya que garantiza que éste siempre reciba el mismo tipo de capacitación y fomenta un desempeño uniforme cuando se cambia de personal. Los procedimientos son una de las partes más importantes del sistema operativo y es un documento que debe reflejar con exactitud la operación que describe, quién es el responsable de las actividades, y cuáles son los registros que surgen de dichas actividades.

Los procedimientos son herramientas vitales y útiles; para garantizar su credibilidad es indispensable que se revisen con periodicidad con el fin de reflejar los métodos actuales, ésta es una parte esencial del proceso.

H. Equipo para generación de vapor

1. Caldera

“El término caldera se aplica a un dispositivo para generar vapor para procesos industriales, calefacción, para uso general o para generación de energía eléctrica. Para facilitar la comprensión a la caldera se le considera un generador de vapor en términos generales.

Las calderas para producción de vapor, por el contenido de los tubos, se clasifican en calderas pirotubulares en ellas el fuego o los gases de combustión pasan por el interior de los tubos y el agua está en el exterior.

En las calderas acuotubular el agua pasa por el interior de los tubos y los gases calientes, producto de la combustión, pasan por el exterior a fin de transferir el calor necesario para elevar la temperatura y llevar a su punto de ebullición dicho líquido.” (Mejoramiento de la eficiencia de operación de calderas de vapor, Instituto tecnológico de Georgia, 1981, 153 págs.)

En la Figura 1 se hace un esquema donde se visualizan las partes más importantes de una caldera acuotubular de dos domos, caso típico de la planta termoeléctrica en mención.

a. Accesorios de la caldera

Los accesorios utilizados en la caldera son: medidores de presión, medidores de temperatura, nivel de agua, regulador del agua de alimentación, válvulas de seguridad, válvulas de purga, sopladores de hollín, indicadores de tiro y aparatos de control.

1) Medición de presión

La presión es la fuerza unitaria aplicada sobre una unidad de área por un fluido líquido o gaseoso; está fuerza del mismo modo actúa sobre las paredes de un recipiente. En unidades inglesas se expresa en libras por pulgada cuadrada (psi), y en el sistema internacional de medidas, en kilogramo por centímetro cuadrado. Los manómetros son instrumentos utilizados para la medición de la presión manométrica local de los diferentes procesos de la caldera, los más utilizados son los manómetros de Bourdon y de diafragma.

2) Medición de temperatura

Para el monitoreo de la temperatura la planta dispone de termómetros mecánicos los más utilizados son el de tipo bimetálico y el termómetro de gas o líquido, estos termómetros son de lectura local, para la lectura remota se utilizan los termómetros a base de resistencia RTD y los termopares. La operación de la RTD se basa en el principio de que la resistencia eléctrica de un conductor metálico varía linealmente con la temperatura, estos medidores electrónicos se emplean para la comprobación de las lecturas mecánicas.

3) Indicadores de nivel

Para la medición de nivel de la caldera se cuenta con tres dispositivos para la comprobación, esto se debe a que el agua es un punto crítico para el funcionamiento de la unidad, y se requiere de una medición exacta, por tanto consta de:

- a) Medidores de nivel visual, colocados en los extremos del domo superior de la caldera y para la verificación del nivel el operador tiene que observar el medidor físicamente.
- b) Comprobación de nivel por medio de luces, este es un medidor eléctrico en el cual se tiene 5 luces piloto o posiciones, cada posición o nivel está previamente calibrado y representa el nivel real de agua en la caldera.
- c) Comprobación de nivel desde una pantalla, este es un medidor de nivel electrónico de presión diferencial que funciona por medio de una celda de nivel instalada en el domo superior de la caldera el cual censa continuamente el nivel y transfiere esta información a monitores remotos.

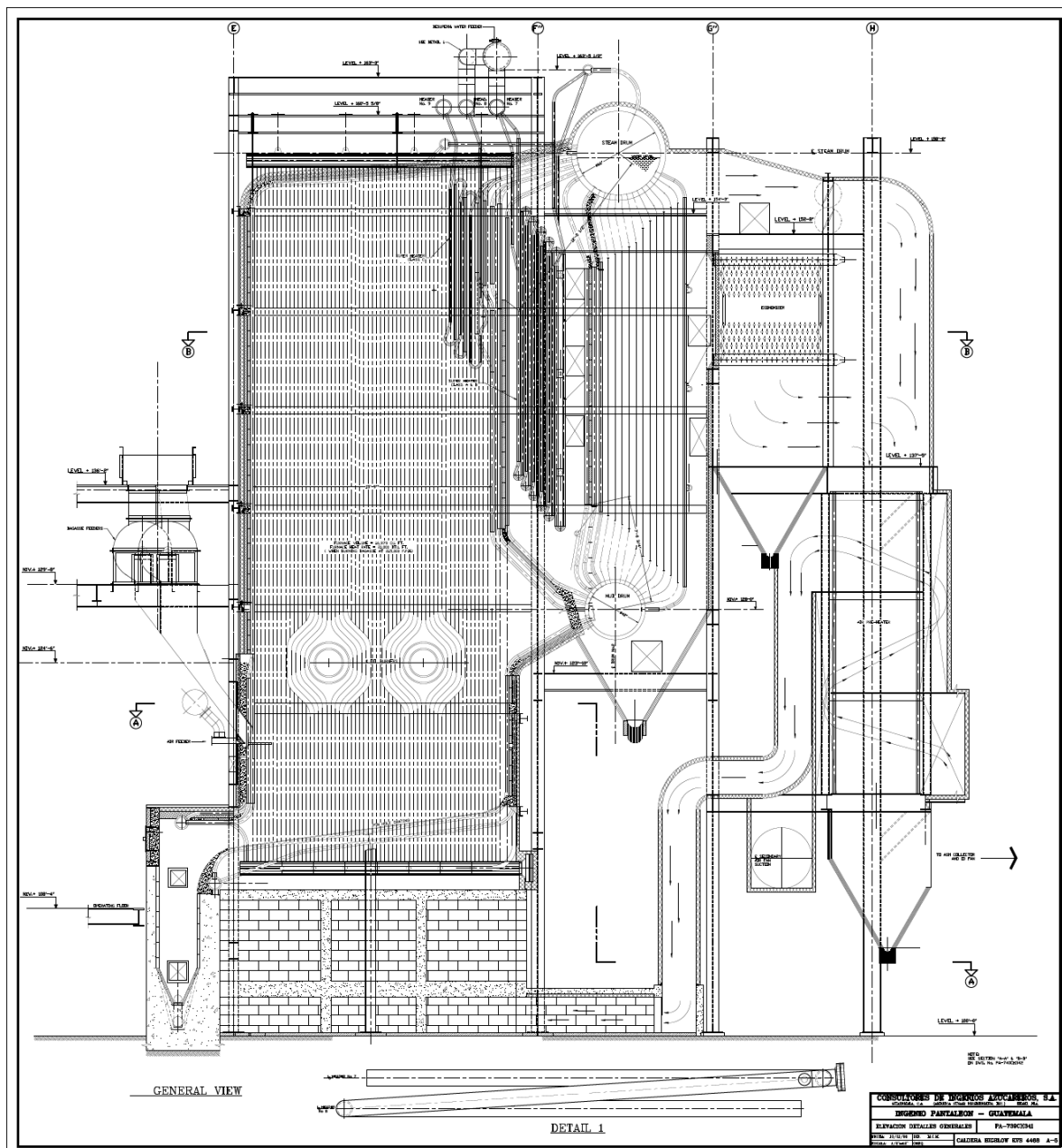
4) Medidores de flujo

Son dispositivos de control de flujo instantáneo o caudal que puede cambiar de un momento a otro, los más utilizados en la industria son los de placa de orificio y los medidores que utilizan el principio del venturí. La utilidad primordial para utilizar sistemas de medición de flujo; son el conteo, la evaluación del funcionamiento, la investigación y el control de procesos.

5) Válvulas de purga

Están situadas en la parte más baja de la caldera; se utilizan para eliminar cierta cantidad de agua con el propósito de extraer de la caldera los lodos, sedimentos y espumas. Se utiliza también como medida de eliminación de agua del sistema de la caldera de manera que pueda añadirse agua nueva para mantener la concentración de los sólidos por debajo del punto donde puede haber dificultades.

Figura 1. Caldera acuotubular



Fuente: plano de caldera 5ª.

6) Válvulas de seguridad

“Es un mecanismo de alivio de presión y se utiliza para impedir que en la caldera se desarrollen presiones de vapor excesivas, abriéndose automáticamente a una presión determinada y dejando escapar el vapor, el accionamiento debe ser de apertura rápida para

trabajar y rebajar la presión inmediatamente.” (Anthony L. Kohan. Manual de calderas. España: Editorial McGraw-Hill, 2000 p.364)

La caldera dispone de cuatro válvulas de seguridad como medida de protección contra elevadas presiones estas se calibran por arriba de la presión de operación normal, siendo estas 905 psi, 900 psi, 895 psi, 890 psi. Estas calibraciones son válidas para una caldera operando a 850 psi. Las válvulas de seguridad del sobrecalentador deberán estar siempre ajustadas a una presión menor que las válvulas de seguridad del domo, de modo que se asegure el flujo de vapor a través del sobrecalentador en cualquier circunstancia.

7) Sopladores mecánicos de hollín

Durante el funcionamiento de la caldera, se depositan sobre la tubería hollín y ceniza, estas sustancias son aislantes térmicos que reducen la transferencia de calor, el rendimiento de la caldera disminuye a medida que crece el espesor de la incrustación, los sopladores de hollín están instalados en la caldera y situados de manera que todas las superficies de transferencia de calor sometidas a la acumulación de hollín puedan limpiarse con vapor y eliminar el hollín de la caldera, por medio de la chimenea.

Para la limpieza de la caldera se cuenta con 16 sopladores de hollín, los cuales están distribuidos uniformemente en las áreas de mayor incrustación y ensuciamiento, estos sopladores son de dos tipos: 12 sopladores estacionarios que giran sobre su propio eje y permanecen en el interior de la caldera, están refrigerados por una corriente de aire para evitar pandeo o deformaciones del tubo que realiza el soplado, estos generalmente están calibrados para trabajar con 150 psi de vapor para la limpieza de la tubería y movidos mecánicamente por un sistema de engranaje y un volante girado por el operador de caldera.

El segundo tipo: 4 sopladores retráctiles, este tiene la particularidad de tener desplazamiento perpendicular a la tubería y para realizar la limpieza debe de introducirse al hogar, estos son accionados por motores eléctricos.

2. Equipo auxiliar de la caldera

A continuación se describen los equipos auxiliares más relevantes con los que debe de contar una caldera de vapor para la generación de electricidad.

a. Parrilla

Es una estructura metálica estacionaria utilizada para sostener el bagazo en el hogar y a dar paso al aire secundario para la combustión, la parrilla tiene un ancho de 229 pulgadas y un largo de 383 pulgadas, está compuesta por planchas de hierro fundido de $5 \frac{7}{8}$ pulgadas de ancho, $2 \frac{1}{8}$ pulgadas de espesor y 12 pulgadas de largo, sujetas con tornillos tipo herradura, para evitar el movimiento ante las altas temperaturas que éstas soportan, las planchas con toberas, que se encuentran unidas a una tubería de vapor de $1 \frac{1}{2}$ pulgadas, mediante unas juntas de expansión, estas toberas se utilizan para la limpieza de la parrilla mediante un flujo de vapor seco.

b. Hogar

El hogar o cámara de combustión es el lugar donde se realiza la combustión del combustible, y está compuesta por las paredes de agua, sobre calentadores, parrilla y tubería de convección.

c. Paredes de agua

Las paredes de agua constan de tubos verticales relativamente próximos y conformando los cuatro muros o paredes del hogar, y fueron diseñados para enfriar y proteger el revestimiento del refractario del hogar, absorber calor del hogar para incrementar la capacidad de la unidad generadora y hacer sello en la caldera.

d. Superficie de vapor

La caldera básicamente consta de dos partes principales: la cámara de agua que es el espacio que ocupa el agua en el interior de la caldera. La cámara de vapor que el espacio ocupado por el vapor en el interior de la caldera, en ella debe separarse el vapor del agua que lleve en suspensión, cuanto más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara, de manera que aumente también la distancia entre el nivel del agua y la toma de vapor.

e. Sobrecalentadores (superheater)

Cada presión de vapor saturado tiene su temperatura correspondiente, el calor añadido al vapor seco a presión constante se conoce como sobrecalentamiento y da como resultado una mayor temperatura que la indicada en la curva para la presión correspondiente, el sobrecalentamiento se da cuando el vapor saturado sale del domo superior de la caldera y es conducido a un banco de tuberías en donde el vapor absorbe mayor cantidad de energía por radiación y convección.

Las ventajas del vapor sobrecalentado son: 1) El trabajo puede realizarse a través de sobrecalentamiento antes de que tenga lugar la condensación, 2) Este periodo de trabajo realizado con vapor seco elimina los efectos corrosivos y agresivos del condensado, además se incrementa la eficiencia de caldera, una temperatura constante del vapor sobrecalentado se requiere ya que la turbina de vapor está diseñada para trabajar a 900°F de vapor a la cual trabaja con mayor eficiencia.

f. Equipos de recuperación de calor

Con la finalidad de aprovechar al máximo el calor generado por los gases de combustión en la caldera, con el consecuente ahorro de combustible, es recomendable la instalación de equipo especial para la recuperación de calor.

1) Economizador

En la caldera, el economizador constituye un segmento de superficie de intercambio de calor, que tiene como objetivo recuperar parte de la energía de los gases de combustión para transferirlo como calor sensible al agua de alimentación de la caldera. Este calor añadido mejora la eficiencia del generador de vapor. El economizador no es más que un intercambiador de calor, diseñado para transferir el calor excedente de los gases a un fluido, generalmente agua de alimentación para la caldera, un economizador típico consiste en un arreglo de tubos dentro de los cuales circula el agua de alimentación para la caldera antes de entrar a ella; los gases de combustión pasan por fuera, a través del arreglo de tubos, cediendo parte de su calor al agua contenida en ellos.

2) Precalentador de aire

El Precalentador tiene como finalidad calentar el aire de ingreso de la combustión; el calor que se recupera de los gases se mezcla en la cámara de aire junto con el aire de combustión y cuando se agrega a la energía térmica liberada por el combustible, se convierte en energía disponible.

El uso de aire precalentado para la combustión acelera la ignición y fomenta una combustión rápida y completa del combustible. Las ventajas que se obtienen con precalentar el aire de combustión:

- a) Incremento en la producción de vapor de la caldera.
- b) Aprovechamiento del calor que de otra forma se perdería, lo que significa aumento del rendimiento de la unidad generadora de vapor o economizar uso del combustible.

3. Quemadores de petróleo

Los quemadores son los equipos de mayor importancia en la caldera de vapor, pues de ellos depende la transformación de la energía contenida en el combustible en energía térmica, a continuación se describen los aspectos más importantes.

a. Proceso básico de combustión

Es una forma especial de oxidación en el que el oxígeno del aire se combina con elementos combustibles, que generalmente son carbono, hidrógeno y en menor escala azufre. Se necesita una mezcla adecuada de combustible y aire, así como una temperatura de ignición para que el proceso de combustión continúe, las reacciones químicas deben satisfacer tres condiciones para que tenga lugar el proceso de combustión:

- Es necesaria una adecuada proporción entre combustible y oxígeno con los elementos combustibles.
- La mezcla de combustible y aire debe de llevarse a cabo, de modo que una mezcla uniforme esté presente en la zona de combustión y así cada partícula de combustible tenga aire alrededor para ayudar a la combustión.

- La temperatura de ignición se establecerá y será monitorizada de forma que el combustible continúe su ignición sin calor externo cuando la combustión arranque. Los elementos fundamentales que producen calor en los combustibles son el carbono, el hidrógeno y sus compuestos; el azufre cuando se oxida rápidamente, es también fuente de alguna energía térmica, pero su presencia en los combustibles presenta efectos nocivos.

b. Aire

El oxígeno para la combustión generalmente proviene del aire, donde se encuentra en una proporción de un 21% del volumen total, la mayor parte del 79% remanente es nitrógeno. El nitrógeno es de menor importancia en la producción de calor puesto que solo un porcentaje muy pequeño forma parte de las reacciones químicas de la combustión. Sin embargo, tiene un efecto significativo en la eficiencia de la caldera ya que parte del calor liberado por la reacción de la combustión tiene que ser utilizado para calentar el nitrógeno a la misma temperatura de la llama más baja que si se usara oxígeno puro. Como el oxígeno del aire se conoce puede calcularse la cantidad de aire necesario para la combustión, se denomina aire teórico a la cantidad de aire necesaria para una combustión perfecta.

c. Equipo para el manejo del aire

La diferencia de presión, conocida comúnmente como tiro se suele expresar en milímetros o pulgadas de agua; su medición se hace por encima o por debajo de la presión atmosférica. El tiro es necesario para el buen funcionamiento del hogar de la caldera, con el fin de poderle suministrar el aire necesario para la combustión y arrastrar los gases quemados hacia el exterior a través de la chimenea. El tiro puede ser natural o mecánico, el utilizado en la caldera en mención; es el segundo mediante ventiladores.

