

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MONTAJE Y PRUEBAS DE UN TURBO GENERADOR DE CONDENSACIÓN
ENFRIADO POR HIDRÓGENO**

TESIS

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR**

**EDGAR BALDEMAR OCHOA CASTILLO
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1,997

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

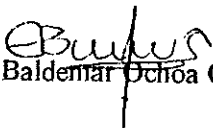
08
TC4179)
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

MONTAJE Y PRUEBA DE UN TURBO GENERADOR DE CONDENSACIÓN ENFRIADO POR HIDRÓGENO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 29 de mayo de 1,997.


Edgar Baldemar Ochoa Castillo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert Rene Miranda Barrios
VOCAL 1o.	Ing. Miguel Angél Sánchez Guerra
VOCAL 2o.	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL 3o.	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL 4o.	Br. Víctor Rafael Lobos Aldana
VOCAL 5o.	Br. Wagner Gustavo López Cáceres
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Jorge Mario Morales G.
EXAMINADOR	Ing. Jorge Hugo Barrillas
EXAMINADOR	Ing. Jesús Horacio Guerra
EXAMINADOR	Ing. Byron A. Rosales
SECRETARIO	Ing. Edgar José Bravatti Castro

Guatemala, 28 de octubre de 1,997

Ingeniero
Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director de Escuela de
Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala.

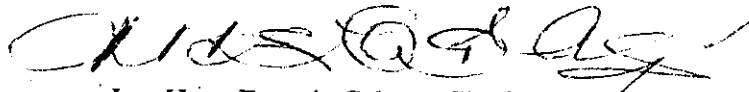
Estimado Ingeniero:

Por este medio me permito enviarle un cordial saludo deseándole éxitos en todas sus actividades.

El motivo de la presente es para informarle que tuve a bien revisar y aprobar el trabajo de tesis titulado: *"Montaje y Pruebas de un Turbogenerador de Condensación enfriado por hidrógeno"*. Realizado por el estudiante Edgar Baldemar Ochoa Castillo, con numero de carnet 83-17464.

Sin otro particular por el momento, me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Hugo Eugenio Cabrera Cienfuegos
Colegiado No. 850

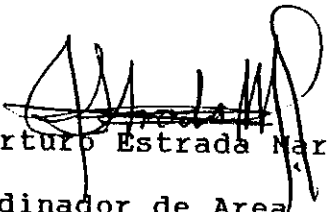


FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Coordinador del Area Materiales y Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer la aprobación del asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo titulado Montaje y Pruebas de un Turbogenerador de Condensación Enfriado por Hidrógeno del estudiante Edgar Baldemar Ochoa Castillo, recomienda su autorización.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. José Arturo Estrada Martínez
Coordinador de Area

Guatemala, noviembre de 1,997

/behdei.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
Apartado Postal 217-I-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Area Materiales y Complementaria, al trabajo de tesis titulado Montaje y Pruebas de un Turbogenerador de Condensación Enfriado por Hidrógeno, del estudiante Edgar Baldemar Ochoa Castillo, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

DIRECTOR

Guatemala, noviembre de 1,997.

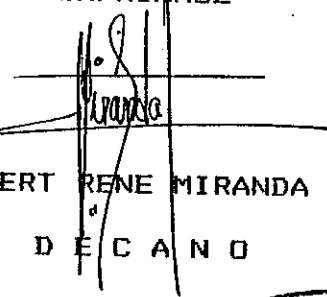


FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Carlos Humberto Pérez Rodríguez, al trabajo de tesis titulado Montaje y Pruebas de un Turbogenerador de Condensación Enfriado por Hidrógeno, presentado por el estudiante universitario Edgar Baldemar Ochoa Castillo, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE


ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS
D E C A N O

Guatemala, noviembre de 1,997.



ACTO QUE DEDICO

A DIOS

Por ser el guía de mi carrera.

A MIS PADRES

**José Ángel Ochoa M.
Blanca Adriana Castillo M.
Por su amor y apoyo,
que esto sea la satisfacción a sus esfuerzos
realizados.**

A MIS HERMANOS

**Ángel, Mercedes, Thelma, Gloria,
Guillermo, Nybia, Víctor, Herman,
Dora , Nery y Edmundo.
Por su cariño, consejos y ayuda durante mi carrera.**

A MI ESPOSA

**Ligia Marisol Molina
Agradecimiento por su ayuda y comprensión**

A MIS HIJOS

**José Angel y Edgar Adolfo
Con mucho cariño**

AGRADECIMIENTO

A: Ing. Hugo Cabrera
Por su ayuda en la elaboración de esta tesis.

A: Sr. Adolfo Rodríguez

A: Ing. Luis Enrique Lima
Inga. Flor de María Valdés
Por su ayuda.

INDICE GENERAL

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE SÍMBOLOS	ii
GLOSARIO	iii
INTRODUCCIÓN	vi
1. CONCEPTOS GENERALES SOBRE TURBOGENERADORES	1
1.1 Que es un turbogenerador	1
1.2 Esquema simplificado de un turbogenerador de condensación	1
1.3 Partes de la turbina	2
1.3.1 Cuerpo de toberas	2
1.3.2 Rodete (o rodetes) con alabes	3
1.3.3 Carcaza	3
1.3.4 Sellos	3
1.3.5 Cojinetes o chumaceras	3
1.3.6 Chumaceras radiales (journal bearing)	3
1.3.7 Chumaceras axiales (thrust bearing)	3
1.3.8 Chumaceras mixtas (flange bearing)	4
1.4 Auxiliares de la turbina	6
1.4.1 Regulador de velocidad	6
1.4.2 Sistema de lubricación	6
1.4.3 Aislamiento térmico	6
1.5 Partes del generador	7
1.5.1 Excitatriz	7
1.5.2 Sistemas de enfriamiento	7
1.6 Accesorios del turbogenerador	8
1.6.1 Manómetros y vacuómetros	9
1.6.2 Termómetros	9
1.6.3 Válvulas	10
1.6.4 Tacómetro	10
2. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE TURBOGENERADORES Y SU DESMONTAJE	11
3. MONTAJE DE UN TURBOGENERADOR	12
3.1 Descripción de la base de concreto	19
3.2 Platinas	19
3.3 "Front standard"	21
3.4 Caja inferior de la turbina	21
3.5 Estator	22
3.6 Alineamiento de chumaceras y deflectores de aceite	23

3.7	Diafragmas inferiores	23
3.8	Bomba principal	24
3.9	Sellos de vapor, aceite e hidrogeno	24
3.10	Diafragmas superiores	25
3.11	Rotor de la turbina	25
3.12	Rotor de el generador	25
3.13	Alineamiento de turbina y generador	26
3.14	Tapadera superior	26
3.15	Montaje de el gobernador	27
3.16	Válvulas de parada y de control	27
4.	AUXILIARES	30
4.1	Sistemas de lubricación	30
4.2	Extracciones y calentadores	31
4.3	Montaje de el condensador	31
4.4	Bombeo de el agua condensada	32
4.5	Enfriamiento del generador por hidrogeno (H2)	33
4.5.1	Ventajas del enfriamiento por hidrogeno (H2)	34
4.5.2	Precauciones	34
4.5.3	Enfriadores de gas	35
4.6	Agua de circulación para enfriamiento	36
4.7	Automatización y control	37
4.7.1	Sistemas de control y protección de turbogeneradores	37
4.7.1.1	Mecanismos de las válvulas de control	37
4.7.1.2	Sistemas de control relacionados (gobernación)	38
4.7.1.3	Sistemas de control de presión	39
4.7.2	Sistemas de control secundarios o de protección	39
4.7.2.1	Métodos de disparo	39
4.7.2.2	Acciones de protección para fallas de generadores	40
5.	PROCEDIMIENTOS DE ARRANQUE DE LA MÁQUINA.	
5.1	"Flusheo" de aceite	48
5.2	Limpieza de la tubería principal de vapor	48
5.3	Rotación de la maquina, arranque y carga de turbinas	49
5.3.1	Limitaciones de arranque	50
5.3.1.1	Esfuerzo térmico	50
5.3.1.2	Vibración	50
5.3.1.3	Expansión diferencial entre el rotor y la carcaza (distorsión térmica)	51
5.3.2	Controlando la temperatura de la carcaza en el arranque	51
5.3.3	Arranques rápidos	52
5.3.4	Arranques de la turbina y procedimiento de operación recomendados	52
5.3.5	Operación con el sistema de volteo (turning gear)	52
5.3.6	Operación de emergencia	53
5.3.7	Procedimiento para parar la unidad	54

5.3.8	Parada normal	55
5.3.9	Parada en un corto período	55
5.3.10	Parada para reducir la temperatura de la carcasa	55
5.3.11	Codiciones de parada que afectan el arranque	56
5.3.12	Algunos problemas y sus causas	57
5.4	Pruebas y sincronización de la máquina	58
5.4.1	Turbina	58
5.4.2	Generador	59

CONCLUSIONES

vii

RECOMENDACIONES

viii

BIBLIOGRAFÍA

vix

INDICE DE FIGURAS

No.		Página
1	Esquema simplificado de un turbogenerador de condensación	1
2	Sección de una turbina de vapor	5
3	Diagrama flujo de sistema de vapor	15
4	Diagrama flujo de alimentación agua para caldera	16
5	Diagrama flujo , sistema de condensado	17
6	Diagrama flujo de sistema circulación agua de enfriamientos	18
7	Cronograma de actividades	28
8	Diagrama de bloques para sistema de control	43
9	Sistema de control mecánico hidráulica para gobernador	44
10	Sistema de control de gas hidrogeno para el generador	45
11	Circulación y enfriamiento de hidrogeno en el generador	46
12	Funcionamiento y control de sellos de aceite para el generador	47
13	Lógica de arranque de la turbina.	61

LISTADO DE SÍMBOLOS

P =	Presión
PSI =	Libras por pulgada cuadrada
PSIG =	Libras por pulgada cuadrada manométricas
PSIA =	Libras por pulgada cuadrada absolutas
RPM=	Revoluciones por minuto
kW =	Kilowatts o Kilovatio
°F =	Grados Farenheit
Plg =	Pulgada
°C =	Grados Centígrados.
RTD =	Resistencia de temperatura
Hz =	Hertz (ciclos por segundo)
Volts =	Voltios
Amp =	Amperios
h =	Altura
Vp =	Presión de vapor
Hf =	Perdida por fricción
NPSHA =	Cabeza neta positiva de succión disponible en pies
NPSHR =	Cabeza neta positiva de succión requerida en pies
kVA =	Kilovoltios amperios
GPM =	Galones por minuto
TC =	Termocopla.