Para el suministro del aire necesario para la combustión la caldera cuenta con un ventilador centrífugo de tiro forzado impulsado por un motor eléctrico de velocidad variable que succiona aire a la presión y temperatura ambiente, parte del flujo total de aire es dirigido hacia la parte inferior de la parrilla y es utilizado para la combustión del bagazo que se quema en el hogar, el aire es suministrado en proporción con la cantidad de combustible quemado en el hogar de la caldera a fin de mantener una mezcla de aire y combustible.

Además cuenta con ventiladores de petróleo que succionan aire caliente del tiro forzado a una temperatura de 400°F y 3.5 pulgadas de agua de presión (in H₂O) y lo envían a la cámara de combustión del petróleo a fin de proveer el aire primario necesario para la combustión. El ventilador over fire extraen cierta cantidad de aire del tiro forzado y lo envían mediante ductos a un grupo de toberas que están localizadas en el hogar de la caldera a fin de suministrar aire a presión para distribuir uniformemente el bagazo en la parrilla, esto ayuda a mantener una combustión eficiente y estable.

El tiro inducido, se consigue evacuando los gases de combustión con un ventilador centrífugo colocado entre la caldera y la chimenea. El efecto del tiro inducido es reducir la presión de los gases en la cámara de la caldera por debajo de la presión atmosférica y descargar los gases a la chimenea con una presión mayor que la presión atmosférica.

d. Combustibles

“Aunque combustible es cualquier sustancia que pueda arder, habitualmente se reserva esta denominación para aquellos materiales que son quemados para producir energía calorífica.”
(<http://laenergiadeloscombustibles.blogspot.com>)

El bunker C es un combustible residual de la destilación, es un producto viscoso y con ciertos grados de impurezas, tales como ceras, resinas, así como elementos químicos entre los cuales debe destacar el azufre y vanadio. La viscosidad es una de sus características y debe de ser tomada en cuenta para su manejo adecuado; estos componentes indeseables en el proceso de combustión son los causantes de la mayoría de los problemas encontrados en el normal funcionamiento del sistema de combustible.

e. Ignición

Usualmente la ignición se efectúa agregando calor de una fuente externa a la mezcla, hasta que el calor de las reacciones de la combustión sea mayor que la pérdida de calor al ambiente. La menor temperatura a que esto es posible se denomina la temperatura de ignición de la mezcla aire y combustible.

f. Atomización

La atomización es necesaria para poder quemar el combustible con facilidad, la atomización expone una gran parte de la superficie de las partículas del combustible para entrar en contacto con el aire de la combustión. Esto contribuye a asegurar una pronta ignición y una rápida combustión; los dos tipos más utilizados de atomizadores son a vapor y mecánicos.

g. Quemadores

El quemador es el componente principal del módulo para la combustión del bunker C, sus funciones incluyen la mezcla del combustible y aire, atomización y vaporización del combustible y proveer la continua ignición de la mezcla. El apagón de la llama es el fenómeno que resulta cuando la velocidad de la mezcla excede la velocidad de la llama. El contra fogonazo ocurre cuando la velocidad de la llama excede la velocidad de la mezcla.

h. Relación aire y combustible

Las relaciones de aire y combustible deben de mantenerse a un nivel tan bajo como sea posible con el fin de ahorrar combustible. Sin embargo, es necesario utilizar exceso de aire en la cámara de combustión, y así evitar una combustión incompleta, pudiendo haber riesgo de explosión por ignición retardada del combustible no quemado.

Para asegurar una combustión completa, debe de suministrarse exceso de aire en cantidades que varían entre el 5 y el 15%, dependiendo del combustible utilizado, la carga de la caldera y su configuración. El exceso de aire está también influido por las necesidades de controlar las emisiones de Nox y SO₂. El análisis de los gases de combustión puede utilizarse para calcular el peso de aire utilizado por libra de combustible quemado según la siguiente ecuación:

$$W_a = \frac{28N_2(W_f - w_{rCr})}{12 \cdot 0.0769 \cdot (C_{O_2} + C_{CO})(W_f \cdot 100)}$$

Donde:

CO₂ = porcentaje de dióxido de carbono en los gases de combustión.

CO = porcentaje de monóxido de carbono en los gases de combustión.

N₂ = porcentaje de nitrógeno en los gases de combustión.

W_f = peso del combustible quemado en libras.

C_f = contenido del carbono del combustible.

C_r = porcentaje no quemado de las cenizas.

W_r = peso en libras de las cenizas y del combustible quemado.

W_a = peso real del aire en libras por libra de combustible quemado.

Las causas principales de exceso de aire son: las fugas de aire, inadecuado control de tiro, operación defectuosa del quemador, antes de que pueda ser reducido el aire en exceso, deberán identificarse sus orígenes, esto puede ser mediante el análisis de los gases de salida para determinar el O₂ ó CO₂. Las muestras de gas deben tomarse tanto en el hogar como en la chimenea.

Un bajo contenido de O₂ en el hogar y alto en la chimenea indica fugas en el revestimiento del hogar o en los conductos. Alto contenido de O₂ en el hogar y chimenea indican una excesiva cantidad de aire que entra al hogar. Las lecturas de CO₂ deberían ser opuestas a las lecturas de O₂ en el análisis anterior.

4. Sistema de alimentación de bagazo

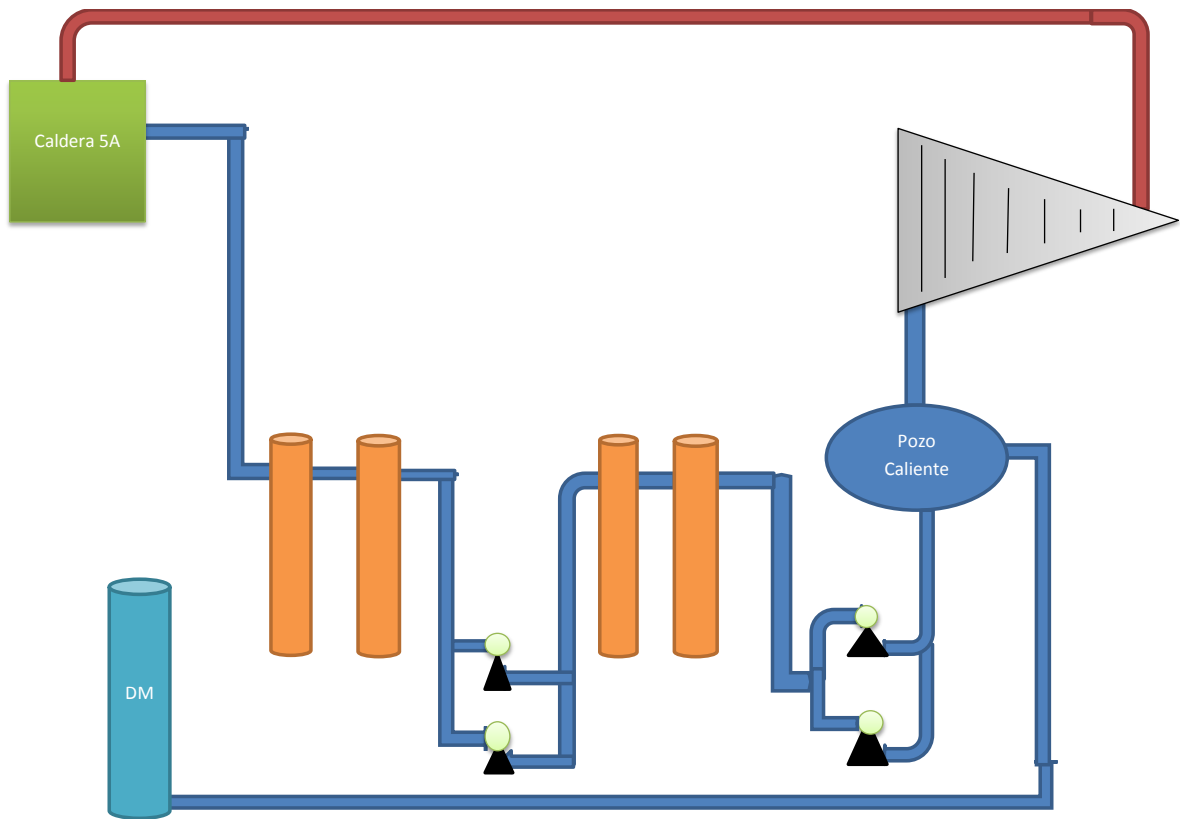
El bagazo es el subproducto o residuo de la molienda de la caña de azúcar, en él permanecen el jugo residual y la humedad provenientes del proceso de extracción.

El bagazo producido, que equivale aproximadamente a una tercera parte de la caña molida, se utiliza como combustible para la generación de vapor y potencia eléctrica, el poder calorífico promedio es de 8350 Btu por libra de bagazo seco libre de ceniza, pero el bagazo nunca está libre de ceniza; en el caso de un bagazo con 52% de humedad y 15% de ceniza (sobre la base de materia seca) el valor calorífico es 3357 Btu por libra de bagazo húmedo, el poder calorífico real del bagazo quemado en la parrilla depende de la humedad presente.

5. Circuito de condensados

El circuito de condensados es un punto vital para la transformación de la energía contenida en el agua de alimentación y para su funcionamiento se requiere de un sistema de bombeo, distribución, almacenaje y calentamiento a fin de mantener las condiciones operativas diseño dentro de los límites, en la Figura 2 se describen los equipos más elementales para el funcionamiento del sistema de agua de alimentación de la planta termoeléctrica.

Figura 2. Circuito de condensados planta termoeléctrica



a. Bombas de condensados

El vapor después de haber cedido la mayor parte de su energía interna en la turbina pasa por un condensador de agua donde por transferencia de calor se condensa y es recolectado en un tanque o pozo caliente. Esta cantidad de agua es bombeada por bombas Hotwell (bombas de condensado) y conducida hacia un grupo de calentadores de contacto cerrado y contacto directo, en el cual el agua se precalienta y se eliminan los gases no condensables.

b. Calentadores de agua de alimentación

Los calentadores cerrados de agua C1, C2, C3 de alta presión y C4 de baja presión, se utilizan en el ciclo termodinámico para precalentar el agua de alimentación por etapas, extrayendo vapor de la turbina, estos calentadores se utilizan para llevar esta agua de alimentación a la temperatura próxima a la del agua de la caldera. Con el aumento de la temperatura del agua de alimentación, el rendimiento de la caldera se incrementa, debido al ahorro de combustible que sería necesario para calentar el agua de caldera en igual proporción, una ventaja adicional es que los esfuerzos térmicos en la caldera se pueden evitar alimentando con agua a temperaturas elevadas. El venteo es importante en el calentador, para eliminar los gases no condensables que pueden desprenderse de los productos químicos del agua de alimentación y del aire que haya podido introducirse.

c. Bombas de agua de alimentación

Todas las bombas centrífugas están diseñadas para operar con líquidos, siempre que se formen mezclas de líquido y vapor o aire, pueden esperarse daños para la vida de los elementos rotativos. Si el líquido está a una temperatura elevada o el vapor está presente en el agua de alimentación de la caldera, puede ocurrir una destrucción rápida de la carcasa o envolvente de la bomba.

Para el suministro agua de alimentación la caldera utiliza una bomba centrífuga principal impulsada por un motor eléctrico de corriente trifásica, esta bomba es la encargada de abastecer de agua a la caldera en operación normal, tiene una capacidad de operación de 600 galones de agua por minuto a una presión de descarga de 1200 psi y con una temperatura de 350°F, ésta tiene un sistema de regulación de presión para evitar sobrepresiones en la línea de descarga.

Además se dispone de una segunda bomba centrífuga esta tiene una capacidad de 600 galones por minuto de agua a una presión de descarga de 1200 psi y con una temperatura de 350°F. Esta bomba es utilizada como respaldo previendo cualquier falla mecánica o eléctrica de la bomba principal o mantenimiento de rutina; como cambios de aceite e inspección de cojinetes.

d. Atemperación

Es un sistema auxiliar de la caldera el cual inyecta a presión una cantidad de agua tomada de la descarga de la bomba de alimentación y dirigida hacia la salida del sobrecalentador de convección a fin de controlar el grado de sobrecalentamiento, reduciendo la temperatura del vapor sobrecalentado, la atemperación se incrementa cuando aumenta el porcentaje de bagazo quemado en el hogar de la caldera.

e. Tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento o tanque de agua desmineralizada almacena el agua tratada químicamente en la planta de desmineralización a fin de mantener cierta cantidad de agua para reposición del ciclo termodinámico.

6. Sistemas de control de la caldera

A continuación se describen los elementos de control vitales para que la caldera de vapor pueda operar de modo automático.

a. Control del agua de alimentación

La regulación del nivel de agua y el caudal de alimentación se realiza por medio de válvulas automáticas que dependen de sensores para detectar el nivel y después transferir esta medida mediante señales neumáticas o eléctricas a un actuador, que después ajusta el nivel al punto deseado o requerido. Este es un control de alimentación de agua de tres elementos, el flujo de vapor, el caudal de agua de alimentación y el nivel de agua son medidos y registrados por medidores operados mecánicamente.

Las medidas de flujo de vapor y de agua están equilibradas una respecto de la otra mediante un mecanismo diferencial. Un control piloto está conectado al mecanismo de modo que cualquier diferencia entre las cantidades de caudal de vapor y agua produce un cambio en la señal de salida neumática. Esta señal se transmite a un relé que está combinado con la señal neumática procedente del registrador de nivel de agua. Un cambio de carga en la caldera desequilibra el mecanismo, produciendo así un cambio en la señal de salida del control piloto.

Lo que a su vez cambia la señal de salida del relé. Esta nueva señal reposiciona la válvula de control de agua de alimentación, admitiendo el agua necesaria en la caldera, igualando el caudal de agua entrante al del vapor que sale de la caldera. El cambio resultante en el caudal de agua equilibra el mecanismo diferencial y lleva la señal de control piloto a su punto neutro.

Como comprobación final y para asegurarse que la caldera tiene el nivel de agua necesario, la señal del control piloto en el registrador de nivel de agua reajusta el control de la válvula de alimentación. El selector situado en la válvula del sistema proporciona control automático o manual.

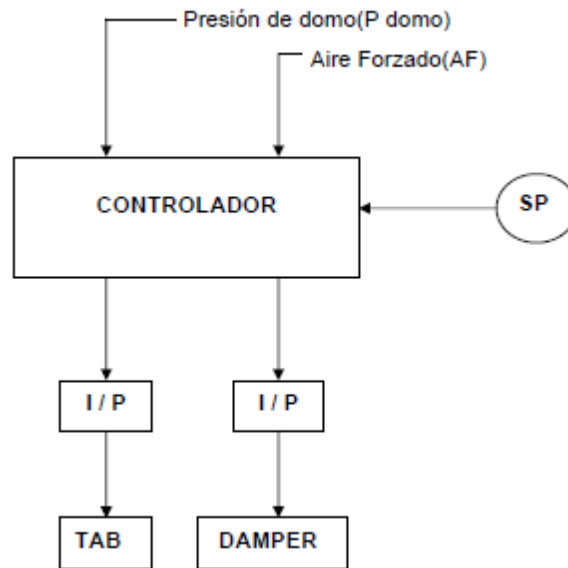
b. Control de presión

En la Figura 3, se muestra un diagrama que representa el sistema de control de la presión de vapor en la caldera por medio del control del aire de combustión y el sistema de alimentación de combustible. Es necesario recordar que la presión de la caldera solo puede ser controlada manteniendo una adecuada relación aire y combustible es decir una mezcla de aire forzado con petróleo y bagazo.

Como se puede observar en el diagrama, el controlador recibe señales electrónicas de la presión del domo superior (P_{domo}), de la presión del aire forzado (AF), y además un valor de referencia (SP) que es el valor de la presión de vapor que se desea mantener en la caldera.

Cuando el controlador recibe estas dos señales, las opera y realiza dos funciones: la primera es enviar una señal electrónica a un convertidor de señales (I/P), que la convierte en una señal de presión para accionar tanto los alimentadores de bagazo como la dosificación de petróleo. La segunda es enviar otra señal electrónica a un convertidor de señales (I/P), para que también la convierta en una señal de presión que accione el dámper del tiro forzado que controla el flujo de aire hacia el hogar de la caldera.

Figura 3. Sistema de control de presión en la caldera

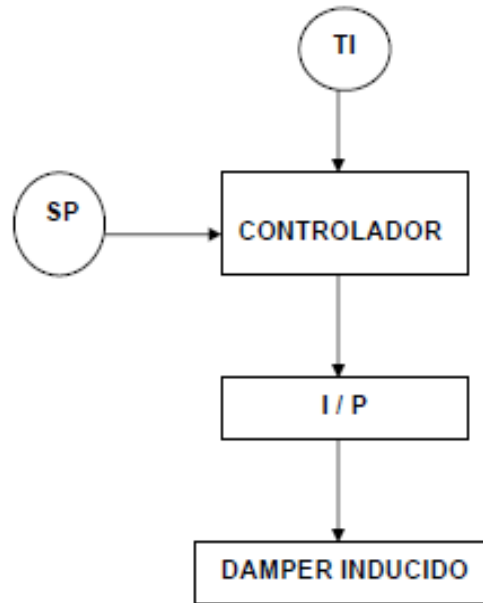


c. Control de tiro en el hogar

El tiro en el hogar de la caldera no es más que el flujo de los gases de combustión que son extraídos del hogar a través de la chimenea por medio de un ventilador de tiro inducido. Es preciso recordar que la presión que debe de existir en el hogar debe ser negativa, es decir menor a la presión atmosférica, para que los gases puedan ser succionados hacia afuera de la caldera.

Como se puede observar en la Figura 4 el controlador recibe una señal electrónica (TI) de la presión real que existe en el hogar y un valor SP, introducido externamente al controlador, que representa la presión que se desea mantener para que los gases sean evacuados eficientemente. Cuando estos dos datos son operados por el controlador, este envía una señal electrónica a un convertidor de señales (I/P) que la convierte en una señal de presión, que accionan el dámper del ventilador de tiro inducido que abren o cierran el flujo de los gases expulsados de la caldera por la chimenea.

Figura 4. Sistema de control de tiro en el hogar



I. Equipo para generación de electricidad

1. Turbogenerador eléctrico

“El turbogenerador es una máquina utilizada para la transformación de la energía térmica de un fluido, en energía eléctrica de corriente alterna, está compuesto por una turbina de vapor acoplada a un generador eléctrico y equipos secundarios, excitatriz, transformadores, sistemas de lubricación y enfriamiento.” (Stephen J. Chapman. Máquinas eléctricas. Colombia: Editorial McGraw-Hill, 1993 p.443)

2. Partes principales de la turbina

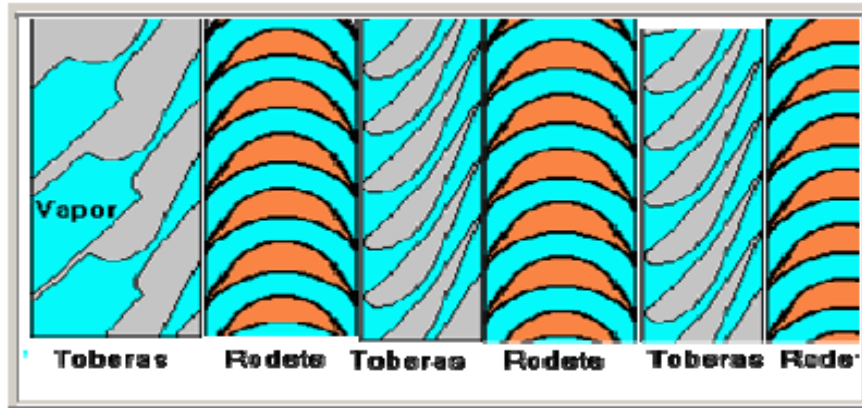
A continuación se describen las partes más importantes de una turbina de vapor con extracciones.

a. Turbina

La turbina es una máquina que convierte la energía térmica almacenada en el vapor en trabajo mecánico, la energía térmica almacenada se convierte en energía cinética o de velocidad expandiendo el vapor desde una presión alta a otra baja. La formación de un chorro de vapor y su conversión en trabajo ocurren en una combinación de pasadizos o conductos estacionarios llamados toberas o alabes impulsores, y en elementos giratorios llamados alabes o paletas móviles.

La combinación anterior se denomina etapa. El trabajo mecánico en el eje de la turbina se produce dirigiendo los chorros de vapor que salen de las toberas contra los alabes curvados móviles que constituyen una corona montada en un rodete de rotor; a esa producción de trabajo también contribuye la reacción dinámica del chorro al salir de los alabes giratorios, ver Figura 5 siguiente:

Figura. 5 Toberas



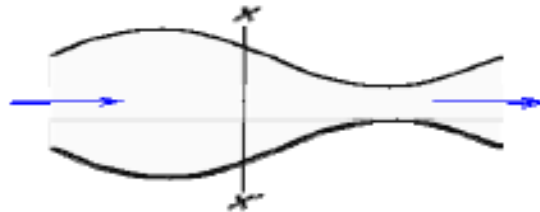
La turbina de condensación opera en el rango de presiones y temperaturas entre 750-850 psi y 750°-900°F, consta de 15 etapas para maximizar el aprovechamiento del vapor. Sus velocidades críticas son 1700 rpm y 2200 rpm donde su velocidad de funcionamiento normal es 3600 r.p.m. e impulsa un generador eléctrico de 22 MW, para la generación de energía eléctrica.

b. Toberas

“La tobera es el órgano básico que convierte la energía de presión disponible en el vapor en energía cinética, está se encuentra instalada en la cámara de vapor después de las válvulas

de control, la forma de la tobera suele ser como se indica en la Figura 6 con una sección de admisión y otra de descarga, estos tienen cierto ángulo de salida que proyecta el flujo de vapor a los alabes del rotor, son por lo general, toberas convergente-divergente, cuando la turbina es de varias etapas se utilizan alabes fijos entre cada etapa para dirigir el vapor, a estas se les llama diafragmas.”

Figura 6. Flujo en la tobera o grupos de toberas



Fuente: Ciprec.ces.uchile/encruces. Turbinas de vapor, pag 3.

c. Rotor

El rotor consiste en un eje de acero y discos giratorios, con alabes montados sobre su circunferencia exterior, ensamblados en el eje con ajustes y cuñeros de contracción pesada.

d. Carcasa

La función es estructural para soportar el conjunto y para contener el vapor dentro de la turbina, haciéndolo pasar por las toberas y por ultimo guiar el vapor hacia el condensador.

e. Sellos de vapor

Los sellos de vapor son utilizados para eliminar fugas de vapor en el lado de alta presión y entre etapas de la turbina, también para evitar que el aire se introduzca en la sección de baja presión de la turbina; los sellos generalmente son de tipo mecánico o laberinto.

f. Sellos de aceite

Los sellos de aceite son utilizados para evitar o reducir las fugas de aceite entre el eje de la turbina y las chumaceras, cada sello consiste de un anillo partido en mitades el cual están

atornillados a la caja de la chumacera, el diámetro interior de este anillo lleva las cintas de sello del laberinto las cuales se ajustan alrededor del eje de la turbina con una tolerancia mínima.

Cualquier cantidad de aceite que se desliza a lo largo del eje es atrapado en las ranuras del sello y fluye descendientemente a través de una serie de agujeros perforados en la mitad inferior del anillo, de esta cavidad el aceite fluye de regreso a la chumacera.

g. Chumaceras o cojinetes

“Una chumacera es un elemento de máquina diseñada para soportar cargas a un eje que tiene movimiento relativo y deslizante, el cual consiste de un casco de acero, hecho en mitades, partido en el plano horizontal y revestido con Babbitt a base de estaño, las mitades de la chumacera están atornilladas y aseguradas con tornillos prisioneros.” (Tubodyne. Instrucciones para el manejo y mantenimiento de turbinas de vapor. p.6). Las chumaceras se designan en base a la dirección en la que se aplica la carga, siendo éstas radiales, axiales y mixtas.

Las chumaceras radiales se utilizan cuando la carga es perpendicular al eje de la turbina. Las chumaceras axiales o cojinetes de empuje son discos completos o segmentados que están instalados en el extremo de entrada de vapor del eje de la turbina y evita el movimiento axial del rotor de la turbina más allá de los límites establecidos.

3. Sistema auxiliar de la turbina

Los sistemas auxiliares de la turbina, son mecanismos de protección y control de los equipos que conforman la turbina a continuación se describen los más importantes.

a. Sistema de regulación de velocidad

La función principal del sistema de regulación de velocidad es la de mantener constante la velocidad prefijada de la turbina, este regulador de velocidad es de tipo hidráulico y está mecánicamente conectado con el conjunto de válvulas de control, el cual controla la velocidad del eje regulando la apertura de las válvulas proporcionalmente a las variaciones de carga de la turbina. El mecanismo consiste esencialmente de tres partes, cada una de las cuales tiene una función definida, éstas partes son:

1. Gobernador, es un mecanismo de peso centrífugo, el cual actúa en respuesta a los cambios en la velocidad de la turbina.
2. Válvula de aceite del gobernador, este mecanismo transforma los cambios en fuerza recibida de los pesos del gobernador a presión de aceite actuando sobre el relay servomotor.
3. Servomotor hidráulico, este mecanismo utiliza la presión de aceite como potencia motora para la operación de las válvulas de control del gobernador.

b. Sistema de lubricación y control

Para el suministro de aceite la turbina utiliza un sistema de lubricación a presión, debido a las elevadas cargas de funcionamiento y por ser un punto crítico se cuenta con tres bombas instaladas.

Estas bombas son impulsadas por diferentes fuentes de energía, éstas se utilizan dependiendo de las condiciones de operación. La turbina cuenta con una bomba de aceite de emergencia accionada por un motor de corriente directa, esta bomba se utiliza cuando no se tiene disponibilidad de energía eléctrica trifásica, se dispone de una bomba de aceite auxiliar impulsada por un motor eléctrico de 30 caballos de potencia, estas bombas generalmente se utilizan en arranques o paradas de la turbina. Se dispone también de una bomba principal accionada cuando se alcanza el 90% de su velocidad nominal a través de un engranaje acoplado directamente al eje de la turbina, esta se utiliza en operación normal de carga. El sistema de lubricación cumple tres funciones:

- Lubricar las partes en movimiento, suministrando una película de aceite a fin de reducir el desgaste y oxidación.
- Operación y control del sistema de gobernanación del turbogenerador.
- Actuar como un agente transportador de calor y evacuarlo en un sumidero.

c. Válvula principal Stop

La válvula principal stop es parte de los sistemas de protección de emergencia por velocidad excesiva, alto nivel de agua en la caldera, disparo por falla eléctrica y bajo vacío.

Su función primaria es reducir, lo más rápido posible, el flujo de vapor de admisión a la turbina en caso que se dé una condición de funcionamiento anormal. La válvula, por lo tanto, es de cierre rápido, tiene dos posiciones abierta o cerrada y no se puede utilizar como válvula reguladora, se puede cerrar mecánicamente en la parte frontal del turbogenerador, y por la acción del gobernador mediante un circuito eléctrico.

d. Condensador de vapor

El condensador es un intercambiador de calor de contacto cerrado, es decir el vapor de salida en la última etapa de la turbina pasa por la parte externa de la tubería del condensador y el agua de enfriamiento utilizado para la condensación del vapor pasa por la parte interna de los tubos sin tener contacto. El condensador en la planta termoeléctrica incrementa el rendimiento del ciclo termodinámico, ya que disminuye la temperatura final del vapor, además el condensador permite recuperar el vapor condensado del sistema, lográndose con ello disminuir la cantidad de agua de reposición.

4. Partes de un generador eléctrico

El generador es el componente eléctrico utilizado para la transformación de la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica, las partes más importantes se describen a continuación.

a. Generador eléctrico

Los generadores sincrónicos o alternadores son máquinas sincrónicas que se utilizan para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica de corriente alterna a unos voltaje y frecuencia específicos, el término sincrónico se refiere al hecho de que la frecuencia eléctrica o campo magnético de esta máquina está sincronizada con la velocidad de rotación de su eje. El principio fundamental de operación de los generadores sincrónicos, es que el movimiento relativo entre un conductor y un campo magnético induce un voltaje en el conductor. Una fuente externa de energía de corriente directa o excitadora se aplica a través de unos anillos colectores en el rotor.

La fuerza del flujo, y por lo tanto el voltaje inducido en la armadura se regulan mediante la corriente directa y el voltaje suministrado al campo. La corriente alterna se produce en la

armadura debido a la inversión del campo magnético a medida que los polos norte y sur pasan por los conductores individuales.

b. Excitatriz

La función principal del sistema de excitación es suministrar energía en forma de voltaje y corriente directa al campo del generador, creando el campo magnético. Asimismo, el sistema de excitación comprende el equipo de control y protección, que regula la producción eléctrica del generador. La energía de excitación se toma del conmutador en el rotor del generador y se aplica al campo rotatorio del generador principal a través de los anillos colectores. El voltaje de salida del generador principal se controla mediante un regulador de voltaje que varía la excitación del estator del generador de corriente directa.

c. Sistema de enfriamiento del generador

La capacidad del generador sincrónico para producir potencia eléctrica está limitada primordialmente por el calentamiento dentro de la máquina, ya que la resistencia eléctrica de los conductores de cobre se incrementa al subir la temperatura, con el consecuente daño de los devanados del generador y pérdidas de eficiencia. Por tanto es necesario evacuar el calor generado en el interior del generador manteniendo una temperatura de los devanados menor a 175°F, para esto se cuenta con un sistema de enfriamiento hermético utilizando gas hidrógeno como elemento intercambiador de calor.

El hidrógeno a presión es suministrado hacia los conductos del generador, donde absorbe calor de los devanados y es forzado a pasar por unos enfriadores de hidrógeno donde intercambia su temperatura al agua de enfriamiento, desalojando así el calor hacia el ambiente.

El rango de temperaturas de operación del gas hidrógeno recomendado por el fabricante, oscila entre 65°F a 85°F, con una presión máxima de 30 psi de hidrógeno, para que esta condición se mantenga el agua de enfriamiento se debe de regular para satisfacer las condiciones requeridas.

d. Sellos de hidrógeno

Los sellos de hidrógeno se utilizan para evitar que el hidrógeno escape del generador en los extremos del eje, para esto se utilizan sellos de laberinto y para eliminar las fugas también se dispone de un flujo continuo de aceite en los extremos del eje del generador, el cual está a una presión de 4 psi mayor que la presión en el sistema de hidrógeno.

5. Sistema de distribución eléctrica

La red de transmisión del sistema eléctrico interconectado está constituida por las líneas de transmisión de alta tensión 69Kv, subestación, transformadores y otros elementos eléctricos necesarios para recibir la energía eléctrica producida por las plantas generadoras.

La energía producida es suministrada a la red nacional a través de un ente regulador la del Administrador del Mercado Mayorista quien es el responsable de organizar, distribuir y hacer llegar la energía eléctrica a donde se requiera, esta función se realiza las 24 horas de los 365 días del año, la misión a cumplir es la de proporcionar el servicio de energía eléctrica en condiciones de cantidad, calidad, continuidad y seguridad a todos los usuarios.

a. Transformadores

La transformación permite adecuar las características de voltaje y corriente de la energía eléctrica que se produce en las plantas generadoras y que se transmite en altos voltajes por las líneas de transmisión a través de grandes distancias para entregar a los clientes la energía eléctrica requerida para sus procesos.

b. Líneas de transmisión

Las líneas de conducción de energía eléctrica son las encargadas de transportar la corriente eléctrica trifásica de los puntos de entrega del generador a los lugares de consumo, que pueden ser de alta, mediana o baja tensión.

6. Protecciones y controles del turbogenerador

Las protecciones y sistemas de control del grupo turbogenerador son asignados para evitar que el equipo opere fuera de los rangos establecidos por el fabricante, evitando así cualquier condición anormal que pueda dañar la maquinaria y seguridad de los operadores de los equipos. En la mayoría de los casos la protección más adecuada es disparar mecánica o eléctricamente la maquinaria, cuando se tiene una condición anormal y peligrosa.

Además de los disparos electromecánicos, la planta cuenta con un sistema de control de alarmas de monitoreo continuo, estos pueden ser visuales o electrónicos, los cuales suministran información del comportamiento de la planta.

a. Acciones de protección contra fallas del turbogenerador

- El disparo manual es una medida de protección para poner fuera de línea un equipo o máquina, mecánica o eléctricamente, provocado por el operador de la máquina, esto generalmente ocurre cuando se tiene alguna condición anormal del funcionamiento.
- El disparo mecánico es la interrupción de un proceso continuo en un dispositivo mecánico, que puede ser un compresor o una turbina de vapor, el cual corresponde a una variación de movimiento o suministro de energía.
- El disparo eléctrico es la interrupción en la operación continua de un dispositivo eléctrico que puede ser un motor o un generador eléctrico, el cual puede corresponder a una variación instantánea de corriente o voltaje, actuando directamente sobre un mecanismo de apertura para interrumpir el flujo de corriente o voltaje.