GLOSARIO

Acoplamiento	Forma una conexión semi-permanente entre dos arboles, que estén perfectamente alineados.
Admiralty	es una metal con la siguiente composición con 71 % cu, 28 zn y 1% sn . se utiliza en tubos de condensadores y de intercambiadores de calor en los equipo de las plantas de energía de vapor.
Alabes	Son los elementos móviles de una turbina, que reciben la energía cinética del vapor y la ceden al rotor donde se convierte en energía mecánica.
Breaker de campo	Interruptor que se encarga de enviar voltaje de excitación a el generador.
By-pass	Desvío en paralelo de un sistema de control o de flujo, con un arreglo de 3 válvulas.
Celda Diferencial	transductor cuya señal depende de la diferencia de presión entre dos puntos y puede ser utilizada para medir niveles, flujos, densidades.
Condensado	líquido que se produce por un cambio de fase del vapor que transfiere su calor sensible al medio refrigerante.
Convertidor de 4 a 20 miliamperios	Instrumento electrónico que genera una señal estándar de 4-20 m.a. de corriente continua ,para transmitir señales de 500 mts a 1 km.
Corriente continua	Es una corriente eléctrica la cual fluye en una sola dirección o que posee el mismo valor en cualquier instante de tiempo.
Chumacera	Soporte de muñón al que se le aplica carga en la dirección radial.
Diafragma	Toberas fijas entre etapas de la turbina
Disparo Eléctrico	Apertura de disyuntores por falla en la línea.
Disparo Mecánico	Cierre rápido de una válvula para evitar el paso de un fluido.

Entalpia de vaporización	La cantidad de kilocalorias necesarias para convertir un kilogramo de liquido en vapor a la misma temperatura y presión.
Entalpia del liquido	Es el numero de kilocalorias necesarias para elevar 1 kg de agua desde 0 C a su temperatura de ebullición a una presión determinada. La cantidad de calor comunicada al agua como Entalpia de liquido aumenta al crecer su presión y temperatura.
Entalpia total del vapor	Es la suma de las entalpias de liquido y vaporización
Eyector	Consiste esencialmente en una tobera que descarga un chorro de fluido a alta velocidad a través de una cámara de succión conectada a la cámara que se desea evacuar.
Manifoul	Se le llama así a un múltiple que puede ser un tubo de distribución, un colector de tubos o una válvula de distribución.
Relay	Dispositivo en el cual tiene como función abrir y cerrar circuitos en virtud de una fuerza eléctrica constituido por devanados y contactos eléctricos.
Sellos de Hidrógeno	Anillos laberínticos por los cuales circula aceite, situados a los extremos del generador.
Tobera	Sección por donde se inyecta el vapor que sirve para la expansión del mismo, aumentando su velocidad.
Torre de enfriamiento	Es un dispositivo que toma el agua caliente de un intercambiador de calor y la enfría por evaporación para su reuso.
Testigo	Lamina de referencia para hacer una evaluación de corrosión, erosión, impactos, etc.
Válvula de control	Dispositivo final que varia el flujo de vapor hacia la turbina.

Válvula de parada

Válvula de cierre rápido accionada con presión de aceite cuando recibe señal de una falla o un disparo.

**Vapor
sobrecalentado**

Vapor que se encuentra a cualquier temperatura por encima de la del vapor saturado a la presión correspondiente.

v

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

INTRODUCCION

En Guatemala, algunas industrias están generando energía eléctrica usando como materia prima combustible líquido como petróleo o combustible sólido como bagazo de la caña de azúcar, tal es el caso de los ingenios azucareros que usan el bagazo de caña en la caldera para generar vapor y este en turbinas de escape acoplados a generadores eléctricos, los cuales se produce la energía eléctrica para el consumo interno de la planta. Dado que en la actualidad se están haciendo los procesos de fabricación y montando turbinas mas eficientes esto conlleva a tener un excedente de energía para lograr el equilibrio en el vapor necesario para el proceso de el azúcar. El usar turbogeneradores más eficientes nos deja un excedente de bagazo que se puede utilizar para producir energía eléctrica en plantas de condensación y venderla a la red nacional; algunos de los ingenios están ya en este proceso y otros se preparan para hacerlo.

El personal que trabaja en las plantas de cogeneración se compone de gente que inicia su carrera profesional y de mano de obra empírica para los cuales montar toda una planta de este tipo presenta grandes dificultades porque no se cuenta con suficiente información, los conocimientos y la experiencia necesaria para hacerlo.

El presente trabajo de tesis es una guía para el montaje, su secuencia, las pruebas y consideraciones al arrancar un turbogenerador dado que son procedimientos nuevos los cuales son un tanto desconocidos en el medio.

En el primer capítulo se describe brevemente las partes de un turbogenerador.

El capítulo dos trata de el funcionamiento de el turbogenerador y las recomendaciones elementales para el desmontaje dada que los turbogeneradores que se compran para este fin son usados y de plantas que tienen hasta años sin trabajar.

A continuación se da un cronograma de actividades y pasos necesarios a seguir en un montaje.

La parte de funcionamiento y control de los sellos de hidrogeno en el generador esta en el capítulo cuatro, así como también los aspectos mas importantes en el control y la automatización que son esenciales en dichas maquinas.

Para finalizar en el capítulo cinco se presentan los pasos que deben seguirse para hacer las pruebas y arrancar un turbogenerador y la lógica para poner en línea la unidad.

Se espera que este trabajo de tesis ayude al personal de montaje, mantenimiento y operación de este tipo de plantas desempeñan su labor de una mejor manera.

1. CONCEPTOS GENERALES SOBRE TURBOGENERADORES

En el presente capítulo se dará una breve descripción sobre los componentes básicos de los turbogeneradores en general

1.1 ¿Qué es un turbogenerador?

Un turbogenerador es una máquina utilizada para convertir energía termodinámica en energía eléctrica de corriente alterna.

El turbogenerador para su funcionamiento consta de los siguientes elementos:

Turbina, generador o alternador, excitatriz y sistemas de enfriamiento y lubricación

1.2 Esquema simplificado de un turbogenerador de condensación.

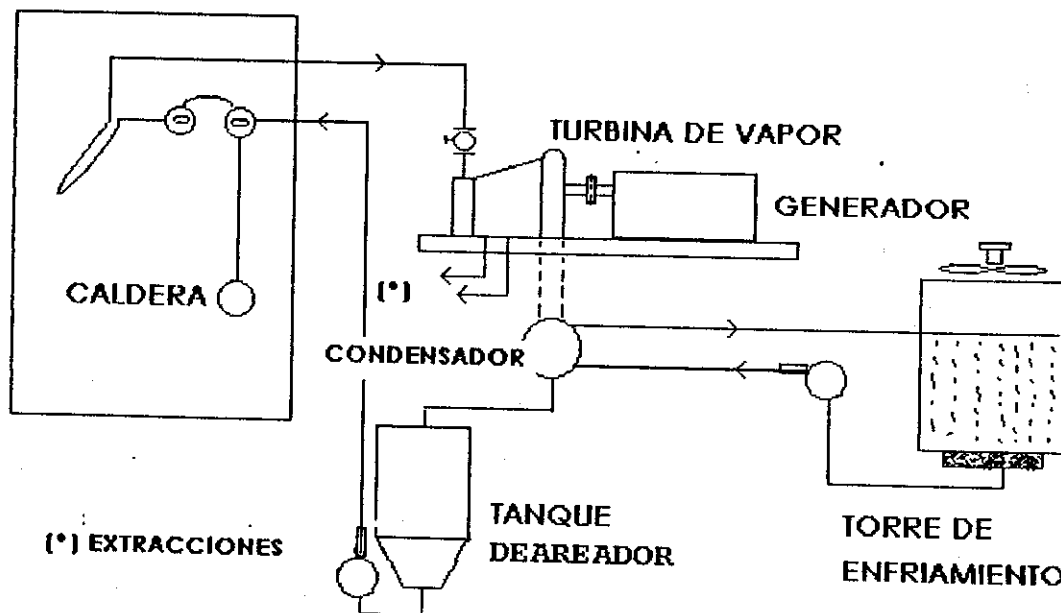


FIGURA 1.

La turbina de vapor es una máquina diseñada para producir energía mecánica en movimiento rotatorio a partir de la energía interna del vapor de agua a presión y temperatura por encima de aquellas de un determinado sumidero. La turbina (como ya dijimos) es impulsada por vapor sobrecalentado a presiones que están comprendidos entre 600 y 850 psig y temperaturas de 750 a 900 °F. que son algunas de las condiciones de diseño comúnmente utilizadas.

El principio de funcionamiento consiste en que el vapor de agua con un alto contenido entálpico y un elevado valor de presión se expande a través de una tobera lo cual genera una corriente de fluido a alta velocidad (alto contenido de energía cinética). Esta corriente de vapor provee la fuerza necesaria para mover el rotor de la turbina, De esta manera el fluido realiza trabajo sobre los alabes a expensas de su energía cinética. El resultado global consiste en la expansión de un fluido con producción de trabajo.

Existen turbinas en las que se utilizan otros fluidos pero sin duda, las mas ampliamente utilizadas son aquellas que utilizan vapor de agua.

Las turbinas de vapor se suelen dividir en dos grandes clases, según su aplicación:

- Motrices de generadores de energía eléctrica
- Motrices de maquinas como bombas, compresores, molinos, picadoras, etc.

A las velocidades de 1800 y 3600 RPM les corresponden las turbinas motrices de generadores eléctricos a 60 Hz.

Si se aplica una clasificación por el manejo de vapor en la turbina podemos distinguir:

Turbinas sin condensación : el vapor entra a una presión dada sobrecalentado y abandona la turbina a una presión superior a la atmosférica.