A continuación se enumeran las protecciones del turbogenerador, en cual interrumpe el proceso de generación de electricidad, tanto en el generador eléctrico como en la caldera:

Protecciones	Disparo
Sobre-velocidad	3960 r.p.m.
Baja presión de aceite	Variación de 3.5 psi
Baja presión de vacío	20 “ de mercurio

Falla en cojinete empuje activo	28 psi
Baja temperatura de vapor	Menos de 750 °F
Baja presión de vapor	Menos de 650 psi
Disparo manual mecánico	Operador maquina
Disparo manual eléctrico	Operador maquina
Relevadores de sobrecarga	105% del valor nominal
Relevadores de puesta a tierra	10% del valor nominal
Relevadores de corriente inversa	2% del valor nominal
Perdida de excitación	15% del valor nominal
Sobre-corriente del estator	200% del valor nominal

Entre las alarmas que suministran información sobre riesgos o condiciones anormales de operación que no provocan disparo de la planta están las siguientes:

Señal	Límite
alta temperatura devanados	175 ° F
Alta temperatura hidrogeno	150 °F
Baja presión de hidrogeno	5 psi
Alta/baja pureza de hidrogeno	80-95%
Presión diferencial de sello	3 psi
Temperatura de chumaceras	150 °F
Temperatura de aceite	140 °F

7. Equipo para suministro de agua

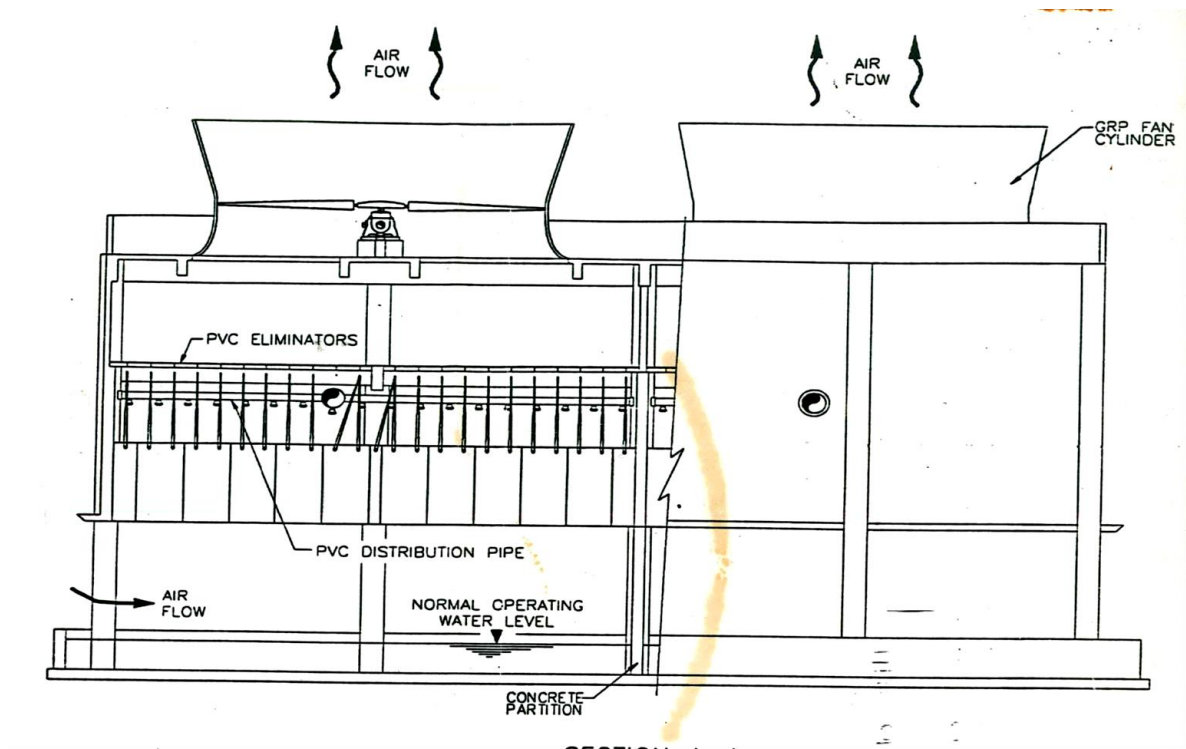
a. Torre de enfriamiento

La torre de enfriamiento es un sistema auxiliar cuya función es evacuar el calor generado en los procesos de la planta termoeléctrica, suministrando para ello un flujo continuo de agua de enfriamiento mediante bombas de recirculación hacia los puntos donde se requiere enfriamiento, es decir a los enfriadores de aceite, enfriadores de gas hidrógeno, condensador de vapor y chumaceras.

El agua de enfriamiento absorbe entonces el calor generado en los equipos y retorna hacia la torre de enfriamiento por la parte superior, donde es separada en gotitas por separadores para que entren en contacto con un flujo de aire a contra corriente aspirado por dos ventiladores axiales, montados en la parte superior de la torre.

El aire al entrar en contacto con el agua de enfriamiento, absorbe cierta humedad y se satura, esto provoca cierta evaporación con el correspondiente descenso de la temperatura del agua de enfriamiento, el agua fría cae por gravedad a la pila, reiniciando el ciclo. Para mantener continuo el suministro de agua de enfriamiento, se debe de adicionar cierta cantidad de agua, que fue eliminada en el proceso de evaporación o purgas al sistema, esta agua de reposición es suministrada por una válvula de relleno de la toma de agua.

Figura 7. Torre de enfriamiento



b. Planta des-mineralizadora

El agua es el elemento principal utilizado para la producción de vapor y electricidad, los usos más importantes del agua en la planta incluyen enfriamiento al condensador, agua de alimentación a la caldera, enfriamiento a chumaceras, sistema contra incendio, enfriamiento de aceite, enfriamiento de hidrógeno en el generador. Cada uso requiere ciertas características,

pero en general, entre más fría y libre de impurezas mejor. Las aguas naturales no pueden ser utilizadas para la alimentación de la caldera, puesto que contienen sales minerales y gases. Las impurezas del agua natural, si llegaran a la caldera, provocarían incrustaciones. Su presencia en las superficies de calentamiento reduce la cantidad de calor transmitido. Además, las incrustaciones aíslan el metal del efecto refrigerante del agua, que puede originar roturas de tubos y también una explosión.

En la planta las sales son arrastradas por el vapor y sedimentan en la turbina provocando una disminución de potencia y rendimiento. Además de las incrustaciones la corrosión y acidez son fenómenos dañinos para la caldera, equipos auxiliares, líneas de tuberías y la turbina, estos son equipos de acero que deben de estar protegidos contra la oxidación y picaduras que ponen en riesgo la instalación.

La corrosión del acero se origina por la presencia de oxígeno, anhídrido carbónico y otros gases. Los fines principales perseguidos con el tratamiento del agua de alimentación en la planta de desmineralización son:

1. Eliminar las materias solubles y en suspensión.
2. Eliminación de gases no condensables.
3. Neutralizar los efectos negativos de la acidez y corrosión del agua.
4. Evitar la formación de incrustaciones en las superficies de transferencia.
5. Reducir las pérdidas caloríficas.
6. Reducir los efectos negativos de las impurezas del agua.

1) Métodos para el tratamiento químico del agua

Los métodos de tratamiento químico del agua de alimentación en la planta de desmineralización son: Desaireación, desmineralización, purgas.

a) Desmineralización

El proceso de desmineralización se recomienda para la reducción de altas concentraciones de sales disueltas en el agua para bajarlas a un nivel aceptable, es decir eliminar la mayor cantidad de minerales que contiene el agua en sólidos y en suspensión.

b) Purgas

La práctica usual en el tratamiento interno de la caldera, es agregar sales a base de sodio o potasio las que reaccionan con el material incrustante, formando precipitados de calcio o magnesio.

Estos precipitados deben ser de tal naturaleza que no se adhieren a la superficie de la caldera, pero que puedan aglutinarse y caer en la parte inferior de la caldera o de las paredes de agua para removerse por purga de fondo, y aun permanecer en suspensión, para ser removidos por purgas continuas en el domo de la caldera. Deben mantenerse en exceso el tratamiento químico para suavizar el agua cuando esta venga en tal forma por mala operación del tratamiento externo o por contaminación del condensado.

c) Desaireador

Se conocen como desaireadores (desgasificadores) aquellos dispositivos mecánicos empleados para liberar los gases contenidos en el agua de alimentación (aire, oxígeno, anhídrido carbónico y otros gases). Su funcionamiento consiste en dividir el agua de alimentación en finas gotitas, calentándolas a continuación para transformarlas en vapor dentro del desaireador, y separar el aire, anhídrido carbónico y otros gases del vapor a medida que este se va condensando. En el desaireador el fluido de calentamiento es el vapor extraído de la turbina a una presión de 20 psi.

J. PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN

La puesta en servicio de una planta termoeléctrica, es desarrollada en diferentes etapas, dependiendo de la capacidad, del grado de automatización y de las características de los equipos, para esto se definen normas, secuencias y procedimientos que permiten lograr una instalación confiable y segura. La planta termoeléctrica en mención se divide en cinco áreas de importancia cuya combinación permite la transformación de la energía eléctrica, siendo estas:

1. Sistema de combustibles, es el área que involucra todos los equipos necesarios para el transporte, tratamiento, preparación del petróleo y bagazo subproducto de la caña de azúcar a fin de mantener una combustión de estos combustibles en el hogar de la caldera.

2. Sistema de generación de vapor, se define como el área en donde se da la transformación de la energía química de los combustibles en energía térmica de vapor, en este proceso están involucrados la caldera como generador de vapor y sus auxiliares que permiten incrementar la eficiencia del ciclo termodinámico.
3. Sistema de aguas industriales, es el área que incluye todos los equipos necesarios para el análisis, monitoreo y tratamiento del agua de alimentación necesario para el ciclo termodinámico y sistema de enfriamiento de la planta.
4. Turbogenerador, se le denomina en general al conjunto formado por una turbina de vapor, un generador eléctrico y su correspondiente equipo auxiliar, en el cual se da la transformación de energía térmica a energía eléctrica.
5. Sistema eléctrico, es el área encargada del transporte de energía eléctrica del lugar de producción hacia las líneas de transmisión, además es la encargada de verificar los sistemas de protección eléctricas de la planta termoeléctrica.

1. Procedimientos para el arranque en frío

Un arranque en frío se define como la puesta en marcha de los equipos de la planta termoeléctrica estando el turbogenerador parado al menos 12 horas antes del arranque, en los cuales es necesario mantener ciertas condiciones de operación impuesta por el fabricante de la maquinaria, de la experiencia adquirida y mediante conocimientos técnicos, estos permiten desarrollar una secuencia lógica de arranque del sistema.

a. Calentamiento de la caldera

Este procedimiento es ejecutado 48 horas antes de meter a línea la caldera, los responsables de dichas actividades son los operadores mecánicos de caldera y operador de cuarto de control, a continuación se describen los pasos a seguir y aspectos a tomar en cuenta.

- Verificar nivel de agua del domo superior de la caldera. Verificar esto viendo el nivel visual y comparando con la celda de nivel.
- Abrir válvulas de venteo manual.
- Verificar que válvulas del ciclo de agua de alimentación estén abiertas.
- Revisar que los registros de inspección de la caldera estén cerrados.
- Abrir 25% dámper de ventilador inducido.

- Colocar 10 pacas de bagazo en el hogar de la caldera y prenderle fuego y continuar con el ingreso de más pacas, esto se hace para calentar gradualmente el hogar de la caldera, con el fin de evitar deformaciones en la tubería y cambios bruscos de temperatura, y también secar el refractario de la caldera.

b. Habilitar aire comprimido

Este procedimiento consiste en arrancar un compresor para suministro de los equipos y controles neumáticos del sistema, esta acción generalmente se ejecuta 48 horas antes de arrancar la caldera y el responsable es el técnico de instrumentación.

- Habilitar eléctricamente compresor y secador.
- Revisar nivel de aceite y condiciones de alarma.
- Revisar posicionamiento de las válvulas de la línea de aire comprimido.
- Abrir válvulas de drenaje y trampas de línea para desalojar todo el condensado.
- Arrancar compresor y secador de aire.
- Verificar que presión de aire este en 100 psi.
- Cerrar válvulas de drenaje y verificar accionamiento de las trampas cuando ya se haya desalojado la mayor cantidad de gases y condensado.

c. Llenar tanque de agua cruda

Este procedimiento consiste en mantener cierta cantidad de agua de reposición para el abastecimiento de agua hacia la planta de tratamiento, a continuación se describen los pasos a seguir.

- Verificar nivel del tanque de agua cruda.
- Verificar que los drenajes estén cerrados.
- Revisar posicionamiento de válvulas en línea hacia tanque de agua cruda.
- Habilitar y arrancar bomba de pozo, para relleno de tanque.
- Esta agua cruda es bombeada hacia la planta de tratamiento químico para eliminarle los sólidos disueltos y en suspensión a fin de proveer al sistema agua desmineralizada.

d. Producción de agua de alimentación

Este procedimiento consiste en preparar todos los equipos y químicos necesarios para el tratamiento químico del agua de alimentación hacia la caldera, siendo responsable el analista de la planta de tratamiento, a continuación se describen los pasos a seguir para que ciertas condiciones de operación se cumplan:

- Revisar que tanque de agua cruda esté lleno.
- Verificar que el circuito eléctrico de la planta de tratamiento químico esté habilitado.
- Verificar presión de aire comprimido esté en 100 psi, para el accionamiento de las válvulas neumáticas.
- Verificar que se tenga ácido clorhídrico y soda cáustica en la cantidad necesaria para el tratamiento de las resinas.
- Limpieza de la unidad catiónica, es decir hacer pasar un flujo de 50 galones por minuto de agua cruda en sentido contrario al funcionamiento normal de la unidad por un lapso de 15 minutos.
- Inyección de ácido clorhídrico a la unidad catiónica, es decir hacer pasar 12 galones por minuto de agua y 2 galones por minuto de ácido, hasta que sean consumidos en total 110 galones de ácido clorhídrico, el objetivo de esto es eliminar los cationes de la unidad y mandarla a la fosa séptica.
- Enjuague lento, es decir hacer pasar 25 galones por minuto de agua a la unidad catiónica durante un tiempo de 26 minutos, esto se hace para eliminar el ácido que fue inyectado en el paso anterior.
- Limpieza del anión, 31 galones por minuto de agua pasan por la unidad aniónica durante 15 minutos a fin de limpiarla.
- Inyección de soda, es decir 26 galones por minuto de agua y 1.20 galones por minuto de soda se hacen pasar por la unidad aniónica durante 40 minutos, esto se hace para eliminarle los aniones a la unidad y luego eliminarla en la fosa séptica.
- Recirculación de 25 galones por minuto de agua cruda se hacen pasar por las unidades catiónica y aniónica, este ya es el proceso final aquí es donde se eliminan todos los sólidos disueltos y en suspensión al agua.
- El operador de la planta de tratamiento, tomará muestras de la calidad del agua producida y si cumplen con los parámetros establecidos, ésta agua es bombeada al tanque de almacenamiento DM a fin de ser utilizada en el circuito termodinámico, caso contrario el proceso debe de repetirse hasta que el agua tenga 50 μ s de conductividad, 5 ppm de sílice y 8.6 a 9.2 de Ph.

e. Habilitar torre de enfriamiento

Procedimiento a ejecutarse 48 horas antes del arranque de la caldera y el responsable es el supervisor eléctrico. Se habilita el circuito eléctrico de los motores de los ventiladores, motores de las bombas de agua de recirculación y motores de las bombas de pozo. Esto se hace para que cuando se inicie la secuencia de arranque sea fácilmente accionar los motores y reducir el tiempo en las maniobras.

f. Llenar torre de enfriamiento

Procedimientos que corresponden a la torre de enfriamiento y el responsable de ejecutarlas es el operador de cuarto de control y el operador mecánico del turbogenerador 24 horas antes de iniciado el arranque del primer quemador en la caldera.

- Cerrar válvulas de drenaje de la piscina de la torre de enfriamiento.
- Cerrar válvulas de drenaje de la línea de descarga de enfriamiento.
- Cerrar válvulas de purga del condensador.
- Abrir válvula de relleno de toma de agua.
- Abrir válvulas de succión y descarga de la bomba.
- Arrancar bomba de circulación en modo automático y nivel del torre en 95%.

g. Lubricación de torre de enfriamiento

Pasos a seguir 24 horas antes de iniciado el proceso de arranque de la caldera, donde el mecánico de mantenimiento verifica el nivel y estado de los lubricantes de los equipos de la torre de enfriamiento, siendo estos los reductores de velocidad, ventiladores y bombas de recirculación de la torre de enfriamiento.

h. Existencia de refrigerantes

El responsable de ejecutar este procedimiento es el supervisor de turno y se verifica 48 horas antes de iniciado el proceso de arranque de la caldera, a continuación se describen los pasos a seguir:

- Verificar la existencia de Dióxido de carbono, deben de haber en bodega de materiales al menos 15 cilindros de Dióxido de carbono, este gas es empleado para evacuar el aire y actuar como un agente inerte este se utiliza antes de cargar con hidrógeno al generador.
- Verificar existencia de Hidrógeno, deben de haber en bodega de materiales al menos 15 cilindros de hidrógeno con una presión de 2000 psi cada uno. El hidrógeno se utiliza como refrigerante en el generador, a fin de mantener la temperatura de los devanados del generador dentro del rango de operación normal.

i. Sellos y chumaceras

Este procedimiento corresponde, al operador mecánico del turbogenerador, lo debe de ejecutar 48 horas antes de iniciado el proceso de arranque y consiste en poner la válvula del tanque de aceite en la posición de sellos y chumaceras, esto indica que al momento de arrancar alguna bomba de aceite del turbogenerador, el aceite circulará tanto hacia los sellos de laberinto como a las chumaceras. La otra opción es la posición hacia los sellos, es decir el aceite solo circulará en los sellos y no en las chumaceras.

j. Arranque de bombas de lubricación

Procedimientos a ejecutarse 48 horas antes del inicio del proceso de arranque de la planta, siendo el responsable de dichas actividades el operador del turbogenerador.