Turbinas con condensación: el vapor entra a una presión dada sobrecalentado y abandona la turbina condensada en fase líquida a una presión menor que la atmosférica .

Turbinas con extracción: (con o sin condensación): se extrae parcialmente el vapor en una o más etapas intermedias.

Turbinas con inyección (con o sin condensación): parte del vapor se inyecta en una o más etapas intermedias.

Turbinas de presión mixta (con o sin condensación): el vapor ingresa a la turbina a dos o más diferentes presiones a través de entradas separadas.

Turbinas con sobrecalentamiento: el vapor de agua que abandona la turbina es conducido a través de alguna sección de la caldera y se inyecta nuevamente a la turbina.

1.3 Partes de la turbina

Las partes principales que se repiten en casi todas las turbinas son los siguientes :

1.3.1 Cuerpo de toberas

Es la pieza en la que una parte de la energía térmica del vapor se convierte en energía cinética , esta se encuentra en la cámara del vapor después de las válvulas de control. Los

orificios de salida son generalmente por barrenos circulares o ventanas de alabes de sección rectangular con un ángulo de salida (ángulo de ataque) que proyecta el flujo del vapor a los alabes del rotor; dicho de otra forma es aquí donde se expansiona el vapor. Cuando la turbina es de varias etapas se utilizan alabes fijos entre cada etapa para dirigir el vapor de estas ; a estas se les llama diafragmas

1.3.2 Rodete (o rodetes) con alabes

Son los discos giratorios con paletas montadas sobre su circunferencia exterior ; los alabes en los que inciden los chorros de vapor para producir una fuerza que lo hace girar.

1.3.3 Carcaza

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 guiarlo hacia el escape.

1.3.4 Sellos

Son empleados para evitar o reducir fugas de vapor entre los puntos de carcaza y la flecha, pueden ser mecánicos o de laberinto y estar situados en los extremos o entre las etapas y para el caso de turbinas de menor capacidad se emplean anillos segmentados de carbón.

1.3.5 Cojinetes o chumaceras

Dada su función o localización en una máquina, las chumaceras reciben algún nombre específico. Una chumacera (cojinete plano o hidrodinámico) es un elemento de máquina diseñado para soportar cargas (fuerzas de reacción) a una flecha que tiene movimiento relativo deslizante respecto a la chumacera. Normalmente se les designa en base a la dirección que se aplica a la carga, esto es: chumaceras radiales, axiales y mixtas.

1.3.6 Chumaceras radiales (journal bearing)

Son cilíndricas (cilindros completos o segmentos de cilindros) y se utilizan cuando la carga sobre la flecha (fuerza de reacción) es esencialmente perpendicular al eje de la flecha.

1.3.7 Chumaceras axiales (thrust bearing)

Son discos completos o segmentados, se emplean para contrarrestar las cargas de dirección paralela al eje del muñón (axial).

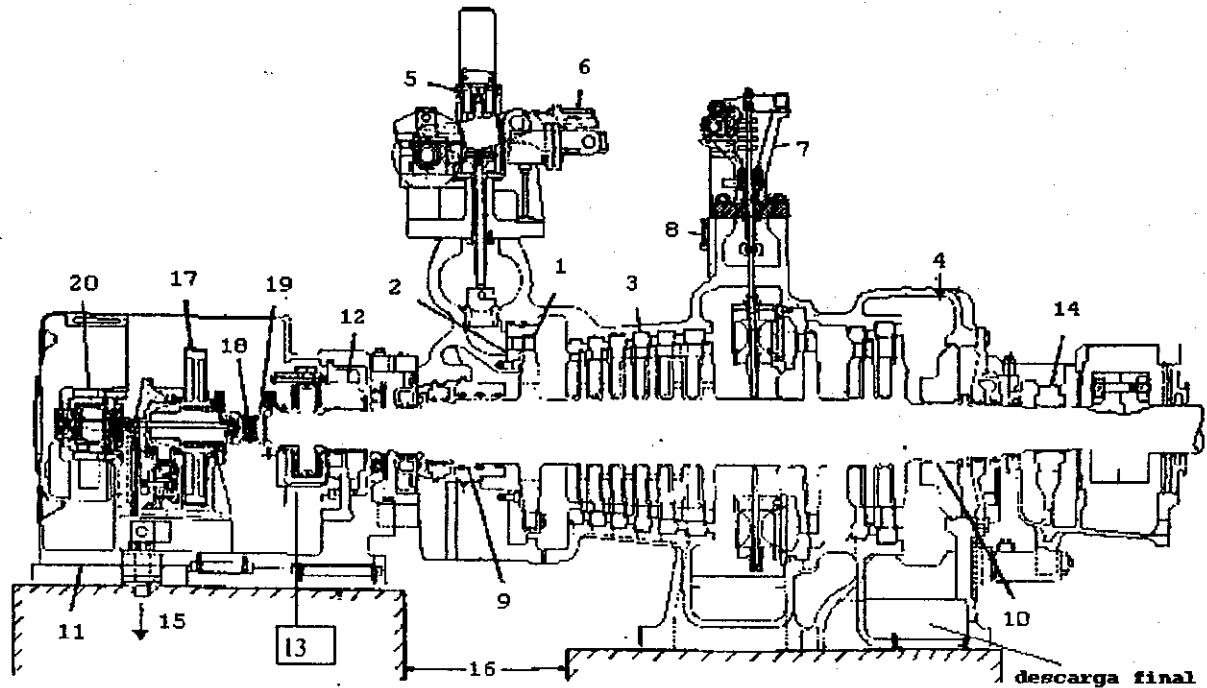
1.3.8 Chumaceras mixtas (flange bearings)

Se acostumbra utilizarlas cuando la carga tiene componentes perpendiculares radiales y axiales. Estas son, en efecto, una combinación de chumacera radial con chumacera axial.

Las chumaceras frecuentemente, también se clasifican de acuerdo a los materiales de construcción, como: sólidas (un solo metal), bimetálicas y trimetálicas. todas estas configuraciones son de amplio uso comercial. El uso de dos o tres metales separados provee un medio para desarrollar combinaciones de propiedades que no pueden obtenerse utilizando un solo metal; los metales comúnmente utilizados son: bronce, aluminio, acero, plomo, estaño, cobre, níquel, y babbitt que normalmente son depositados electrolíticamente.

En la página siguiente se observa el diagrama de una turbina con una extracción automática y sin condensación .

Figura 2
Sección de una turbina de vapor



Leyenda

1. Rodete de cangilones o paletas

2. Placa de boquillas

3. Diafragma de boquillas.

4. Carcaza de cabeza para alta presión

5. válvulas principales de control del vapor

6. actuador de potencia

7. Válvulas de control de extracción.

8. Actuador de potencia.

9. Anillos de sello de laberinto. AP

10. Anillos de sello de laberinto BP

11. Soporte delantero

12. Cojinete #1

13. Cojinete de empuje

14. Cojinete #2

15. Al sistema de lubricación

16. Cimentación

17. Mecanismo de Giro

18. Gobernador de sobrevelocidad

19. Dispositivo de desgaste y falla inversa

20. Conjunto motor PMG.

1.4 Auxiliares de la turbina

Dentro de estos podemos considerar los siguientes:

Regulador de velocidad , sistema de lubricación, enfriamiento y aislamiento térmico

1.4.1 Regulador de velocidad

Regula la válvula de control de flujo de vapor comparando la velocidad con un valor prefijado; Estos cambios pueden ocurrir al haber una fluctuación, en las condiciones ya sea de carga , como de la calidad y cantidad del vapor de admisión. Estos pueden ser ya sea del tipo de contrapesos que generalmente son utilizados en turbinas pequeñas o medianas y el hidráulico que es más utilizado en turbinas grandes.

1.4.2 Sistema de lubricación

Los cojinetes de las turbinas pequeñas normalmente son lubricados por goteo o anillos de lubricación los cuales son arrastrados por el propio eje. En las máquinas de tamaño mediano y grande utilizan un sistema de lubricación a presión debido a que las cargas que manejan los rotores son mayores.

Por seguridad en este tipo de máquinas se le instalan cuatro bombas para la lubricación que son accionadas por cuatro diferentes fuentes de energía ; una con un banco de baterías en corriente directa, una en corriente alterna , una accionada por turbina de vapor y una mecánica acoplada al eje de la turbina que normalmente es la utilizada cuando la máquina está a su velocidad de operación. El sistema de lubricación cumple tres funciones ;

- 1.- lubricar las partes en movimiento
- 2.- controlar y operar el gobernador .

3.- llevar consigo el calor que se genera en dichas partes, para liberar este calor absorbido necesitamos un sistema de enfriamiento para el aceite con un intercambiador de calor del tipo cerrado aceite-agua ; es importante tener agua de buena calidad (refiriéndose a la limpieza) para evitar incrustaciones en la tubería del intercambiado, lo que provocaría un mal enfriamiento del aceite y repercutiendo en la lubricación necesaria para las chumaceras.

1.4.3 Aislamiento térmico

Tiene como función principal la conservación de energía mediante la utilización para este efecto de material aislante. Este material se utiliza para proveer resistencia al flujo de calor, mantener la temperatura en el sistema, controlar la condensación en el sistema y proveer protección al personal. Los aislantes comúnmente utilizados y sus temperaturas de trabajo son:

fibra de vidrio hasta 900 °F

silicato de calcio hasta 1200 °F

1.5 Partes del generador

El generador es el encargado de producir la energía eléctrica , aprovechando la energía mecánica de la turbina.

1.5.1 Excitatriz

El inductor de un generador se excita siempre con corriente continua y de esta manera se mantiene en cada polo una polaridad constante y se regula en campo magnético.

La corriente continua para la excitación de los inductores del alternador se produce en un generador distinto de corriente continua, al que se da el nombre de excitatriz. La maquina excitadora puede ser impulsada por correa desde un polea colocada sobre el eje del generador principal o bien puede estar directamente acoplada al extremo del eje del alternador.

En grandes centrales eléctricas, se mueven las excitatrices por máquinas motrices independientes. A veces se emplea una dinamoexcitadora grande para suministrar corriente continua a los inductores de varios generadores, cada uno de los cuales toma su corriente inductora de la barra colectora de la excitatriz.

En otros casos, puede haber varias excitatrices que marchan en paralelo para suministrar a la barra colectora excitatriz corriente continua; y cualquiera de los alternadores, o todos ellos, pueden tomar su corriente inductora de esta barra.

Las excitatrices suelen ser del tipo compound y de un voltaje de 110 a 250 volts.

La corriente continua procedente de la excitatriz o de las barras colectoras se conduce a los polos inductores y rotativos del alternador por medio de escobillas y de anillos deslizantes.

También existe la excitatriz de tipo estático, la cual recibe su nombre debido a que posee elementos de estado sólido para su funcionamiento, dicha excitatriz puede ejecutar a la vez la función de excitación, regulación, monitoreo de voltaje y corriente de la salida producida por la excitación propia del turbogenerador.

1.5.2 Sistema de enfriamiento

Toda maquinaria eléctrica produce cierta cantidad de calor que esta en proporción con las perdidas que tienen lugar en sus arrollamientos. Los grandes alternadores producen

una cantidad considerable de calor, aunque sus rendimientos se acercan a menudo a 98 %. En los grandes tamaños con que se construyen en la actualidad estos generadores, su enfriamiento constituye un problema serio.

El calor tiene que eliminarse de los arrollamientos con la misma rapidez con que se produce o de lo contrario el devanado se recalentara pronto hasta el punto en que se perjudicara el aislamiento. Puesto que la resistencia de los conductores de cobre aumenta con cualquier elevación de la temperatura, el rendimiento de la maquina se reducirá también si se la dejara de funcionar a temperaturas superiores a la normal.

La circulación natural de la maquina no es suficiente para obtener un enfriamiento eficaz de los devanados de esas grandes maquinas, como sucede en el caso de dinamos o alternadores mas pequeños. Por consiguiente, es necesario emplear alguna de las diferentes formas de enfriamiento artificial o ventilación forzada.

Un método muy común de enfriamiento es encerrar completamente el generador en una envoltura y producir un tiro de aire a baja presión a través de esta envoltura y los devanados de la maquina. El aire empleado con este objeto se lava, al principio rociándolo con agua para enfriarlo y limpiarlo de polvo y suciedad y después se seca antes de hacerlo pasar a través de los devanados del generador para enfriamiento de estos.

Este aire limpio se mantiene después seco y se hace circular una y otra vez a través del alternador enfriándolo cada vez que sale de la maquina haciéndolo pasar sobre una serie de tubos por los que circula agua fría.

Es de la mayor importancia que este aire de ventilación circule constantemente a través del generador mientras este funcionando y también que se mantenga limpio y seco.

Otros gases son mas eficientes que el aire para arrastrar el calor de los devanados de las maquinas. Un ejemplo de estos es el hidrogeno el cual se utiliza con mucho éxito para este fin. Debido a su eficiencia para absorber el calor de los devanados y cederlo a los tubos de refrigeración a través de los cuales se hace circular el gas fuera del generador, el empleo del hidrogeno de esta manera hace posible mayores rendimientos y tamaños mas reducidos de las maquinas de corriente alterna.

Siendo el hidrógeno un gas inflamable, es necesario eliminar toda posibilidad de que se inflame alrededor del alternador. Los grandes generadores suelen estar provistos de termómetros o de indicadores electrónicos de temperatura para mostrar la de sus devanados de inducido en todos los momentos durante la marcha. Muchos generadores de alta

velocidad tienen cojinetes enfriados por agua, circulando esta por conductores de metal alrededor de los cojinetes para arrastrar el calor.

1.6 Accesorios de el turbogenerador

1.6.1 Manómetros y vacuómetros

Es el instrumento que se utiliza para medir presión, en el turbogenerador son utilizados para medir la presión existente en las líneas de vapor, aceite, hidrogeno, agua instaladas.

Existen de dos tipos: Bourdon y de diafragma. En el manómetro de Bourdon la presión es ejercida en el interior de un tubo metálico, de sección recta ovalada, curvado para poderse alojar dentro de una caja circular. Al aplicar la presión, la sección del tubo tiene la tendencia a pasar a circular y como consecuencia, a que el tubo se desarrolle o enderece; este movimiento transmitido por medio de eslabones, palancas, un sector dentado y un piñón, hace girar una aguja sobre una esfera, graduada en kilogramos por centímetro cuadrado (ó lbs por pulgada cuadrada) sobre la presión atmosférica. En los manómetros de diafragma la presión es restringida por un disco ondulado o diafragma. El movimiento es transmitido a la aguja indicadora de la misma manera que en el manómetro de Bourdon.

1.6.2 Termómetros

Es el instrumento utilizado para medir temperaturas. Los más utilizados son los siguientes:

- a) El termómetro de gas, basado en la expansión térmica de un gas. Se basa en el principio de que a volumen constante la presión del gas es directamente proporcional a la temperatura absoluta.
- b) Termómetro de mercurio, basado en la dilatación térmica de un líquido o sólido, el principio es que las sustancias tienden a dilatarse con la temperatura; así una variación de la temperatura produce un cambio de longitud o de volumen en una columna.

RTD (resistance temperature detector) es un elemento resistivo, usualmente hecho de cobre y ajustado a 10 ohms a 25° C. La operación de la RTD se basa en el principio de que la resistencia eléctrica de un conductor metálico varía linealmente con la temperatura.

La RTD y su equipo asociado es diseñado para uso con generadores, transformadores y otros aparatos que determinen temperaturas de bobinados, gases o líquidos. El equipo consiste de dos partes: Un equipo de switcheo el cual incluye usualmente un medidor de temperatura, resistor de prueba, un switch de transferencia y alambres; y el equipo de maquina el cual incluye usualmente el RTD, alambres y un block de terminales con conexiones a tierra.

1.6.3 Válvulas

Una válvula es un dispositivo para abrir o cerrar el paso de un líquido o un gas. En un turbogenerador se utilizan válvulas en líneas de aceite, agua, aire, vapor, etc. Pueden ser de compuerta, globo, mariposa, de bola, etc.

Las más importantes que son las de vapor y son:

La válvula de cierre rápido (DISPARO) la cual tiene uno o dos asientos de sello y actúa cuando recibe una señal de emergencia por sobre velocidad, baja presión de aceite de lubricación, alta temperatura de chumaceras, etc.

La válvula de regulación o gobernador es la que suministra la cantidad de vapor requerida por la turbina para responder a las condiciones variables de servicio. Estas son de doble asiento para propiciar el balanceo de fuerzas de empuje y por lo tanto emplea poca fuerza de accionamiento.

1.6.4 Tacómetro:

El tacómetro es un dispositivo que mide la velocidad angular de rotación de un eje. Existen de dos tipos:

- a) La velocidad angular esta representada por la magnitud de un voltaje generado.
- b) La velocidad angular esta representada por la frecuencia de un voltaje generado.

Entre los tacómetros de magnitud hay dos tipos principales. El tacómetro generador dc y el tacómetro drag cup.

Entre los tacómetros de frecuencia se encuentra el de lengüetas, en estos se tiene una indicación de la velocidad angular por medio de lengüetas puestas en vibración resonante. Este instrumento puede ser colocado en el bastidor o cama de la maquina en donde cualquier vibración ligera, debida al desbalance de los miembros móviles, pondrá en vibración la lengüeta correspondiente.

Típicamente, las instalaciones de estos son hechos en turbinas de vapor, turbinas de gas y motores de alta velocidad. Básicamente un voltaje de ac es generado en la bobina la cual es proporcional a la velocidad del rotor arriba a un máximo de carga de 10 m.a. a 5000 r.p.m.

2. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE TURBOGENERADORES Y SU DESMONTAJE

En este capítulo se da a conocer el funcionamiento en si de un turbogenerador , el cual como se menciona está constituido por una turbina de vapor que es la que proporciona la potencia mecánica al generador por medio de un acoplamiento rígido; dicho generador es el encargado de dar la energía eléctrica al sistema para el cual será utilizado.

Después de hacer su trabajo el vapor en las ruedas de la turbina y entregar toda la energía posible, en la última etapa lleva instalado un condensador del tipo de intercambiador de calor de tubos rectos que normalmente esta trabajando a presión de vacío referido a la presión atmosférica y oscila alrededor de 2 psia ; la función de el condensador es la de convertir el vapor en condensado que se regresa a la caldera constituyendo así un ciclo cerrado. Dicho condensador utiliza un sistema para extraer los gases incondensables por medio de bombas de vacío que normalmente se usan bombas Nash , otro sistema de extracción de gases es un doble eyector; pero son mas eficientes las bombas de vacío ya que son accionadas con electricidad.

El vapor proveniente de la caldera llega a la turbina después de haber pasado por la válvula de estrangulamiento o de parada y entra por las válvulas de control pasando hacia los alabes en donde la energía térmica se convierte en energía cinética en las toberas y posteriormente en energía mecánica en el eje de la turbina. A medida que el vapor pasa por las etapas o rodets, se hacen extracciones a la turbina, las cuales pueden ser controladas o no controladas refiriéndonos a la presión de operación y su sistema para el control de presión constante, en el caso de ser cuatro extracciones no controladas la de mas baja presión puede ir a un calentador de baja presión la segunda a un calentador intermedio , la tercera a un calentador de contacto directo llamado también deareador y la numero cuatro o de mayor presión va a un calentador de alta presión; tanto la número 1, 2 y 4 trabajan con calentadores del tipo intercambiador cerrado y con tubos en U que constituyen dos o cuatro pasos.

La función primordial de un calentador es calentar el agua condensada que va hacia la caldera como agua de alimentación ; dicho calentamiento lo efectúa aprovechando el vapor de las extracciones de la turbina.