- Habilitar circuito eléctrico del motor de la bomba de aceite.
- Arrancar bomba de aceite de corriente directa en manual.
- Verificar que presión de descarga esté dentro del rango 50-60 psi.
- Observar ruidos anormales
- Habilitar motor de bomba de aceite de sellos y chumaceras de 10 Hp.
- Verificar nivel de aceite en el tanque principal de la turbina.
- Arrancar motor de bomba de aceite de 10 Hp de modo automático.
- Verificar presión de descarga esté dentro del rango de 75-80 psi.
- Sacar de línea bomba de aceite de corriente directa y ponerla en automático, esto se hace para que cuando se tenga una falla o interrupción de la energía eléctrica la bomba de corriente directa entre a línea en automático y así asegurar la lubricación de las chumaceras tanto de la turbina como del generador.

k. Rotación en giro lento de la turbina

Procedimiento a ejecutarse 48 horas antes de iniciado el arranque de la planta y el responsable de ejecutarlas es el operador mecánico del turbogenerador, pasos a seguir:

- Verificar presión de aceite en la línea principal del turbogenerador.
- Verificar flujo de aceite en mirillas de las chumaceras.
- Habilitar circuito eléctrico de motor de volteo o giro lento.
- Arrancar motor de volteo y verificar sentido de rotación. Este procedimiento se realiza para reducir la deflexión del eje de la turbina a fin de que cuando se incremente la velocidad de rotación no haya contacto entre las partes móviles y estacionarias de la turbina, además esto reduce la vibración de la máquina.
- Revisar que la velocidad de rotación de la turbina esté en 4 r.p.m.
- Revisar ruidos, rozamientos.
- Chequear presión, temperaturas de aceite y chumaceras.

l. Habilitar sistema de control electrónico

Procedimiento ejecutado 24 horas antes del proceso de arranque por el personal del departamento de instrumentación, el cual habilita todos los mandos y centros de control para la automatización de la planta termoeléctrica.

- Habilitar circuito eléctrico del sistema electrónico.
- Habilitar los paneles de control remoto.
- Habilitar los procesadores de control.
- Arrancar estación de trabajo principal en la caldera.
- Arrancar estación de trabajo en casa de máquinas.
- Arrancar sistema operativo.
- Habilitar el programa del sistema operativo.
- Verificar la visualización del sistema operativo en los monitores del centro de control de la caldera y sala de máquinas.

m. Sopladores de hollín

Pasos a seguir 24 horas antes del arranque de la planta, donde el operador mecánico de la caldera revisa que las válvulas de vapor de accionamiento de los sopladores de hollín estén cerrados.

- Revisar que los sopladores de hollín tengan enfriamiento, esto se logra haciendo pasar por una tubería de una pulgada un flujo de aire suministrado por un ventilador, esto se hace para evitar que el soplador se deforme, ante las altas temperaturas que se tienen en la caldera.
- Revisar los sopladores mecánicos y retractiles y revisar que el movimiento de carrera de la tubería sea continuo.
- Habilitar circuito eléctrico de motores de los sopladores de hollín.

n. Revisar circuito eléctrico

Procedimiento a realizarse 24 horas antes de iniciar el proceso de arranque, donde el supervisor eléctrico habilita el circuito eléctrico de los motores de los ventiladores, bombas de alimentación y además habilita eléctricamente los variadores de frecuencia de la caldera.

ñ. Cargar de CO2 generador

Procedimiento que corresponde al turbogenerador eléctrico, cuyo responsable de las siguientes actividades es el operador mecánico del turbogenerador, siguiendo la secuencia de pasos, 24 horas antes de iniciado el proceso de arranque de la planta termoeléctrica.

- Conectar los cilindros de CO2 al sistema de llenado.
- Abrir válvula de venteo, esto se hace para desalojar el aire del generador.
- Abrir válvula de dos vías. En una posición pasa CO2 y en la otra posición solo hidrógeno, esto dependiendo el caso.
- Abrir válvula principal del sistema de CO2.
- Abrir válvula del cilindro de CO2,
- Suministrar la suficiente cantidad de dióxido de carbono hasta que el porcentaje de pureza de CO2 en aire sea de 95%. El dióxido de carbono es un gas inerte que se utiliza para desalojar el aire y gases no condensables en el generador a fin de proveer una atmósfera inerte y poder cargar de hidrógeno al generador, sin ningún riesgo de explosión.
- Se requieren 08 cilindros de CO2 de 2000 psi, para alcanzar la pureza requerida, además verificar fugas.

o. Cargar con Hidrógeno el generador

Pasos a seguir 24 horas antes del arranque de la planta, estos trabajos son realizados por el operador mecánico del turbogenerador.

- Colocar los cilindros de hidrógeno al sistema de llenado.
- Cerrar válvulas de los cilindros de CO2 y válvula principal del sistema CO2.
- Cargar de hidrógeno el generador.
- Verificar que no hayan fugas de hidrógeno, en el sistema.
- Abrir válvulas de venteo, válvula principal de recirculación de hidrógeno.
- Abrir válvula de dos vías.
- Verificar que válvulas de los pulmones estén cerradas.
- Chequear que la pureza del hidrógeno esté entre 90% y 95%, en el analizador NOVA.
- Al llegar al 95% de hidrógeno de pureza se cierran las válvulas de venteo, se abren las válvulas de los pulmones, y se cierra la válvula principal, aquí en este punto ya solo se queda llenando el generador con hidrógeno hasta alcanzar una presión de 5 psi en el generador e incrementando la presión de hidrógeno.
- Normalizar a 14.5 psi de hidrógeno que es la presión de operación normal del turbogenerador.

p. Abrir válvulas de purga

Procedimientos que corresponden al turbogenerador y su responsable es el operador mecánico del turbogenerador.

- Abrir válvulas de purgas de la tubería de vapor principal en la turbina.
- Abrir drenajes y trampas de vapor de las extracciones de la turbina, hacia el condensador. El objetivo de esta maniobra es desalojar todos los gases y el condensado de la línea de vapor principal, a fin de reducir toda posibilidad de arrastre hacia la turbina.
- Informar al supervisor, y al operador de caldera de ésta maniobra.

q. Apertura de válvulas

Procedimientos a seguir 24 horas antes de iniciado el proceso de arranque, siendo el responsable de estas tareas el operador mecánico del turbogenerador.

- Verificar apertura de las válvulas de entrada y salida de los calentadores de agua de la línea de condensados, a fin de evitar contrapresiones en las tuberías.
- Verificar apertura de las válvulas de entrada y salida de los calentadores de agua de la línea de vapor.
- Verificar que las válvulas de drenaje de los calentadores de agua estén abiertos y dirigidos hacia la línea del condensador. Estas válvulas cumplen un propósito fundamental desalojar los gases no condensables y el aire que son gases que reducen la transferencia de calor, por lo tanto la eficiencia del ciclo.
- Revisar válvulas de succión y descarga de las bombas de condensados.
- Habilitar niveles visuales de los calentadores de agua.
- Verificar posición y presión de aire en las válvulas unidireccionales de las extracciones de vapor de la turbina.

r. Cerrar válvula de vacío

Pasos a seguir 24 horas antes del arranque de la planta, ejecutados por el operador mecánico del turbogenerador.

- Cerrar válvula manual en el condensador, si esta válvula no cierra, el vacío necesario para la condensación del vapor no se producirá permitiendo así la presurización de la sección de baja presión de la turbina y esto con resultados negativos para la seguridad de la unidad.
- Cerrar drenajes de condensados en el condensador.
- Verificar que los registros del condensador y turbina estén cerrados.

s. Llenar tanque de condensados (pozo caliente)

Procedimientos a ejecutarse 24 horas antes del arranque por el operador mecánico de la turbina.

- Cerrar válvulas de drenaje de la línea de condensados.
- Abrir válvulas de pie del nivel visual del pozo caliente y habilitar nivel digital.
- Cerrar registros de inspección del condensador.
- Verificar que nivel del tanque de almacenamiento de agua desmineralizada esté en 60%.
- Abrir válvula de relleno al pozo caliente, regular nivel con válvula automática.
- Cerrar válvula de relleno al pozo caliente cuando nivel tenga 65% y colocarla en modo automático.

t. Prueba del calentador eléctrico

Procedimiento a ejecutarse 12 horas antes del arranque y los responsables de verificar estas tareas son el operador mecánico de la caldera en coordinación con el electricista de turno.

- Abrir válvulas del tanque diario de petróleo.
- Abrir válvulas de succión y descarga de la bomba de petróleo a utilizar.
- Abrir válvulas de entrada y salida del calentador eléctrico.
- Abrir válvula de retorno para evitar que petróleo pase por los racks del quemador.
- Arrancar bomba de petróleo.
- Arrancar calentador eléctrico.
- Monitorear temperatura y presión del petróleo.
- Sacar de línea calentador eléctrico.

u. Calentamiento de petróleo

Procedimiento a ejecutarse 12 horas antes del arranque del primer quemador de la caldera, siendo el responsable el operador mecánico de la caldera.

- Arrancar bomba de petróleo.
- Estrangular válvula de retorno para que el petróleo pase por los racks de los quemadores, este procedimiento se ejecuta cuando la temperatura del petróleo haya aumentado y esté caliente con lo cual es más fácil bombearlo hacia los quemadores.
- Abrir las válvulas de retorno de cada quemador.
- Verificar que la presión y temperatura del petróleo sean de 200 psi y 195°F respectivamente en cada quemador, comprobar éstas lecturas con los datos en los monitores remotos y medidores analógicos.

v. Subestación eléctrica

Procedimientos a seguir 12 horas antes del arranque de la planta, siendo el responsable de estas tareas el electricista de turno.

- Revisar OCB (*oil circuit breaker*), verificar cierre y apertura del circuito eléctrico.
- Revisar el transformador de alta tensión de 69 Kv.
- Revisar transformador de 13.8 Kv.

- Revisar que puesta a tierra esté deshabilitado.
- Habilitar los seccionadores de barra y línea, estos permiten el paso de corriente hacia las líneas de transmisión del sistema eléctrico nacional.

w. Habilitar bombas de alimentación

Procedimiento a realizarse 08 horas antes de iniciar con el arranque de la caldera, cuyo responsable es el electricista de turno.

1. Habilitar sistema eléctrico de bombas de alimentación de la caldera 5.
2. Revisar arranque remoto de las bombas de alimentación.
3. Revisar mediciones de temperatura cojinetes y motor.
4. Chequeo de rotación libre de motor y bomba, esto para verificar que no está atrancado el conjunto, a fin de evitar sobrecargas.

x. Dosificación de químicos caldera

- Preparar 1 galón de Corroagen FP, este producto químico se utiliza para mantener el potencial de hidrógeno (Ph) dentro de los límites establecidos de operación entre el rango 8.6-9.2
- Preparar 0.5 galones de Corroagen 3470, este producto se utiliza para eliminar el oxígeno disuelto en el agua de alimentación hacia la caldera, manteniendo un límite de 30 partes por billón como máximo.
- Preparar 0.5 galones de Boiler ST-FP, este químico se utiliza para mantener los fosfatos dentro de los límites establecidos, entre el rango de 2-4 partes por millón. Este procedimiento se efectúa antes de que se meta a línea el primer quemador, para que cuando se tenga demanda de vapor ya los rangos de operación del agua de alimentación estén dentro de los límites establecidos.

y. Revisar circuito de gas propano

- Verificar que circuito de gas propano esté habilitado.
- Revisar que las válvulas de los cilindros de gas propano estén abiertas.
- Revisar que los reguladores de presión estén habilitados y con una presión de 100 psi.
- Revisar que las válvulas de bola en cada quemador estén abiertas.
- Revisar fugas y condiciones anormales

z. Arranque de ventiladores

Procedimientos ejecutados por el operador de cuarto de control de la caldera en coordinación con el operador mecánico de la caldera, a continuación se describen los pasos a seguir:

- Verificar que los controles de la caldera estén de modo automático.
- Verificar los puntos de referencia de, el tiro inducido, tiro forzado, apertura de los dámperes de los ventiladores en automático, nivel de la caldera, etc.
- Arrancar ventilador inducido y ventilador forzado.
- Como norma de operación es necesario arrancar primero el ventilador inducido, esto para evitar presurización del hogar de la caldera.
- Verificar ruidos y rozamientos anormales.
- Verificar que el voltaje y amperaje de los motores estén dentro del rango de operación normal.

a. a Preparar quemador

Pasos a seguir para la puesta en marcha del quemador de la caldera, siendo el responsable el operador mecánico de la caldera.

- Meter lanza a quemador y verificar sello en las caras.
- Abrir válvulas de vapor atomizado y válvulas de petróleo.
- Cerrar drenajes de limpieza quemador.
- Cerrar válvula de retorno del quemador a meter a línea, esto impide que el petróleo retorne al tanque de almacenamiento diario, manteniendo así una presión en el quemador de 200 psi.
- Abrir válvulas de aire comprimido para la línea de atomización hacia los quemadores, durante el arranque inicial el combustible se atomizará con aire y en operación normal la atomización es con vapor.

a. b Abrir venteo manual

- Abrir válvula manual de venteo, ésta es una válvula de protección de la caldera y se utiliza para evacuar las elevadas presiones en la caldera y en el arranque inicial de la caldera actúa como un paso de vapor hacia la atmósfera para refrigerar la tubería.

- Abrir válvula de venteo automático 100%, esta cumple la misma función que la válvula de venteo manual, la única diferencia es el método de accionamiento ya esta es por aire a presión.

a.c Iniciar barrido

Pasos a seguir para evacuar los gases acumulados en la caldera, este procedimiento es ejecutado por el operador de cuarto de control de la caldera.

- Revisar permisos de la caldera, es decir el sistema de control verifica que no haya alta presión de vapor en la caldera, alta presión de gases, que los ventiladores tanto inducidos como forzados estén en línea, revisa también el nivel de domo en caldera, presión de aire de combustión, además el sistema de control de la caldera verifica la presión del aire de instrumentación, ésta última es utilizada para el accionamiento de los equipos neumáticos del sistema, si estas condiciones no se cumplen no se puede hacer el barrido de los gases.
- Revisar los permisos de los quemadores, aquí debemos de revisar que las presiones y temperaturas del petróleo estén dentro del rango permitido, es decir 180-250 psi y 190°-250°F. Además debemos de verificar la cantidad del flujo que circula en la línea de combustible siendo esta un mínimo de 4 galones por minuto.
- Restablecer sistema desde pantalla, el procedimiento a seguir es presionar un botón en el sistema de arranque el cual permite eliminar todas las alarmas o condiciones anormales anteriores al arranque.
- Hacer el barrido, este paso consiste en abrir los dámpers de los ventiladores para desalojar los gases de la combustión del hogar de la caldera a fin de reducir explosiones o contra fogonazos al momento de iniciar el arranque del quemador, este procedimiento dura aproximadamente 30 segundos (cuando es una emergencia y el combustible principal es el bagazo) y 200 segundos cuando solo se está trabajando con bunker C, permitiendo evacuar los gases hacia la chimenea.

a.d Arrancar quemador

Pasos a seguir para la puesta en marcha del primer quemador de la caldera, para esto seguir las siguientes recomendaciones.

- Al haber terminado de hacer el barrido de la caldera, se debe de abrir manualmente la válvula automática del combustible 15% para el encendido rápido.

- El flujo de aire de combustión se manejará manualmente suministrando un flujo aproximado del 20%, a fin de evitar que la llama se apague por exceso de aire.
- Arrancar quemador y observar que se dé la ignición primaria utilizando para esto el propano, 20 segundos después deberá hacerse la transferencia del propano al petróleo, manteniéndose así la combustión continua.
- Automatizar el control de aire para la combustión, aquí el control mantiene una relación de aire y combustible adecuada a fin de tener una combustión eficiente.
- Como es un arranque en frío la presión de la caldera debe de incrementarse gradualmente siguiendo una curva de arranque, manteniendo así ciertas condiciones de operación para no variar la temperatura del domo en más de 100°F en una hora, esto es para garantizar un calentamiento uniforme, reduciendo así los esfuerzos térmicos de la tubería de la caldera.

La curva de arranque siguiente define el tiempo en horas necesario para incrementar cierto gradiente de presión a fin de mantener las condiciones de operación dentro de los rangos permisibles.

Tabla I. Curva de arranque caldera 5

Tiempo	Presión domo	Gradiente presión
h	Psig	Psig/min
0.00	0.00	0.00
0.50	5	0.20
1.00	20	0.50
1.50	60	1.30
2.00	125	1.30
2.50	225	4.10
3.00	380	5.20
3.50	600	7.30
4.00	900	10.00

Fuente: Operators Manual. General Electric.

a. e Habilitar sistema de atemperación

Pasos a seguir para la puesta en línea del sistema de atemperación, esto generalmente se ejecuta desde los monitores remotos en el panel de la caldera y debe de haber cierta coordinación entre los operadores de cuarto de control, operador mecánico de la caldera y operador mecánico del turbogenerador.