Al calentador de baja y mediana presión les entra vapor y este condensa por el calentamiento de el agua condensada , el agua que se condensa proveniente de el vapor es descargada al condensador por diferencia de presión ya que el condensador está a una presión menor que dichos calentadores; el calentador 3 o deareador es de contacto directo y el calentamiento se efectúa por la mezcla de el vapor con el agua el cual tiene incorporado un sistema de salida de gases no condensables por medio de una válvula que puede ser del tipo solenoide y controlada por presión del mismo deareador, dicha presión se incrementa por la cantidad de incondensables existentes en el mismo, además cuenta con un válvula de seguridad que normalmente trabajan entre 60 y 75 psi., el calentador número 4 o de alta presión descarga su condensado hacia el deareador por diferencia de presión, en caso de que no existiera la presión necesaria para hacerlo, que normalmente se da en los arranques o a baja carga, se utiliza una

bomba para descargar dicho condensado . Al final del capítulo se muestra un esquema de las líneas de vapor y recorrido del mismo en la Figura 3.

Como se menciona anteriormente el condensador convierte el vapor de la ultima etapa de la turbina en agua a la cual se le llama condensado; esta agua es desalojada de dicho condensador por medio de bombas centrifugas de multietapa llamadas de pozo caliente ; estas bombas hacen pasar el agua condensada por los calentadores de baja y media presión y la llevan hasta el deareador que es un tanque elevado y presurizado de el cual sale la succión de las bombas de alimentación de la caldera , las cuales hacen pasar el agua por el calentador de alta presión y posteriormente al economizador y al domo de la caldera ver Figura 4.

Todos los calentadores como el condensador están provistos de controles de temperatura presión, válvulas de seguridad en el lado del vapor y del agua, válvulas a la entrada y salida y una tercera válvula que lo deja fuera de operación llamada by-pass y nivel de agua; dicho nivel de agua se controla por medio de una bolla que es una válvula de flote y se regula por medio de válvulas automáticas operadas por aire. Otra forma de control es la que utiliza una celda diferencial con convertidores de 4 a 20 miliamperios y la acción se ejecuta con una válvula automática operada por aire pero siempre controlada por la celda.

Se presenta al final del capítulo el ciclo del agua condensada Figura 5.

Un ciclo de turbogenerador de condensación necesita en sí, agua para enfriamiento y condensación, El turbogenerador requiere de agua para el enfriamiento de: aceite, bombas y generador. Ya sea que trabaje con aire o con hidrogeno . Los enfriadores de el generador son del tipo intercambiador de calor, de tubos rectos y dos o cuatro pasos liquido-gas. Para la condensación de el vapor se utiliza el mayor porcentaje de agua, dicho condensador también es intercambiador de tubos rectos de admiralty dos pasos, dividido en dos secciones para poder operar una de ellas mientras se le da mantenimiento a la otra, el agua entra a una temperatura baja y abandona con una temperatura mas alta .Con un diferencial de aproximadamente 20 °F, dicha diferencial de depende de factores como el clima, cantidad de agua y sobre todo de la carga a la que se opera la maquina; la fuente de agua puede usarse una sola vez o recircularla y usar una torre de enfriamiento para bajar a la temperatura to. De el bacín de la torre se succiona y envía nuevamente el agua por medio de un sistema de bombeo nuevamente a realizar su trabajo a el turbogenerador . Dicho circuito se muestra en la Figura 6.

El circuito de lubricación tiene por función principal el de lubricar los cojinetes axiales y radiales, servir como enfriamiento a los mismos llevando consigo el calor generado y transmitido tanto por el trabajo como por el calor de el vapor que pasa por la turbina a los enfriadores de agua - aceite a temperatura de operación; otra función de el aceite es la de mantener un sello entre el rotor y la carcaza de el generador para evitar el escape de el hidrogeno o que se contamine con aire el hidrogeno de el generador . Dicho circuito consta de un tanque que es el deposito y dentro de el mismo se encuentran sumergidas las bombas de aceite excepto la bomba principal que está en el eje de la turbina, en dicho tanque se encuentran en si todas las conexiones, el control y las protecciones del sistema de lubricación: válvulas automáticas, cheques, switch y bombas de emergencia. se usa una bomba de corriente directa que es alimentada por un banco de

baterías, la cual funciona al no haber corriente alterna. Una bomba de corriente alterna, bomba para sellos cuando la maquina utilice enfriamiento por hidrogeno y la bomba principal accionada por la propia turbina. En algunas unidades se usa una bomba de aceite accionada por vapor .

Los generadores tienen dos tipos de enfriamiento: Por aire o gas hidrógeno. El rotor del generador tiene en sus extremos un regular número de paletas que al girar forza al gas a pasar por las bobinas del estator y transporta consigo el calor que se produce por el paso de corriente por los conductores ; el gas caliente pasa por los enfriadores de agua-gas, y es aquí donde dicho gas entrega el calor al agua y vuelve a recircular con temperatura menor. Cuando se usa aire como gas el generador es cerrado para evitar que entre suciedad, pero cuando se usa gas hidrogeno el generador debe ser hermético para evitar perdidas de gas y evitar riesgos que bajo ciertas condiciones puede ser explosivo. Dentro de el equipo y accesorios con que cuenta un generador enfriado por hidrogeno tenemos: un manifold de hidrogeno, manifold de anhídrido carbonico, ambos con reguladores de presión, panel de control de presiones de gas, detector de líquidos en el generador , sellos de aceite en ambos extremos del rotor para evitar que se den fugas de hidrogeno .

Para cargar con gas el generador se necesita poner a trabajar el tren de sellos de aceite de el generador el cual su función principal es evitar el escape de gas hacia el exterior. El llenado con gas de. el generador se inicia con la inyección de anhídrido carbónico para desalojar el aire hasta una pureza arriba del 70% mientras se saca el aire por una venteo de el generador, ahora se inyecta hidrogeno hasta lograr una pureza de 95% para evitar cualquier riesgo de explosión .

Cuando se desmonta para trasladar un turbogenerador deben tomarse las siguientes recomendaciones :

- a) Es recomendable que las personas que se van a encargar de el montaje tanto mecánico como eléctrico lleguen al lugar donde esta montado el turbogenerador y revisen todas las instalaciones para que sea mas fácil el montaje de el mismo de acuerdo a las observaciones hechas de su instalación.
- b) Es conveniente que adquieran un juego de planos para hacer una revisión antes de su desmontaje y si hubieran algunos cambios hacer las anotaciones convenientes.
- c) Es de mucha ayuda tomar fotos o un vídeo ; ya que para el montaje será de mucha utilidad y una buena guía fotos de todas las instalaciones.
- d) Por último, tratar de hacer la menor cantidad posible de cortes con oxiacetileno en la tuberías y donde sea necesario hacerlo con mucho cuidado tratando de no arruinar el material cercano al corte y marcar cada corte con números o letras tomando en cuenta la numeración de los planos en cuanto a si es línea de agua, vapor, aceite hidrogeno ,etc. y si el plano no tuviera un numero de línea crearlo para que sea fácil su identificación para el nuevo montaje. Algo muy importante es tratar de mantener las mismas distancias y alturas que son necesarias para lograr expansiones y carga equilibradas en las turbinas.

En cuanto al desmontaje en si de la turbina tomar en cuenta que tanto el rotor de la turbina como el de el generador y el mismo generador en si son bastante delicados y tratarlos con mucho cuidado a la hora de empacarlos es necesario hacer un marco metálico para protegerlos por descuidos de transporte, ya que si se dañan su reparación es demasiado cara. Es conveniente

tomar las alturas de las platinas de piso que soportan tanto la turbina como el generador para usarse de referencia en el montaje considerando que el generador esta algunas milésimas más alto que la turbina debido a que trabaja más frío que la turbina.

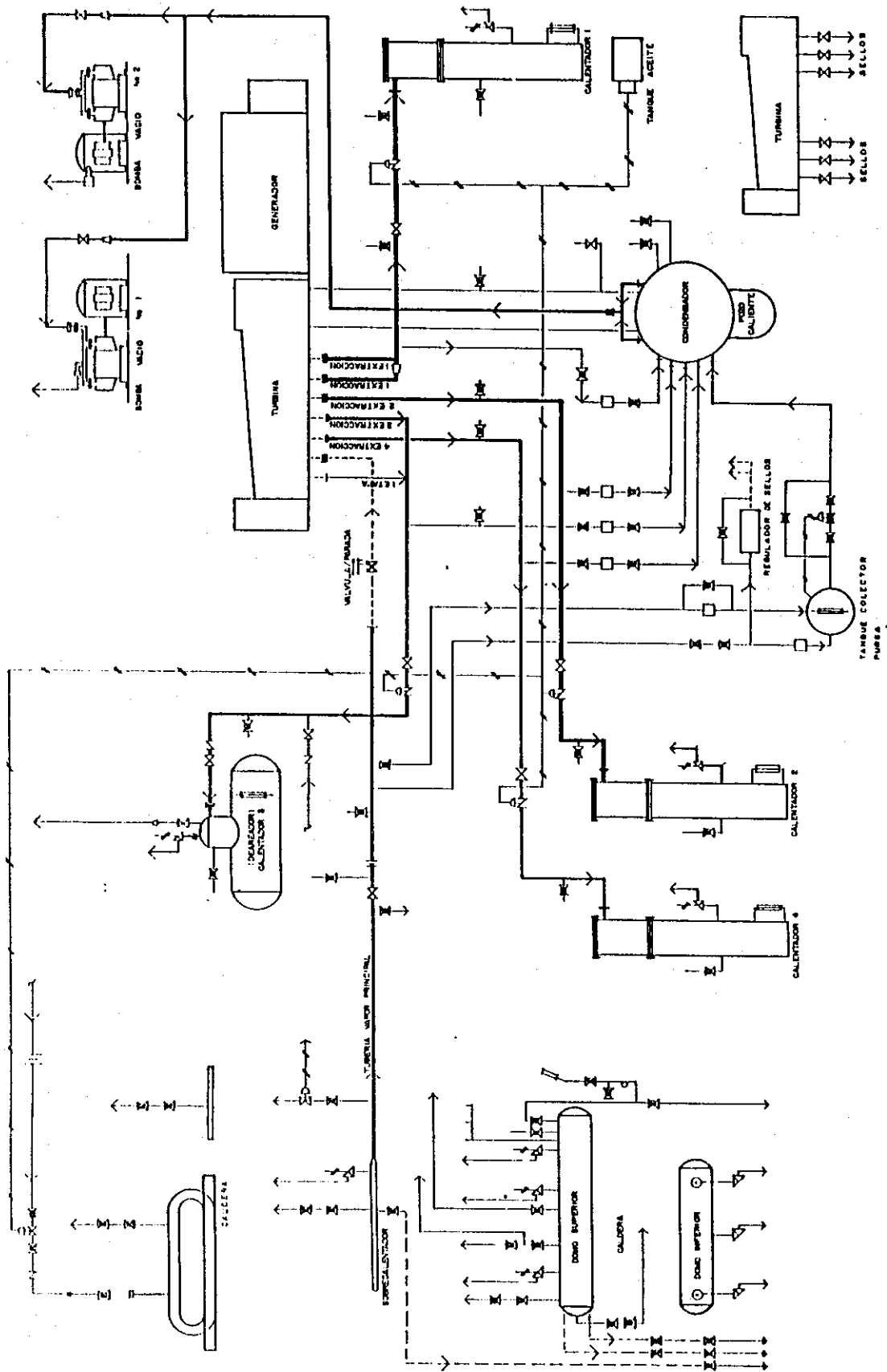


FIGURA 3.
DIAGRAMA FLUJO DE SISTEMÀ DE VAPOR

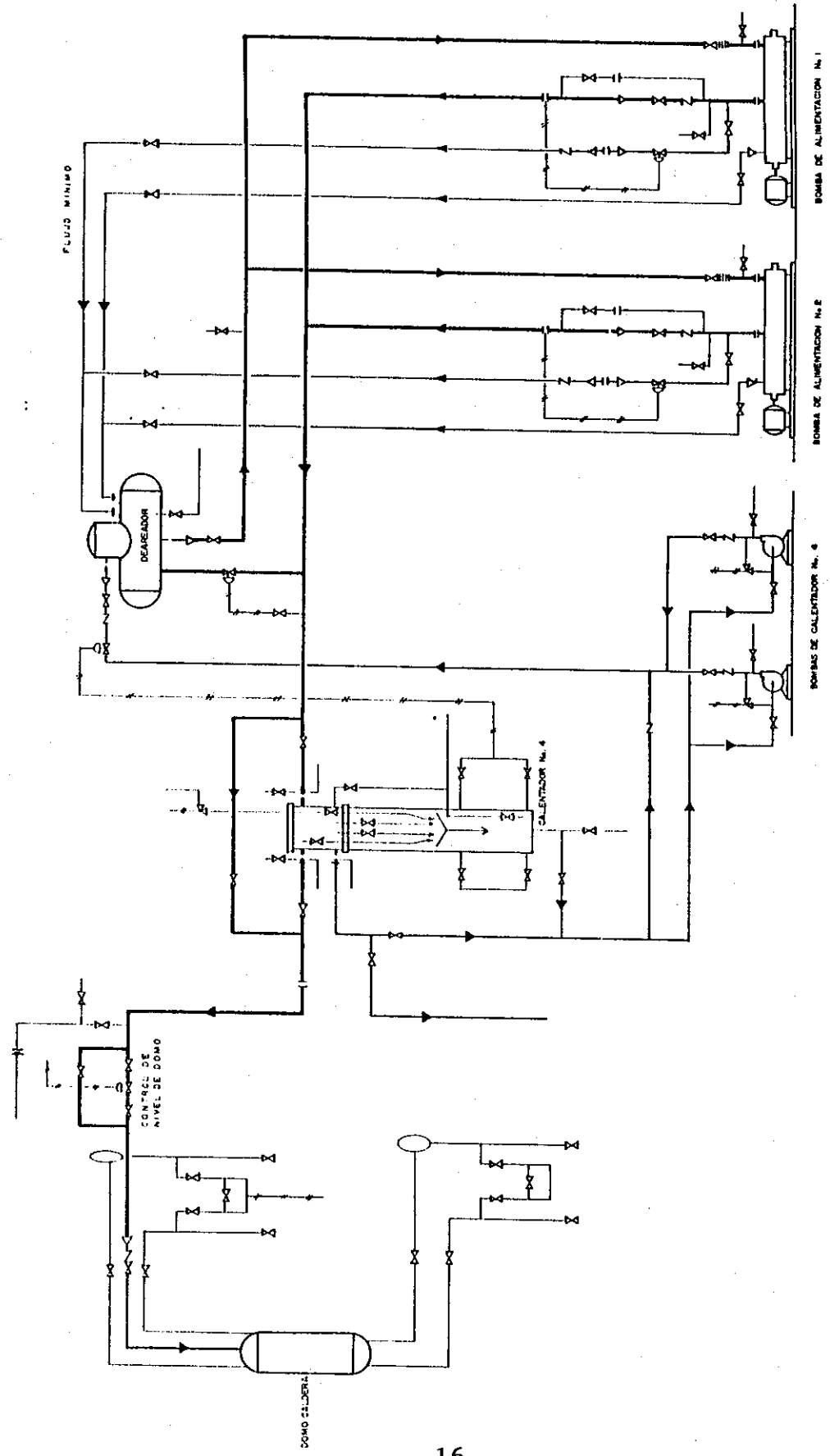


FIGURA 4.
DIAGRAMA FLUJO DE ALIMENTACIÓN AGUA PARA CALDERA

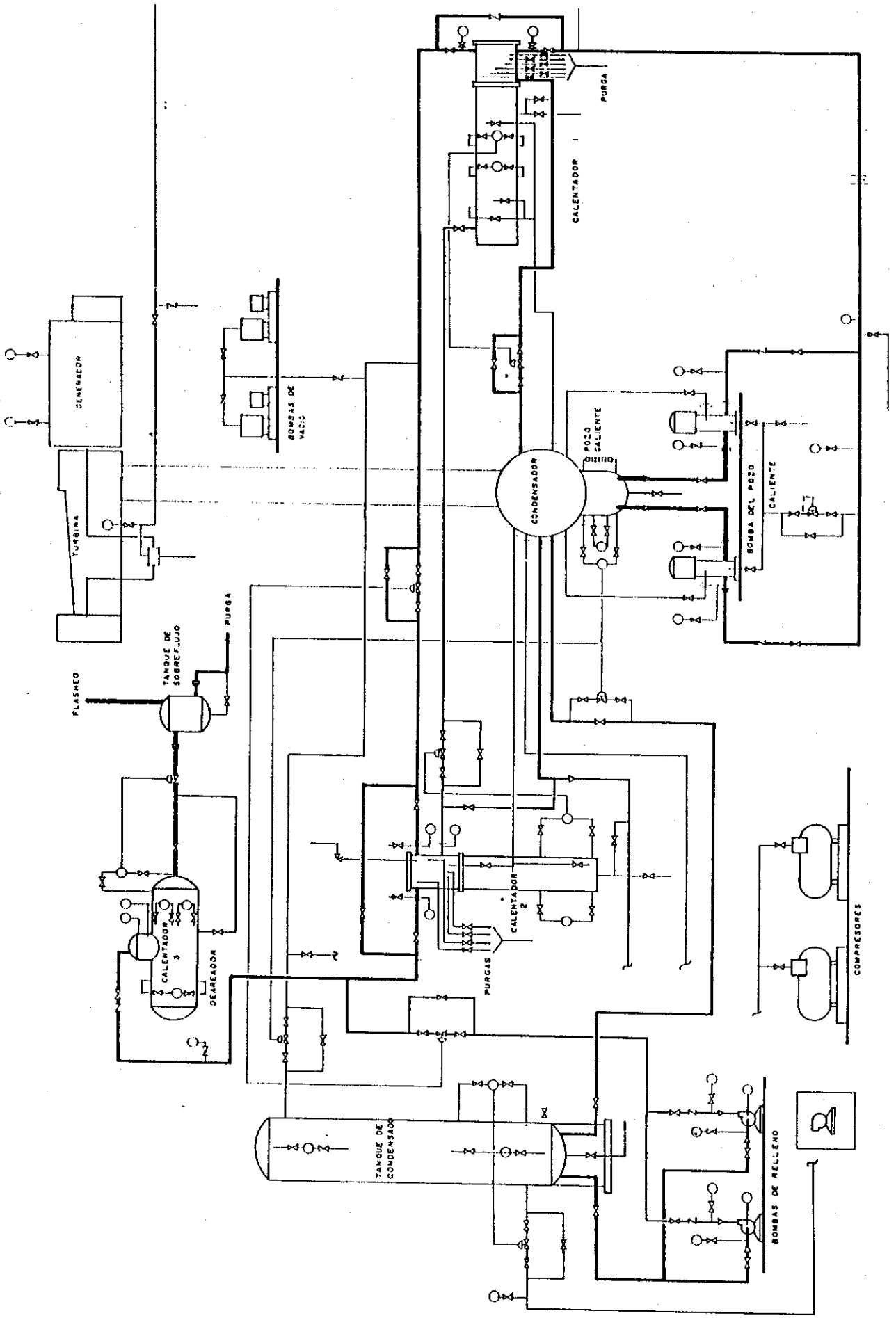


FIGURA 5.
 DIAGRAMA FLUJO , SISTEMA DE CONDENSADO

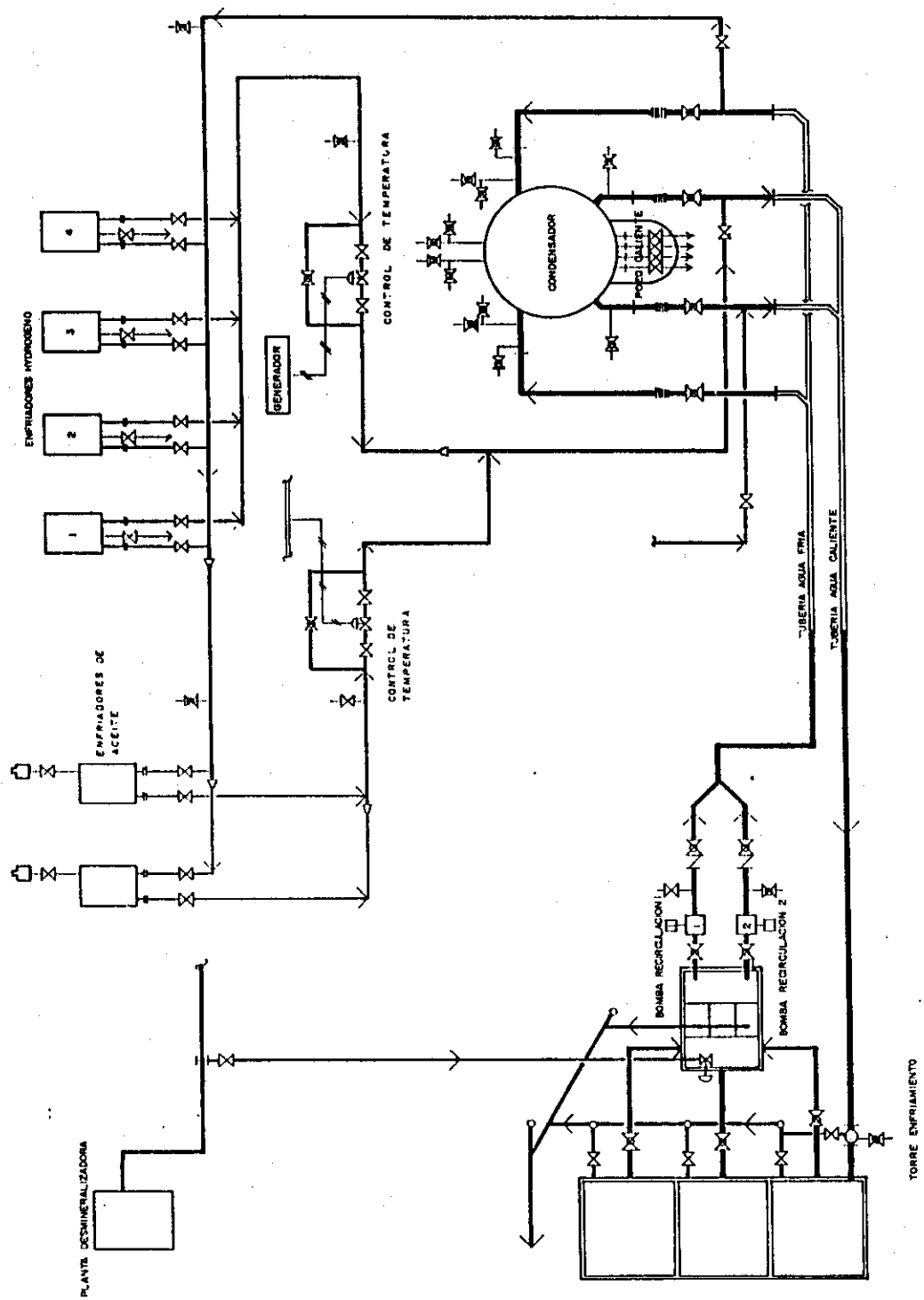


FIGURA 6.
 DIAGRAMA FLUJO DE SISTEMA CIRCULACIÓN AGUA DE
 ENFRIAMIENTOS

3. MONTAJE DE UN TURBOGENERADOR.

Debido a que se trata de un trabajo bastante largo y voluminoso es necesario (en estas máquinas que oscilan en potencias de 25 MW comparadas con las de menor potencia), hacer un plan de trabajo, dado que se pueden efectuar instalaciones simultáneas de diferentes partes y coordinarlas ya que unas de estas se instalan en secuencia y la falta o el olvido de una de ellas puede causar atrasos en otras subsiguientes. Se presenta al final del capítulo un plan que puede utilizarse para ello, haciéndole si es necesario algunas modificaciones que se requieran para adaptarlo a distintos casos (ver Figura 7).

3.1 Descripción de la base de concreto

Generalmente, es una base de concreto armado en la que su diseño debe de contemplar: soporte de el peso de la máquina resistencia a vibraciones y temperatura, diseño sísmico y suficiente rigidez para no permitir deflexiones y algo importante es que debe quedar prevista con una altura arriba del nivel de piso para poder alojar algunos de los auxiliares como el tanque de aceite, condensador, salida de extracciones, enfriamientos de el generador, salida de instalación eléctrica etc. Para su diseño se necesita que se tenga a mano el plano general de la maquina out line el cual da las medidas de los pernos de las platinas de la turbina y el generador. Debe tenerse mucho cuidado al momento de fundir los pernos ya que son medidas muy exactas y en algunas ocasiones al momento de fundir por el manipuleo de el concreto se pueden mover de su posición y no quedar bien al momento de iniciar el montaje; se acostumbra anclar la maquina con pernos pasados para lo cual es necesario dejar tubos de pvc a los que se les llama candeleros con un diámetro de dos veces el de el perno para poder absorber algún corrimiento a la hora de la fundición. Antes de hacer dicha fundición es necesario que quien este a cargo de el montaje rectifique todas las medidas y chequee las escuadras por medio de componentes para evitar errores; es necesario tomar la línea de escape y centro de turbina-generador para hacer el chequeo ya que es la base para el inicio de el montaje. Se recomienda en los chequeos no acumular medidas sino que medir todas desde la línea de escape y centro de línea de turbina-generador para minimizar errores. La fundición de la parte superior debe de quedar áspera y no hacer ningún cernido dado que con estos pueden quedar áreas que no están totalmente adheridas causando así que la maquina no queda firme a la base y puede causar problema de vibraciones, o asentamientos.

3.2 Platinas

Son la base para el inicio de el montaje de el turbogenerador; las platinas son las planchas que soportan la turbina generador y con medidas $2\frac{1}{2}'' * 10'' * 60''$ dependiendo de el modelo y tipo de maquina. Dichas platinas soportan la turbina y el generador, tienen provistos los agujeros que agarran la maquina a la base de concreto y otros adicionales que sirven para amarre a la base con el grout. Después de tener la base lista se procede de la siguiente manera:

- a) Colocar los hilos de la línea de escape y la de centro de turbina y generador dado que según el plano en todas las maquinas son la base para el inicio de el montaje; es necesario chequear nuevamente la distancia de los pernos o camisas para verificar que no exista un error y nos de problemas mas adelante.
- b) Con ayuda de un nivel óptico trasladar la altura de la base a un punto fijo que servirá de referencia puede ser una viga del edificio. De no tenerse un nivel óptico puede hacerse con nivel de precisión .