- Abrir válvula de pie línea de atemperación.
- Abrir válvula automática de atemperación.
- Revisar accionamiento automático de la válvula de control.

a.f Sostenimiento del nivel de la caldera

Pasos a seguir para mantener el nivel de agua en la caldera, siendo los encargados de esta labor el operador de cuarto de control en coordinación con el operador mecánico de la caldera.

- Rellenar caldera con bomba de alimentación dependiendo de la demanda de agua, manteniendo el nivel a la mitad del domo superior.
- Monitorear nivel desde panel del operador.
- Revisar que válvula de purga de fondo esté cerrada.
- Revisar que válvulas de los cabezales estén cerradas.

a.g Levantar vacío en turbogenerador

Pasos a seguir cuando la presión de vapor en la caldera esté cercana a 300 psi, este procedimiento lo ejecuta el operador mecánico del turbogenerador, en coordinación con el operador de cuarto de control de la caldera.

- Verificar que la válvula general de la caldera esté cerrada.
- Abrir válvulas de agua de enfriamiento y revisar nivel del tanque de sellos.
- Arrancar bomba de vacío, este procedimiento se realiza generalmente antes de que se abra la válvula general de la caldera a fin de que ya se tenga vacío en el condensador cuando el vapor circule por él.
- Desalojar aire del enfriador de la bomba de vacío para facilitar el arranque.
- Verificar que vacío se mantenga en 25 pulgadas de mercurio.
- Habilitar y arrancar eléctricamente bomba de condensados (Hotwell).

a.h Abrir válvula general de caldera

A determinada presión la válvula principal de la caldera debe de abrirse, a fin de evitar variaciones bruscas de presión de vapor y nivel de agua en la caldera, a continuación se describen los pasos a seguir:

- Verificar que las purgas de la línea de vapor principal hacia la turbina estén abiertas, a fin de que cuando se abra la válvula de bypass y general, el condensado en la línea o cualquier posible arrastre sea eliminado hacia el drenaje.
- Verificar que válvula stop del turbogenerador esté cerrada.
- Verificar que las válvulas de control de la turbina estén cerradas.
- A 300 psi de presión en la caldera, abrir gradualmente válvula general de la caldera, la apertura de la válvula debe ser lenta para evitar oscilaciones de nivel.

a.i Arranque de bomba de aceite

- Arrancar bomba auxiliar de aceite de 30 Hp de modo automático y verificar que la presión de descarga sea de 150 psi.
- Parar bomba de aceite de 10Hp y colocarla de modo automático, estas disposiciones son para asegurar un suministro de aceite continuo cuando haya una caída de presión o una interrupción de la energía eléctrica.
- Verificar el flujo de aceite en las mirillas de las chumaceras y sellos de aceite del turbogenerador.
- Procedimiento a ejecutarse cuando la presión en la caldera sea de 300 psi.

a.j Liberar turbina y lock outs.

Pasos a seguir cuando la presión de vapor en la caldera sea de 300 psi, estos procedimientos los debe de realizar el operador mecánico y operador eléctrico del turbogenerador.

- Verificar que la presión de aceite en las chumaceras y gobernador de la turbina sean de 30 psi y 150 psi.
- Revisar que motor de volteo esté en línea.
- Revisar que turbina esté en rotación.
- Verificar que nivel de agua en la caldera este a la mitad.
- Revisar que los drenajes de la línea de vapor principal estén abiertas.
- Revisar que las válvulas de control de la turbina estén cerradas.
- Liberar turbina, es decir eliminar todas las condiciones de alarma que pudieran evitar que la turbina pueda iniciar su rotación y funcionamiento normal, esto permite abrir la válvula stop, si las condiciones anteriores no se cumplen la válvula stop no abrirá y no se podrá rotar la turbina con vapor.

- Cerrar circuito eléctrico o lock outs del turbogenerador, este es un interruptor o mecanismo de protección de apertura y cierre el cual se abre cuando una o más condiciones de operación se salen del rango de funcionamiento normal, es decir se deben de cumplir ciertas condiciones para que éste interruptor pueda cerrarse. Las causas que provocan el disparo o apertura del interruptor son: Sobre corriente, potencia inversa, sobre velocidad de la turbina, disparo manual, alto nivel en la caldera y bajo vacío.

a.k Precalentar válvulas de control turbina

Pasos a seguir cuando la presión de vapor en la caldera sea de 300 psi.

- Revisar que válvulas de control de la turbina estén cerradas
- Ver que válvula stop de la turbina esté abierta.
- Calentar la carcasa de la turbina permitiendo que un flujo de vapor pase por ellos, este calentamiento debe ser gradual a fin de permitir el calentamiento uniforme de las válvulas y partes de la turbina, además se debe de mantener una condición impuesta por el fabricante de no incrementar la temperatura del metal a más de 500°F en una hora, esto para reducir toda posibilidad de distorsión, ésta temperatura se puede controlar abriendo o cerrando la válvula stop de la turbina.

a.l Atomización con vapor en la caldera

Pasos a seguir cuando la presión en la caldera sea de 250 psi.

- Abrir drenajes y verificar funcionamiento de las trampas de vapor.
- Abrir válvula manual de vapor.
- Cambiar atomización de aire por atomización de vapor en los quemadores, abriendo válvulas de vapor y cerrando las válvulas de aire, esto permite que la caldera sea autónoma y la combustión sea más eficiente.
- Cambiar calentamiento de petróleo, de calentador eléctrico a calentamiento a vapor.
- Deshabilitar calentador eléctrico.

a.m Acondicionar parámetros de caldera

- Incrementar presión de la caldera de acuerdo a la curva de arranque y mantener parámetros de diseño para iniciar la rotación de la turbina, siendo éstas 750 psi de vapor y 750°F entrando a la turbina.
- Suministrar agua de alimentación a la caldera dependiendo de la demanda, para esto utilizar la bomba principal de alimentación, ya que el flujo de agua se ha incrementado.

a.n Arrancar motores torre de enfriamiento

Pasos a seguir para la puesta en marcha de los equipos de la torre de enfriamiento:

- Revisar válvulas de succión y descarga estén abiertas.
- Revisar nivel de aceite de cojinetes y reductor.
- Abrir válvula de retorno hacia piscina de torre.
- Arrancar bomba de recirculación 1, verificar presión de descarga esté en 30 psi y un flujo de agua de enfriamiento.
- Arrancar bomba de recirculación 2.
- Arrancar ventiladores de torre de enfriamiento, estos se utilizan para enfriar el agua de enfriamiento a fin de que retorne al sistema con una temperatura de 90°F.

a.ñ Rotación de la turbina

Procedimientos necesarios para la puesta en marcha de la turbina, el encargado de estos procedimientos es el operador mecánico del turbogenerador.

- Verificar que la temperatura de la sección de baja presión de la turbina sea menor a 225°F.
- Verificar que la presión y temperatura de vapor estén dentro de los rangos establecidos, es decir 750 psi y 750°F de temperatura.
- Verificar que la bomba de aceite del turbogenerador esté en línea y con una presión de descarga de 150 psi, además ver que haya flujo de aceite en las mirillas de cada chumacera.
- Sacar de línea enfriador de aceite, es decir cerrar válvulas de entrada y salida del agua de enfriamiento para mantener una temperatura mayor a 130°F, esto se hace para tener la viscosidad adecuada del aceite y no esté muy frío.
- Abrir válvulas de control o de incremento de velocidad gradualmente y ajustando la velocidad a 500 revoluciones por minuto, esto se hace verificando el tacómetro digital y

manteniéndose con esa velocidad por 45 minutos ya que es un arranque en frío, ésta es una condición necesaria para reducir la deflexión del eje de la turbina.

- Parar motor de volteo, ya que éste se desengancha al tener una velocidad de 20 rpm, pero queda en línea.
- Si ocurre algún disparo o falla de energía eléctrica, después de 15 minutos de rotación con vapor a 500 revoluciones, el arranque será en caliente.

a.o Fijar velocidad de turbina

- Verificar que temperatura de aceite esté en 130°F.
- Incrementar velocidad de la turbina a razón de 120 revoluciones por minuto, este es un procedimiento de arranque en frío, es decir cuando la turbina ha estado parada por más de 12 horas. En un arranque en caliente después de un disparo el incremento de velocidad será de 360 revoluciones por minuto.
- Al llegar a las velocidades críticas de la turbina, que son 1800 r.p.m. y 2200 r.p.m. el incremento de velocidad deberá ser más rápido de lo normal, a fin de reducir la vibración por resonancia de la máquina a éstas velocidades.
- Fijar la velocidad nominal de la turbina a 3600 r.p.m.
- Poner en servicio el enfriador de aceite, abriendo las válvulas de entrada y salida del agua de enfriamiento.
- Arrancar las bombas Booster, estas bombean agua a los enfriadores de hidrógeno, a fin de mantener por debajo de 175°F la temperatura de los devanados del generador.

a.p Arrancar bomba de alimentación caldera

- Verificar que nivel de agua del tanque DM esté en 70%. Esto se hace verificando el nivel visual o desde los monitores en el centro de control.
- Verificar que posición de las válvulas en la línea de agua de alimentación hacia la caldera sean las correctas, a fin de evitar una sobre presión que pueda dañar los empaques o válvulas.
- Verificar lubricación y enfriamiento en el sistema bomba y motor.
- Arrancar bomba de alimentación de caldera, observando que la presión descarga esté en 1100 psi y con un flujo que dependerá del nivel de la caldera y el consumo de vapor en la turbina.
- Observar ruidos, rozamientos y temperaturas anormales.

a.q Autorización para entrar línea

El operador de tablero debe de pedir la autorización al centro de despacho D-1 (AMM), para poder sincronizar y entrar a generar energía eléctrica con el turbogenerador, a fin de que con tiempo ellos puedan hacer las regulaciones necesarias en el sistema de generación de energía. Informarle al centro de despacho mayorista de la capacidad, tiempo estimado para entrar a línea y la empresa generadora.

a.r Levantar voltaje y frecuencia

- Verificar condiciones de operación de la caldera y turbogenerador.
- Cerrar breaker de campo de excitatriz rotativa.
- Arrancar excitatriz rotativa, es decir aplicar un voltaje de 120 voltios de corriente directa al turbogenerador a fin de generar en el rotor un campo magnético, para recobrar la remanencia del turbogenerador.
- Verificar que el voltaje de la máquina este en 13.8Kv, para esto graduar el voltaje con el regulador de voltaje.
- Habilitar el panel de sincronismo, para verificar lecturas en el voltímetro, frecuencímetro y el sincronoscopio.
- Cerrar breaker principal del turbogenerador, siempre y cuando la frecuencia de la máquina sea de 60 hertz y la aguja del sincronoscopio esté en el punto neutral, esto nos indica que ya estamos sincronizados con la empresa eléctrica.
- Comprobar lecturas con los instrumentos análogos. Es decir monitorear la corriente, voltaje, carga eléctrica, factor de potencia.
- Tomar carga entre 0.5 Mw y 1.5 Mw

a.s Ajustar sellos de vapor

Habilitar regulador de sellos de vapor, ajustando la presión a 2 psi, es decir mantener una presión de vapor en los extremos de la carcasa y eje de la turbina a fin de evitar entradas de aire al sistema en el extremo del condensador y evitar fugas de vapor en el lado de alta presión de la turbina.

a.t Incrementar carga turbogenerador

Para incrementar carga en el turbogenerador es necesario verificar que ciertos parámetros estén dentro del rango permitido por el fabricante.

- Verificar presión y temperatura estén en 850 psi y 905°F entrando a la turbina, esto garantiza que en ningún momento el vapor lleve humedad y por tanto dañar las partes móviles de la turbina.
- Incrementar carga a 2.0 Mw y permanecer así hasta que la temperatura de la sección de baja presión de la turbina sea menor a 150°F, esto evita el incremento anormal de la temperatura de ésta sección, reduciendo así toda posibilidad de distorsión de la carcasa de la turbina.
- Hacer la transferencia de auxiliares de la planta, es decir la energía consumida durante el arranque inicial es suministrado por la empresa eléctrica y a 2.5 Mw el sistema puede ser independiente y autónomo por lo que el generador puede suministrar la energía consumida por todos los equipos auxiliares, esto se consigue cerrando el interruptor de auxiliares y abriendo el interruptor de la barra de arranque.
- Parar bomba de aceite de 30 caballos de potencia y dejarla en posición automático, esto garantiza que al haber baja presión de aceite en la línea un switch de presión accionará la bomba y entrará a línea.
- Incrementar carga en el generador a razón de 1 Mw cada 10 minutos; este procedimiento se hace debido a que es un arranque en frío y para evitar oscilaciones en el nivel de agua en la caldera, reducir las variaciones de presión en la caldera y reducir los esfuerzos térmicos. En la tabla II, se describe los rangos permisibles, donde a cada presión y temperatura de vapor de entrada a la turbina le corresponde cierta carga eléctrica en el turbogenerador.
- Cerrar las purgas y drenajes de la línea de vapor principal cuando la carga del generador sea de 5.0 Mw esto garantiza que el vapor frío sea desalojado de la tubería.
- Arrancar bomba Nash.

Tabla II. Incremento de carga eléctrica en el turbogenerador

Carga	Presión entrada	Temperatura entrada
MW	PSI	°F
-	750	750
2.50	780	780
5.00	800	800
7.50	810	820
10.00	810	840
12.50	820	860
15.00	820	880
17.50	830	890
20.00	850	905
22.00	850	905

Fuente: Operators Manual. General Electric.

a.u Cerrar válvulas de venteo caldera

Para que este procedimiento pueda realizarse debe de haber coordinación entre el operador de cuarto de control de la caldera y operador mecánico de caldera.

- Cerrar válvula de venteo manual, esta se cierra generalmente cuando la producción de vapor en la caldera sea de 10 mil libras, a fin de mantener un flujo de vapor constante hacia los sobrecalentadores de la caldera.

a.v Incrementar presión en caldera

- Incrementar presión de vapor de la caldera, ajustando el flujo de combustible, dependiendo de la presión, temperatura del vapor y la carga eléctrica en el turbogenerador.
- Incrementar presión siguiendo la curva de arranque de la caldera.
- Habilitar o abrir válvula de purga continua, a fin de que cuando los parámetros químicos de la caldera se normalicen se pueda entonces controlar los sólidos disueltos y en suspensión del agua de la caldera.

a.w Completar carga del generador

Para que estos procedimientos se puedan ejecutar debe de haber una íntima comunicación entre los operadores de caldera y turbogenerador a fin de definir los parámetros de operación y carga de la máquina.

- Normalizar los parámetros de vapor en la caldera, es decir 850 psi, 905°F de vapor y verificar nivel de agua.
- Completar carga del turbogenerador a 22.0Mw que es la capacidad nominal del generador.
- Informar al centro de despacho D-1 (AMM), de que se completó la generación eléctrica.
- Normalizar los parámetros de operación en la caldera. Puntos de referencia de los ventiladores forzados e inducidos, nivel de agua, etc.
- Normalizar los parámetros de operación del turbogenerador. Es decir presión de vapor en las extracciones, niveles de agua en los calentadores, nivel del tanque de condensados del pozo caliente.
- Normalizar parámetros eléctricos en el generador. Factor de potencia, potencia reactiva y voltaje del generador.

a.x Arranque caldera con bagazo

Este procedimiento es válido solo en tiempo de Zafra, es decir en el periodo de molienda de la caña de azúcar, que es cuando se generan grandes cantidades de bagazo disponible para el consumo en la caldera, los involucrados para que este procedimiento se pueda ejecutar son el operador de cuarto de control y operador mecánico de la caldera.

- Habilitar circuito eléctrico ventilador over fire y conductores de bagazo.
- Verificar lubricación y arrancar los alimentadores de bagazo y empezar a quemar bagazo en la caldera, iniciando con un porcentaje mínimo del 5% hasta un máximo de 100%.
- Ajustar presión de aire forzado y rejillas de la parrilla dependiendo del porcentaje de bagazo quemado en la caldera, asegurando así una buena relación de aire y combustible manteniendo para ello un exceso de oxígeno, que oscila en el rango de 2.50-5.00% de oxígeno que es el punto donde se tiene la mayor eficiencia de combustión en la caldera, este parámetro se obtiene de analizar los gases de combustión a la salida de la caldera.

2. Procedimientos de arranque en caliente

Los procedimientos de arranque en caliente definen las medidas o pasos a seguir cuando se tiene un disparo, define cuales son los equipos que necesitan mayor atención, quienes son los responsables de ejecutar los procedimientos y como restablecer las condiciones normales de operación de la planta cuando la falla o parada de los equipos dura menos de 12 horas.

Dentro de los factores que afectan el funcionamiento de la planta termoeléctrica se pueden subdividir en disparos o interrupciones que provocan una reducción de la generación de energía eléctrica y los que provocan la interrupción total del proceso.

a. Disparos que provocan reducción de carga

Los procedimientos de reducción de carga definen los pasos a seguir cuando se tienen interrupciones o disparos parciales que provocan una reducción de la carga eléctrica en el turbogenerador, dentro de los disparos que disminuyen únicamente la generación de electricidad están

- Disminución de la presión de vapor en la caldera, estas variaciones se deben a las siguientes fallas o condiciones anormales:
 1. Disparo de un quemador.
 2. Variaciones en la humedad del bagazo de la caña de azúcar.
 3. Disparo del sistema de alimentación de bagazo.
 4. Disparo de algún ventilador de la caldera.
- Variaciones de frecuencia eléctrica en la red, ocurre por factores externos y depende de la empresa eléctrica la normalización de este parámetro.
- Disparo de un ventilador en el sistema de enfriamiento.
- Bajo vacío en el condensador, provocando un incremento en la presión en la última etapa de la turbina.

1) Disparo parcial de la planta

Los procedimientos de reducción de carga definen los pasos a seguir, cuando se tienen interrupciones parciales que disminuyen la capacidad de generación de electricidad.

- Identificar el significado de la alarma en el cuarto de control de la caldera y turbogenerador, es decir reconocer que es lo que está pasando en la planta y definir en que afecta el disparo al sistema, antes de tomar las acciones correctivas al proceso.
- Si el disparo o falla es parcial, una de las medidas inmediatas es reducir gradualmente la carga eléctrica en el turbogenerador dependiendo del nivel de agua en la caldera, flujo, presión y temperatura de vapor de la caldera, hasta estabilizar el proceso, siendo 650 psi y 750°F las condiciones mínimas de vapor de operación confiable de la turbina.
- Informar al centro de despacho mayorista de las maniobras de reducción de generación de energía eléctrica y la causa de la misma.
- Identificar, corregir la falla y restablecer el funcionamiento de la planta.
- Incrementar gradualmente la presión de vapor en la caldera aumentando el consumo de petróleo y bagazo, dependiendo de la carga en el turbogenerador.
- Incrementar carga eléctrica en el turbogenerador, tomando como referencia los parámetros de operación de la caldera y turbogenerador:
 1. El nivel de agua en la caldera debe estar a la mitad del domo superior.
 2. Las condiciones mínimas de operación de la turbina son 650 psi y 750°F de presión y temperatura de vapor.
 3. La temperatura de la sección de baja presión de la turbina debe ser menor a 150°F de temperatura.
 4. El vacío en el turbogenerador debe ser mayor a 25.4 pulgadas de mercurio.
 5. Temperatura de las chumaceras menor a 150°F.
- El incremento de carga en el turbogenerador se debe hacer según la curva de arranque y en la cantidad requerida por el despacho mayorista D-1.
- Notificar al centro de despacho mayorista, de que ya se restablecieron las condiciones de operación en la planta termoeléctrica.

b. Interrupción total del proceso

Los procedimientos de arranque en caliente definen los pasos o medidas a tomar en cuenta cuando se tienen disparos que interrumpen completamente el proceso de generación de electricidad, para esto se define una secuencia lógica siguiendo normas de seguridad y recomendaciones del fabricante de los equipos y maquinaria a fin de restablecer de una manera ordenada y lógica las condiciones de operación de la planta, las causas que provocan la interrupción total del proceso están:

- Falla en el sistema de alimentación de agua, esto provoca una disminución súbita del nivel del domo de la caldera, esto generalmente provoca el disparo de la planta como medida de protección a fin de evitar grietas, fugas y daño en la tubería de la caldera.

- Alto nivel de agua en la caldera, provoca un disparo total de la planta y es una medida de protección para la turbina a fin de evitar arrastres de agua hacia el turbogenerador.
- Disparo de los quemadores, esto provoca el disparo total de la planta y ocurre generalmente cuando las condiciones de operación se salen del rango de operación normal, entre las causas que provocan disparo de los quemadores están:
 1. Alta presión de vapor, la caldera cuenta con un sistema de protección contra elevadas presiones el cual consta de un switch de presión que está calibrado a 905 psi, el cual abre un circuito eléctrico cuando la presión sobrepase ese rango disparando los quemadores y sistema de alimentación de bagazo, provocando con ello una disminución progresiva de la presión de vapor, disparándose posteriormente el turbogenerador.
 2. Baja presión de vapor de atomización, los quemadores se disparan cuando la presión de vapor de atomización disminuye a 150 psi, esto con el propósito de evitar una combustión incompleta del petróleo, en el hogar de la caldera.
 3. Falla del aire de instrumentación: El aire comprimido es vital para la automatización y buen funcionamiento de los equipos de control de la planta, los cuales operan eficientemente en el rango de presión de 60psi a 100 psi, por lo que al disminuir la presión por debajo de este rango se dispara la caldera y turbogenerador a fin de evitar mediciones erróneas y fallas en los equipos de medición y control.
 4. Disparo de los ventiladores de la caldera.
- Descargas electro atmosféricas: Estos disparos son provocados por las condiciones climáticas, es decir por las fuertes lluvias que provocan relámpagos y rayos, que interrumpen momentáneamente la distribución de la energía eléctrica en las líneas de transmisión.
- Falla en la tensión de la red: El disparo de la planta es provocado por una causa externa, provocando la interrupción del voltaje, este disparo o rechazo de carga ocurre cuando se tiene una falla en las líneas de transmisión o apertura de un interruptor en las líneas de transmisión y distribución.
- Falla en el cojinete de empuje de la turbina: Al fallar el cojinete de empuje se dispara la turbina como una medida de protección, a fin de evitar que las partes móviles y estacionarias entren en contacto, este disparo generalmente ocurre cuando la presión de aceite en el cojinete sobrepasa las 25 libras/plg.
- Bajo vacío en el condensador: El disparo por bajo vacío ocurre cuando éste disminuye a 20.5 pulgadas de mercurio y es provocado generalmente:
 1. Por fugas o entradas de aire en el condensador de la turbina.
 2. Suciedad en los equipos de transferencia de calor.
 3. Disparo de la bomba de vacío.
 4. Disminución del caudal de agua de enfriamiento.

- Disparo del sistema de enfriamiento, al dispararse los ventiladores y bomba de recirculación de agua de enfriamiento se interrumpe la transferencia de calor de los equipos que generan calor al agua de enfriamiento por tanto, como medida de protección es importante disparar manualmente la planta a fin de evitar el riesgo de falla inminente de los equipos.
- Disparo de emergencia vía operador, es provocado intencionalmente por el operador de la caldera y turbogenerador cuando las condiciones de operación se vuelven riesgosas, a fin de evitar en lo posible daños y fallas permanentes en los equipos que conforman la planta termoeléctrica.

1) Disparo total de la planta

Ante un disparo identificar las fallas o condiciones anormales viendo los monitores del cuarto de control de la caldera y en los tableros.

Permitiendo con ello reconocer que está pasando y en qué condiciones está la planta termoeléctrica. Si el disparo provoca la interrupción total del proceso, prestar mayor atención a las recomendaciones que a continuación se describen.

- Si hay voltaje suministrado por la empresa eléctrica hacer lo siguiente:
 1. Arrancar compresor de aire para restablecer el funcionamiento de las válvulas neumáticas y controles de la caldera y turbogenerador.
 2. Arrancar bomba de alimentación de la caldera a fin de mantener el nivel de agua dentro del rango de operación mínima.
 3. Rellenar de agua el tanque de pozo caliente con agua de la planta desmineralizadora.
 4. Abrir venteo a fin de desalojar las sobre presiones en la caldera.
 5. Verificar arranque en automático de la bomba auxiliar de aceite de 30Hp, para lubricación de las chumaceras y el sistema de gobernación de la turbina.
 6. Arrancar motor de volteo lento para rotación de la turbina.
 7. Arrancar extractor de vapor de la turbina.
 8. Arrancar bomba del sistema de hidrógeno.
 9. Arrancar bomba de recirculación para enfriamiento.
- Si no hay voltaje, arrancar planta diesel de emergencia a fin de suministrar energía eléctrica necesaria para mantener en operación como mínimo:
 1. Una bomba de emergencia para mantener el nivel de agua en la caldera.
 2. Un compresor de aire para el accionamiento de los equipos neumáticos y de control de la caldera y turbogenerador.
 3. Una bomba auxiliar de aceite de 10Hp para lubricación de chumaceras de la turbina y control del gobernador del turbogenerador.

4. El motor de volteo para mantener en rotación la turbina, a fin de evitar distorsión y sobre calentamiento de las chumaceras.
 5. Iluminación en tableros y cuarto de control de caldera.
 6. Solicitar al centro de despacho mayorista D-1 el restablecimiento del voltaje en las líneas de transmisión.
- Si no hay voltaje ni planta diesel de emergencia en línea verificar:
 1. El arranque en automático de la bomba auxiliar de aceite de corriente directa, para lubricación de las chumaceras y gobernador de la turbina.
 2. Rotar la turbina manualmente, a fin de evitar distorsión y sobre calentamiento de la chumaceras de la turbina.
 3. Cerrar todas las válvulas de salida de vapor en la caldera a fin de reducir el consumo de agua, para mantener en lo posible el nivel en el domo.
 - Informar al centro de despacho de la interrupción total del proceso de generación de electricidad:
 1. Si el disparo fue causado por una falla interna, informar al centro de despacho la causa y el tiempo estimado para estar nuevamente en línea.
 2. Si el disparo fue provocado por una falla externa, informar y solicitar al centro de despacho mayorista D-1 el restablecimiento de los parámetros para poder reiniciar el proceso de generación.
 - Identificar la causa del disparo o falla, corregirla y restablecer los parámetros mínimos de operación de la planta termoeléctrica.
 - Eliminar todas las alarmas en el cuarto de control de la caldera y tableros del turbogenerador, a fin de poder restablecer todos los parámetros de operación.
 - Habilitar variadores de frecuencia de los motores eléctricos.
 - Arrancar ventiladores inducidos, forzados, de petróleo y over fire de la caldera.
 - Preparar quemadores, además verificar presión de vapor en la caldera:
 1. Si la presión de vapor en la caldera es mayor a 250 psi la atomización y calentamiento del petróleo se hará con vapor.
 2. Si la presión de vapor en la caldera es menor a 250 psi la atomización será con aire comprimido y el calentamiento utilizando un calentador eléctrico.
 - Iniciar procedimientos de barrido de gases de la caldera.
 - Arrancar quemador.
 - Restablecer el sistema de enfriamiento y vacío en el turbogenerador.
 - Incrementar temperatura y presión de vapor en la caldera, hasta alcanzar las condiciones mínimas para rotación de la turbina.
 - Arrancar bomba de alimentación de agua para suministro de la caldera.
 - Solicitar autorización al centro de despacho mayorista para entrar a línea.

- Rotación de la turbina con vapor a 500 rpm por 15 minutos.
- Fijar velocidad de la turbina.
- Levantar voltaje y frecuencia del generador.
- Incrementar carga eléctrica en el turbogenerador a razón de 1 Mw/min, esto por ser un arranque en caliente.
- Cerrar válvulas de venteo de la caldera.
- Incrementar presión y temperatura de vapor en la caldera, ajustándose a la carga eléctrica del turbogenerador.
- Completar carga eléctrica en el turbogenerador, la carga eléctrica máxima entregada será según los requerimientos del mercado mayorista D-1.
- Iniciar a consumir bagazo en el hogar de la caldera.
- Informar al centro de despacho mayorista del restablecimiento de la generación de electricidad en la planta.

3. Procedimientos de parada

Para sacar de línea la planta termoeléctrica es necesario seguir ciertas recomendaciones y una secuencia lógica, para evitar fallas o daños en los equipos ya que la probabilidad de fallas en una máquina se incrementan en los arranques y paradas, por lo que es necesario poner mayor atención en estos aspectos operativos, a continuación se describen los pasos y recomendaciones a tomar en cuenta al sacar de línea la planta térmica.

- Bajar carga eléctrica en el turbogenerador a razón de 1 Mw/min, evitando con ello variaciones bruscas en la presión de vapor y nivel de agua en domo de la caldera.
- Informar al mercado mayorista D-1, de la reducción de carga para salir de línea, indicar motivos y el tiempo estimado de la parada.
- Disminuir la presión de vapor en la caldera, de acuerdo con la reducción de carga en el generador, para esto es necesario disminuir el consumo de combustible en la caldera, siendo la reducción del petróleo en automático y el bagazo manualmente.
- Con 10.0Mw en el turbogenerador disminuir hasta cero el consumo de bagazo.
- Limpiar hogar de caldera y parar alimentadores de bagazo.
- Parar ventilador 1 en la torre de enfriamiento.
- Sacar lanza de los quemadores y verificar que el retorno de petróleo este abierto, esto se hace para evitar la distorsión en la lanza debido al calor almacenado en la caldera y reducir la presión de petróleo en la línea de combustible.
- Con 5.0 Mw de carga en el turbogenerador hacer la transferencia de auxiliares a transformador de servicio, es decir el consumo eléctrico que antes de la reducción de

carga era abastecida por el turbogenerador ahora será suministrada por el sistema de electrificación nacional.

- Verificar que bombas auxiliares de aceite estén en automático
- Con una carga eléctrica en el turbogenerador de 2.0Mw habilitar venteo automático y abrir venteo manual tres vueltas, esto se hace para evacuar gradualmente la presión y garantizar un flujo de vapor en los sobrecalentadores de la caldera.
- Parar bomba de enfriamiento del sistema de hidrógeno.
- Disparar caldera, verificar que las válvulas automáticas de combustible estén cerradas y no haya fuego en el hogar de la caldera.
- Con una carga eléctrica de 0.50 Mw sacar de línea el turbogenerador, abriendo el interruptor principal, en ese momento se deja de generar energía eléctrica, pero la turbina aún queda en rotación con vapor a 3600 revoluciones por minuto.
- Disminuir velocidad de la turbina, cerrando gradualmente las válvulas de control, cuando se haga esto es necesario prestar más atención para cuando se haga la transferencia de la bomba de aceite principal a la bomba de aceite auxiliar, para ello observar manómetro de presión y mirillas instaladas en cada chumacera.
- Parar ventiladores de caldera y bloquearlos para evitar su arranque posterior.
- Cuando la turbina esté a punto de detenerse enganchar turbina con motor de volteo, a fin de mantener una rotación continua de 4 revoluciones por minuto por 12 horas, esto se hace por varias razones, evitar la deformación axial del eje de la turbina debido a las altas temperaturas de vapor al cual fue sometido, reducir la transferencia de calor del eje a las chumaceras evitando con ello el daño de las mismas.
- Verificar nivel de agua en caldera.
- Embotellar caldera, esto significa cerrar todas las salidas de vapor y agua, además cerrar todos los registros en la caldera a fin de aislarla completamente, esto evitará el enfriamiento brusco de la tubería y disminuirá la demanda de agua.
- Parar ventilador 2 en la torre de enfriamiento, después de cuatro horas de haber sacado de línea el turbogenerador, verificar temperaturas de las chumaceras y parar bomba de agua de enfriamiento.
- Parar compresor de aire.

a. Procedimientos de reducción de carga

Estos procedimientos de reducción de carga eléctrica dependen generalmente de condiciones externas o internas al proceso, programas definidos ya sea por el mercado de mayorista o paradas de mantenimiento programadas que requieran parar alguno de los equipos

principales o auxiliares que reducen la capacidad de generación de energía eléctrica en la planta.

b. Procedimientos de emergencia

Los procedimientos de emergencia definen las acciones correctivas a seguir cuando se tienen fallas internas o externas que afectan al proceso de generación de energía eléctrica, de esto depende la seguridad de los operarios de la planta y la preservación de la maquinaria. Para esto es necesario que los procedimientos de operación de la planta sean aplicados, es decir cada trabajador debe tener un lugar definido y unos deberes específicos que cumplir.

- Solamente se podrá dar órdenes, estando en el lugar de la emergencia.
- El supervisor de turno de planta es el encargado de coordinar las maniobras correctivas y el solicitar ayuda si lo amerita, además es el obligado en verificar que los procedimientos establecidos se cumplan.
- Reconocer que es lo que está sucediendo, antes de definir las acciones correctivas al proceso.
- Identificar y corregir la falla.
- Restablecer las condiciones de operación normal.