- c) Colocar la platina del front standard , esta es la base para el inicio de el montaje debido a que esta nos da la altura para las demás platinas ; es necesario colocar unos tornillos a las platinas (4 por platina llamados gatos) estos sirven para graduar la altura de las platinas , Se debe de dejar 2 ½” de espacio bajo la platinas para un cemento de fraguado rápido, y el cual tiene la característica de que no cambia su volumen al secar y así evitar cambios en las alturas (llamado grout o similar) . La nivelación de las platinas se hace de preferencia con un nivel óptico dado que nos da la ventaja de que se pueden trasladar un mismo nivel a todas las platinas de una manera rápida. La nivelación de las platinas de la turbina como las de el generador se hace en base a la del front standard dado que como se había dicho es el punto de partida tomando en cuenta la diferencia de alturas de la turbina a el generador que se encuentra en el manual de cada maquina.

Una vez se tienen niveladas las platinas se procede a formar 4 tacos o fundiciones de grout bajo la platina y la base de concreto de 21/2”*10”*6”. Cuando use el cemento grout verifique la cantidad correcta de agua para el grout y proceder a llenar el taco apisonando el material para lograr una buena uniformidad y el mayor contacto posible entre taco y platina y dejar fraguar como mínimo 3 días . Seguidamente levantar las platinas y verificar que la superficie este lisa es decir sin poros , puede pasarse una lija a la superficie para dejarla mas limpia ; es necesario chequear que el contacto entre platina y taco sea superior al 80% y no admita 0.002 “ entre ambos, dicho chequeo puede hacerse con azul de Prusia y si no tenemos este contacto puede ajustarse para lograrlo lijando las superficies tomando en cuenta que todos los tacos de una platina deben de mantenerse a nivel ; cuando se logren estas dos condiciones se procede a colocar un laminas entre taco y platinas conocidas como shim que puede ser al rededor de 1/8” y ser de preferencia de lamina de inoxidable; ésto es por si hubiera necesidad de hacer algún ajuste en la altura de la turbina y generador.

El paso siguiente es colocar los pernos que fijan las platinas con la base de concreto que normalmente pueden ser de acero 1040.

3.3 Front standard

Es la base donde esta montado el gobernador , bomba principal de lubricación, chumacera numero 1 y el cojinete de empuje . El front standard es el que absorbe la expansión por medio de las piernas flexibles cuando la turbina calienta por el vapor. La parte superior donde se montan las partes arriba descritas puede aceptarse una variación no mayor de .015” en las cuatro esquinas debido al alineamiento de la bomba de aceite.

Una vez se tienen listas las platinas se prosigue con el montaje de las partes que van sobre ellas que son el generador y la caja inferior de la turbina .

3.4 Caja inferior de la turbina

Las consideraciones que hay que tomar en cuenta en el montaje de la caja inferior de la turbina es el peso en si de la misma y antes de colocarla en su sitio correspondiente limpiar muy bien las partes que entran en contacto con las platinas para lograr un buen contacto entre ambas. Al momento de colocar la caja tomar en cuenta que las guías de la caja deben quedar exactamente sobre las de las platinas que son las que centran la caja inferior .Puede ahora hacerse un chequeo de alineación sobre la superficie de la caja , hay que observar que normalmente las cajas llevan una junta atornillada al centro que divide la zona de alta con la de baja presión siendo la zona de alta la de las primeras etapas de la turbina y la de baja la de las últimas ruedas; tomando como referencia el front standard con la zona de alta presión puede aceptarse una diferencia máxima de altura de 0.008” y que entre la zona de alta presión con la de baja de haber una diferencia de 0.040” que es debido a que la zona de alta presión en el momento de trabajar su temperatura es mayor y crece por dicha T. Mientras que la zona de baja se mantiene más fría y sumado a que experimenta una succión o fuerza de atracción hacia abajo por la condensación de el vapor, que se da por el condensador.

La caja inferior lleva alojada dentro de ella los diafragmas, chumaceras , sellos de vapor y deflectores de aceite ; de preferencia deben retirarse para su mantenimiento.