4. Procedimientos de operación normal

Los procedimientos de operación normal definen las rutinas de inspección y control de los equipos que conforman el proceso, donde además se analizan las variables operativas que requieren más atención y que permiten dar información del comportamiento de los equipos, ésta es la función primordial del personal operativo, además es el encargado de coordinar con el personal de mantenimiento las correcciones o mejoras en el proceso.

a. Control de eficiencia energética

Este procedimiento es uno de los más importantes porque define en sí la cantidad de combustible a quemar, la transferencia y pérdida de energía en cada proceso, el control de la eficiencia del proceso se realiza por etapas, es decir se analizan separadamente la caldera y turbogenerador, donde se efectúan pruebas de eficiencia, analizando todos los parámetros de operación.

b. Operación de la caldera

El registro de datos de la operación de la caldera es un instrumento valioso para identificar las pérdidas de eficiencia y sus causas. El registro continuo de los datos reales de operación resalta las desviaciones de un funcionamiento normal y sirve para señalar las áreas que necesitan mayor atención. Las lecturas específicas que deberán tomarse y la frecuencia de los registros se llevaran a cada hora y los encargados de recabar ésta información son los operadores mecánico y de cuarto de control de caldera, el propósito es establecer un programa de recopilación de datos que sea útil para mantener la eficiencia operativa de la caldera. El registro completo de la operación de la caldera comprende la siguiente información:

- Datos generales para establecer la producción de vapor:
 1. Flujo de vapor en libras por hora.
 2. Presión de vapor en la línea principal en psi.
 3. Temperatura del vapor sobrecalentado.
- Datos del agua de alimentación:
 1. Presión de agua de alimentación en psi.
 2. Flujo de agua de alimentación en galones por minuto.
 3. Nivel de agua en la caldera.
 4. Nivel del agua de reposición.
- Datos del sistema de combustión:
 1. Flujo, presión y temperatura en la estación de petróleo.
 2. Flujo, presión y temperatura de petróleo en los quemadores.
 3. Flujo y temperatura del aire forzado.
 4. Ajustes en las compuertas de aire en los quemadores.
 5. Porcentaje de bagazo quemado.
 6. Apertura de compuertas de bagazo en el hogar.
 7. Eficiencia del sistema en Kwh/gal.
- Indicación del flujo de aire:
 1. Porcentaje de oxígeno en la entrada del precalentador.
 2. Amperaje de los ventiladores inducidos y forzados.
 3. Presión de la caja de aire en el hogar de la caldera.
- Temperatura de los gases de la chimenea y aire:
 1. Temperatura de gases de combustión salida en la caldera.
 2. Temperatura de gases a la salida del economizador.
 3. Temperatura del aire en el precalentador de aire.
- Indicación de la combustión incompleta:
 1. Medición de CO Y CO₂.

2. Apariencia del humo de la chimenea.
 3. Apariencia de la llama.
- Presiones del aire y de los gases de la chimenea:
 1. Presión de descarga del ventilador de tiro forzado.
 2. Presión del hogar.
 3. Presión de salida de la caldera.
 - La operación de las purgas de fondo y continua de la caldera se hacen dependiendo del nivel y la calidad de agua en la caldera, es decir no se tiene una hora definida para hacerlo, generalmente depende del análisis del laboratorio.
 - Operación de soplado de parrilla y hollín: El soplado de la tubería interna de la caldera y limpieza de la parrilla se realiza generalmente a cada 8 horas.
 - Limpieza de filtros: La limpieza de los filtros de petróleo en la estación de bombeo se hace a cada 7 días, a fin de reducir las pérdidas de presión en la línea de combustible, trabajo realizado por el operador mecánico de la caldera.
 - El cambio de tanque de combustible se efectúa generalmente a cada 24 horas de operación continua, aunque depende del consumo y nivel del tanque.
 - La limpieza de las lanzas y boquillas de los quemadores de petróleo generalmente se hace a cada 48 horas de operación continua y se hace para eliminar partículas no quemadas en las boquillas que reducen la atomización, capacidad y eficiencia en la combustión del petróleo.
 - Pruebas y ajustes en la caldera: Las pruebas de eficiencia y combustión se realizan semanalmente para evaluar el comportamiento de la caldera.
 - Pruebas en válvulas de seguridad, las válvulas de seguridad se accionan generalmente una vez al mes para garantizar su funcionamiento al momento de haber una sobre presión en la caldera.

c. Operación del turbogenerador

El registro de datos del funcionamiento del turbogenerador y auxiliares es una herramienta necesaria para evaluar el comportamiento de la unidad a fin de identificar las fallas o pérdidas de eficiencia, la recopilación de datos se realiza a cada hora y los responsables de los mismos son los operadores mecánico y eléctrico de turno del turbogenerador. El registro completo de la operación del turbogenerador y auxiliares comprende la siguiente información:

- Datos generales de la línea de vapor principal:
 1. Presión de vapor de la línea principal de la turbina en psi.
 2. Temperatura de vapor de la línea principal en la turbina en °F.

3. Presión y temperatura de vapor en las etapas o extracciones de la turbina.
- Datos generales de la línea de condensados:
 1. Temperatura de entrada y salida en los calentadores.
 2. Nivel de condensados en los calentadores de agua.
 3. Nivel de condensados en el condensador.
 4. Flujo y temperatura de condensados en el condensador.
 - Datos generales del sistema de lubricación y control:
 1. Presión de aceite en el gobernador de la turbina.
 2. Presión de aceite en sellos y chumaceras.
 3. Temperatura de entrada y salida de aceite en el enfriador.
 4. Temperatura de las chumaceras.
 - Datos del sistema de hidrógeno en el generador:
 1. Presión de hidrógeno en el generador.
 2. Temperatura de salida y entrada de hidrógeno en los enfriadores.
 3. Porcentaje de pureza de hidrógeno.
 4. Temperatura de los devanados del turbogenerador.
 - Datos del sistema de enfriamiento de la planta:
 1. Diferencial de presión y temperatura de agua de enfriamiento.
 2. Flujo y nivel del agua de enfriamiento.
 - Datos eléctricos del turbogenerador:
 1. Carga eléctrica en Kw.
 2. Factor de potencia.
 3. Voltaje y amperaje del generador.
 4. Frecuencia de operación del generador.
 5. Carga eléctrica de excitación en Kw.
 6. Factor de potencia en el excitador.
 7. Consumo de energía de los equipos auxiliares en Kw.
 - Rutinas de inspección y condiciones normales:
 1. Fugas de vapor.
 2. Vibraciones o ruidos anormales en el turbogenerador y auxiliares.
 3. Mal funcionamiento del equipo.
 - En operación normal el operador de la turbina y generador deberá reportar condiciones anormales, la venta o compra de energía eléctrica a la empresa eléctrica, a fin de llevar un control en las fallas, suministro y compra de energía.
 - Reporte interno, el operador mecánico y eléctrico del turbogenerador deberán hacer un reporte del funcionamiento de la planta al finalizar el turno de 8 horas, a fin de

informar al relevo las condiciones de operación y los puntos que requieren mayor atención.

- El operador eléctrico deberá tomar la lectura del contador de generación de energía, siendo este reporte a cada 8 horas e informar al ingeniero de turno, esto se hace para indicar el promedio de venta en las 8 horas de operación.
- Rotación mensual de los equipos que están parados, a fin de evitar oxidación en las partes mecánicas y humedad en los equipos eléctricos, esto con el propósito de que estén en disponibilidad al momento de ser requeridos.

d. Análisis químico de aguas industriales

El tratamiento químico de aguas industriales comprende el análisis, tratamiento y control de los circuitos de agua de alimentación del ciclo termodinámico de la caldera y turbogenerador, como también del sistema de enfriamiento, para ello en la planta de tratamiento laboran tres personas, una por turno, quienes tienen la obligación de:

- Dosificar los productos químicos necesarios para el mantenimiento del agua del circuito de vapor y enfriamiento, a fin de mantener los parámetros siguientes:
- Son los encargados de la planta de tratamiento químico, velando porque se produzca agua de alta calidad, es decir agua con menor cantidad de sólidos solubles y libres de sílice.
- Revisar que la calidad de agua del pozo este dentro de los rangos permisibles establecidos en la hoja de control de la torre de enfriamiento.
- Coordinar con el operador mecánico de la caldera, para realizar las purgas de fondo y continua, a fin de mantener dentro de los rangos permitidos de operación el agua de alimentación, presión de vapor y condensados del sistema termodinámico.
- El ingeniero químico es el encargado de supervisar la correcta ejecución de los métodos de laboratorio empleados para cada uno de los análisis del agua que se efectúan; así como prever la actualización y revisión de los mismos.
- Llevar control estadístico de los datos de los análisis de la calidad del agua de los siguientes puntos: agua del domo de la caldera, agua de alimentación, agua de condensados, vapor seco, agua de reposición, agua de enfriamiento y agua de relleno al sistema de enfriamiento (bombas de pozo).
- Realizar los pedidos de los productos químicos necesarios para el tratamiento químico del circuito de agua de alimentación en la caldera y torre de enfriamiento.

e. Administración de combustibles

La función primordial del departamento de combustibles es la solicitud, recepción y verificación de la calidad y del consumo de petróleo y bagazo en la caldera. El operador de caldera 5B es el encargado de la descarga de petróleo de las cisternas hacia el tanque de almacenamiento y de trasegar del tanque de almacenamiento a los dos tanques de uso diario, dentro de las responsabilidades del administrador de combustibles están:

- Hacer inventario del combustible que se solicita, recibe y consume en el proceso de combustión de la caldera.
- Solicitar el petróleo, acorde al consumo de combustibles en la caldera, a fin de tener cierto excedente de combustible, además el monitoreo estadístico de los datos promedios de cada día aportados por las bitácoras.

5. Normas de seguridad industrial

La operación y producción de energía eléctrica son actividades de alto riesgo, esto significa que, reconociendo la peligrosidad de los productos que se manejan y de las condiciones en que se procesan, los riesgos se pueden controlar, mediante la aplicación de normas técnicas y procedimientos de trabajo adecuados. La seguridad Industrial desarrolla las siguientes tareas de prevención, sobre las causas del accidente, a efectos de evitar su ocurrencia y protección sobre sus consecuencias, a efectos de minimizarlas.

a. Procedimientos contra incendios

En las distintas etapas del proceso de la planta termoeléctrica, se trabaja con líquidos, gases y equipos eléctricos capaces de generar un alto riesgo de incendio y explosión. Para evitar o minimizar las posibilidades de incendio se deben controlar y eliminar las fuentes de energía, es decir prohibir el uso de elementos que puedan actuar como fuentes de ignición, tales como llamas abiertas, soldadura y equipo eléctrico, en áreas donde haya materiales inflamables. Además mantener distancias de separación entre las zonas donde se produce la fuente de ignición y los posibles lugares con presencia de combustibles, o provisión de barreras físicas entre ambos, a continuación se describen los procedimientos contra incendios en el área de generación.

- Solamente se podrá dar órdenes, estando en el lugar del incendio.

- Reconocer que es lo que está sucediendo, que tipo de incendio es, para en base a ello utilizar los medios extintores necesarios.
- El supervisor de turno de la planta es el encargado de organizar tres grupos de combate contra incendios, siendo estos descritos de la siguiente manera:

EQUIPO A	EQUIPO B	EQUIPO C
Depto. Mecánico	Depto. Soldadura	Depto. Eléctrico
Mecánicos	Soldadores	Electricistas
Ayudantes	Ayudantes	Ayudantes

- Proveer de equipo necesario a los grupo de combate:
- Tanques o pipas contra incendios.
- Mangueras y pitones.
- Extintores dependiendo del tipo de incendio.
- Instalación de tubería fija cerca del siniestro.
- Guantes y equipo de protección personal.
- Trasladarse al lugar del siniestro identificar y eliminar el fuego.

b. Procedimientos contra accidentes

Un accidente es cualquier acontecimiento imprevisto que interrumpe o interfiere el proceso ordenado de una actividad, las lesiones y los accidentes son resultados de actos inseguros o fallas técnicas. Los actos inseguros dependen de las personas y los fallos técnicos dependen de los equipos, es decir un incorrecto mantenimiento de los equipos o un mal diseño de las máquinas y de las instalaciones. Para evitar los accidentes debemos seguir procedimientos y ciertas instrucciones para cada trabajo o actividad a realizar.

- Capacitación y entrenamiento del personal involucrado.
- Simulacros y evaluar las condiciones operativas de la planta termoeléctrica.
- Realizar trabajos con la debida autorización.
- Utilizar protecciones y resguardos en las máquinas e instalaciones.
- Aviso y señalización de las condiciones inseguras o zonas de peligro.
- Utilizar el equipo y herramienta necesaria y adecuada.
- No usar ropa de trabajo inadecuada, demasiado holgada, con manchas de grasa, con cinturones o partes colgantes.
- Mantener orden y limpieza en el área de trabajo.

- Evitar el almacenamiento incorrecto de materiales en los pasillos que obstruyen las salidas de emergencia.
- Reducir los niveles de ruido excesivos.
- Mantener la iluminación adecuada en el área de trabajo.
- Evitar la existencia de los materiales combustibles o inflamables, cerca de focos de calor.
- Planificar inspecciones de áreas y puestos de trabajo con el fin de detectar condiciones inseguras o actos inseguros que puedan derivar en daños a las personas y a las instalaciones.

V. CONCLUSIONES

Se evaluó el funcionamiento y operación de los equipos, identificando y cuantificando los parámetros de diseño y condiciones de trabajo en la planta eléctrica.

1. Con los procedimientos de operación se estableció seguir una secuencia lógica para optimizar el arranque, parada y operación normal de la planta termoeléctrica.
2. Se desarrollaron controles más efectivos en las operaciones para garantizar la seguridad del personal, la integridad de los equipos y la eficiente continuidad del proceso de la unidad generadora.
3. Las guías o manuales de procedimientos de operación certificaron la continuidad del proceso de generación de energía eléctrica a pesar de los cambios de administración y también del personal operativo de la planta termoeléctrica.
4. Los procedimientos son una de las partes más importantes del sistema operativo y es un documento que organizó quien es el responsable de las actividades, y cuáles son los registros que surgen de dichas actividades.

VI. RECOMENDACIONES

1. Implementar un programa de ahorro energético en las distintas áreas que hay en el ingenio, a fin de reducir el consumo energético, esto ayudara a tener una mayor disponibilidad de energía para la venta.
2. Crear rutinas de inspección de los equipos, tubería y sistemas de seguridad, para monitorear el funcionamiento de la planta térmica, a fin de reducir perdidas por paros innecesarios.
3. Crear un programa de capacitación bien orientado para que el personal que opera la planta termoeléctrica, adquiera las bases técnicas para perfeccionar el funcionamiento de los equipos.
4. Buscar combustibles alternativos para asegurar la competitividad a largo plazo de la planta termoeléctrica, permitiendo con ello la disminución de costos y la producción de energía más limpia.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Batres, Luis Pedro. 2008. *Beneficios Económicos de Instalar una Planta Co-Generadora de Energía en Guatemala*. Tesis Universidad Pontificia Comillas. España, Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingeniería. 73 págs.
2. General Electric. 1948. *Steam Turbine Generator Manual*. Hill city, Kansas. Turbine-Generator Unit No. 2.
3. Instructivo 2-GE-I017. 2010. *Preparación de Turbina Antes de Puesta en Marcha*. Pantaleón, Escuintla: I vol.
4. Instructivo 2-GE-I019. 2005. *Sincronización de Turbogenerador de Condensación # 3*. Pantaleón, Escuintla: I vol.
5. Instructivo 2-G-I012. 2008. *Limpieza de Caldera No. 5*. Pantaleón, Escuintla: I vol.
6. Mejía Ramírez, Rudecindo. 1996. *Máquinas de Vapor y Turbinas Hidráulicas*. Ingenio Pantaleón. ACCMYS.
7. Ochoa Castillo, Edgar Baldemar. *Montaje y Pruebas de un Turbo Generador de Condensación Enfriado por Hidrogeno*. Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de Ingeniería. 61 págs.
8. Offshore Traders For American. 1950. *Burners*. Concepcion Plant, Escuintla: I vol.
9. Offshore Traders For American. 1950. *Burners*. Concepcion Plant, Escuintla: IV vol.
10. The Marley Cooling tower Company. 1998. *Instruction Book For Cooling Towers*. Overland Park, Kansas.

VIII. GLOSARIO

Alimentador eléctrico	Circuito eléctrico por donde se recibe o transmite energía.
Breaker	Circuito eléctrico de apertura y cierre de un paso de corriente.
Babbitt	Aleación de estaño y cobre.
Carga	Cantidad de potencia que debe ser entregada en un punto dado de un sistema eléctrico.
Carcaza	Envoltorio de una máquina.
Central generadora	Central o casa de máquinas, incluidas las obras de ingeniería civil y edificaciones, directa o indirectamente utilizadas para la producción de energía eléctrica.
Chifle	Ducto de bagazo.
Dámper	Regulador de entrada de gases en los ventiladores.
Disparo	Poner fuera de servicio un equipo, manual o automáticamente.
Demanda eléctrica	Requerimiento instantáneo a un sistema eléctrico de potencia, normalmente expresado en mega watts (Mw).
Energía eléctrica	Energía eléctrica producida a lo largo del tiempo, expresada en Watts (W).
Factor de	Coseno del ángulo formado por el desfase existente

potencia	entre la tensión y la corriente en un circuito eléctrico alterno.
Generador	Es el dispositivo electromagnético por medio del cual se convierte la energía mecánica en eléctrica.
Ingenio	Planta agro-industrial donde se procesa la caña para producir azúcar y sus derivados.
Sincro noscopio	Dispositivo eléctrico que indica la igualdad de fases entre dos generadores eléctricos.
Zafra	Nombre que se le asigna al periodo de duración de la producción de azúcar y sus derivados.