En cuanto a los sellos de aceite y los laberintos o sellos de vapor también hacer su chequeo verificando su altura pines y resortes; al referirnos a altura debe entenderse que deben mantenerse en su circunferencia dado que es allí donde ellos hacen el sello, si están doblados tratar de repararlos con mucho cuidado y mantenerlos en buen estado dado que son los encargados de evitar las fugas entre las etapas y extremos de la turbina.

Quitar las chumaceras para evitar que se puedan caer y dar su mantenimiento consistente en limpieza y guardarlas entre aceite .

3.5 Estator

El estator es uno de los componentes encargados de generar la corriente eléctrica ; en cuanto al mantenimiento que debe darse le es el siguiente:

- Lavado de los devanados de las bobinas con un desengrasante dieléctrico ; puede utilizarse para ello electroclean , electrosafe o similar, estos son suficientes también como desplazantes de humedad.
- Hacer un chequeo de las cuñas de fibra fenólica que soportan las barras de cobre del devanado con el núcleo de chapas .
- Megueo de las bobinas para comprobar la lectura de aislamiento a tierra . puede aceptarse como bueno 1 mega ohmio o más por cada 1000 voltios .
- Barnizar las bobinas si se nota algún daño en el aislamiento con barniz negro o rojo dieléctrico.
- Mientras la máquina no este trabajando es necesario mantenerlo con calefacción de preferencia con una maquina de DC que puede ser de soldadura que proporcione $\frac{1}{4}$ de la corriente nominal; colocando las bobinas del devanado en serie.

En cuanto al montaje de el estator debe de tomarse en cuenta que es la parte mas pesada que se tiene , se debe poner especial atención en forma de colocarle los cables y verificar la grúa con la que se va a subir. Puede eliminarse un poco de peso quitando las tapaderas de el generador y los enfriadores , para tener una idea para un generador de 13,800 v y 26 MW de potencia el peso anda al rededor de las 70 toneladas. Debe estimarse también el mantenimiento de los enfriadores que son intercambiadores de calor de tubos del tipo cerrado de dos pasos, es conveniente hacerles una prueba hidrostática para estar seguros de su estado para evitar así que ingrese agua al generador o que escape gas en el caso de ser hidrogeno y pueda causar una explosión.

3.6 Alineamiento de chumaceras y deflectores de aceite

Dicho alineamiento se inicia cuando ya se tiene la caja inferior en su lugar y nivelada ; la base para el alineamiento es la chumacera 1 y 2 dado que están sentadas en la caja inferior ; otra consideración que debe tomarse es la de que los deflectores de aceite están en la caja también y no pueden moverse; aunque estos determinan el centro de el eje, normalmente la base son las chumaceras.

Para el alineamiento se necesita de un aparato en el cual estará colocado un hilo de piano que se hace pasar por el centro de las dos chumaceras. El aparato consiste en una polea que tiene movimiento hacia arriba y a ambos lados , dicho movimiento se logra con tornillos de rosca fina

para lograr desplazamientos muy pequeños , tanto la polea como su sistema de movimiento se montan sobre una lamina que se fijan uno en cada lado de la caja de la turbina dejando las dos chumaceras en medio de ellas, una vez se dispone de el aparato se coloca el hilo de piano y se tensa por medio de pesos en los extremos para que el hilo se mantenga recto y no tenga comba en la horizontal; debe tomarse en cuenta que el centrado de el hilo se hace con la guía que son los deflectores de aceite y debe coincidir al centro de puntos base que son las chumaceras.

Una vez montado el estator debe considerarse el montaje de el pedestal que soporta la chumacera tres si el generador es de tres chumaceras ; otros turbogeneradores de cuatro chumaceras que pueden tener su pedestal independiente o estar la chumacera soportada en el escudo que es una de las tapaderas del generador; de cualquier forma es necesario dejarlas prealineadas con el hilo de piano, que ahora va a ser necesario pasarlo hasta el extremo del generador.

Las chumaceras se cierran parte superior con la inferior y se calibran para verificar la tolerancia que tiene con el eje, por regla general se aplica el siguiente criterio, , para el huelgo entre el muñón y chumacera de 1.3 a 1.5 milésimas por pulgada de diámetro del muñón. Otro criterio usado es el de obtener la relación

L/D . L = Largo del muñón D = Diámetro del muñón.

$L/D > 1$ 1.5 a 2 milésimas mas 2 milésimas.

$L/D < 1$ 1.5 a 2 milésimas

Para zapatos basculantes (Tilting Dad Journals) de 1 a 1.5 milésimas.

El rango máximo tolerable para que una chumacera trabaje es tener la holgura máxima más 4 milésimas.

En cuanto a la temperatura de trabajo aceptables de chumacera se pueden tomar los siguientes:

Normal 135 a 150 grados F (57 a 88 grados C).

Alarma 225 grados F (107 grados C).

Disparo 250 grados F (121 grados C).

3.7 Diafragmas inferiores

En cuanto al mantenimiento deben retirarse de la caja teniendo cuidado de marcar cada uno de ellos con sus tornillo y cuñas dado que llevan lado especifico y no den problemas al momento de calibrar.

Antes de su montaje debe es recomendable hacerles una limpieza con sand-blast y seguidamente inspección con ultrasonido y líquidos penetrantes para descartar posibles fallas ; si

las hubiera se puede hacer una reparación con soldadura usando aporte como inconel o consultar a al fabrica para su reparación. Algo importante es que el diafragma en la caja de la turbina va montado sobre una guía al fondo sobre la cual puede oscilar y evitar un movimiento de desplazamiento debido a desajuste en el castigador de dicha guía, que nos puede dar problemas en el alineamiento dado que esto se refleja en un desajuste en la parte superior del diafragma en los dos extremos tiene sus tornillos castigadores y de alineamiento con los cuales podemos mover el diafragma para donde sea necesario.

El alineamiento básico de los diafragmas consiste en dejarlos centrados con el hilo de piano en los lados de preferencia puede quedar a 0.000" ó aceptar un máximo de 0.003", hacia la parte inferior debe considerarse dejar 0.010" aunque esta tolerancia depende de la catenaria del hilo y del sag que es particular de cada maquina 0.010" + el sag del eje lo cual es necesario para expansión de el rotor y los diafragmas debido a la temperatura al trabajar la maquina. El rango de tolerancias en huelgos entre diafragma y alabes móviles es de 0.042" a 0.072" y es definido por la posición del disco.

3.8 Bomba principal

Cuando la máquina esta en operación es la encargada de mantener la presión de aceite necesaria para el circuito de lubricación y al gobernador en sus parámetros ; se usan bombas centrifugas de impelente cerrado y de paletas; y hay dos formas de sujetarlas al eje, una que va fija a el y la otra con un acople que puede ser de estría debe observarse que debe quedar centrada en la carcaza dentro de 0.005 de pulgada y que en la aparte de la succión tenga la luz o tolerancias que pide el manual para evitar se de una recirculacion y pueda perder presión y flujo por ello.

3.9 Sellos de vapor, aceite e hidrógeno

Cuando se habla de sellos de vapor normalmente se subdividen en tres rangos que son de alta presión , intermedio y el de baja presión. El de alta presión por lo general se conecta a una de las extracciones, el intermedio a una cámara de spray o a un eyector y el de baja presión a el condensador. Existe un regulador de sellos, el cual su función principal es hacer una toma de vapor vivo y mantiene de 4 a 5 psig en los sellos esto es para evitar la entrada de aire hacia la turbina y mantener un flujo de vapor en los sellos.

Basándonos siempre en el hilo de piano pueden, a los de alta presión e intermedia dejarles una holgura de 0.010" y para los de baja presión de 0.012" a 0.015"; en general los huelgos recomendados en sellos laberínticos son del orden de 0.016" a 0.020" diametralmente, y la siguiente consideración :

Rango de operación: Huelgo de chumacera mas 0.001" por pulgada de diámetro.

Reemplazo: huelgo de chumacera más dos milésimas por pulgada de diámetro.

Para sellos de carbón son claros desde 0.001" a 0.003" para temperaturas de 482 grados F. y de 0.005" a 0.008" para temperaturas de 750 grados F.

Los sellos de aceite van colocados a cada lado de las chumaceras son del tipo laberinto y su función principal es que se derrame aceite hacia los lados de las chumaceras; la calibración a que pueden dejarse es de 0.004 por pulgada de diámetro.

En cuanto a los sellos de hidrógeno, su función es la de evitar que el generador saque el hidrógeno hacia el exterior debido a la presión que existe en el , dado que el único lugar donde puede hacerlo es el eje también es del tipo laberinto con el único cambio que aquí existe siempre una corriente de aceite circulando , esto es para mejorar el sello, dicha presión de aceite esta sobre 4 psig sobre la presión de hidrogeno de esta manera evitaremos que el hidrogeno salga, Este flujo y presión de aceite es controlado por todo un sistema de control de sellos que se vera en el capitulo 4. La calibración aceptable en los sellos de hidrogeno es de 0.004" por pulgada de diámetro.

3.10 Diafragmas superiores

Van colocados en la tapadera superior de la turbina, su alineamiento básicamente lo dan los diafragmas inferiores dado que una vez centrado el inferior medimos a que altura queda de la caja inferior a esto se le llama escalón ; por ejemplo si el diafragma inferior 5 quedo hacia abajo de la caja 10 milésimas esto quiere decir que el superior debe quedar salido esas 10 milésimas menos de 3 a 5 milésimas para crecimiento esto seria 5 milésimas salido.

3.11 Rotor de la turbina

Este tiene los muñones de las chumaceras, el "copleing" y los alabes móviles. Es necesario hacer un chequeo de dichos alabes para verificar su buen estado , que el cincho , los remaches y los alabes no estén flojos y que los discos no giren excéntricos respecto a la caja. Cuando meta el rotor tenga mucho cuidado para no golpear los discos y los sellos de vapor. En cuanto a las calibraciones primero verifique que el movimiento axial este alrededor de 10 a 15 milésimas y que la primera rueda este muy cercana a 32 milésimas de las toberas fijas, aunque las demás ruedas su tolerancia esta definida por diseño es necesario medirla y ver que en ninguna estamos abajo de las 32 y podemos ir hasta 80 milésimas de tolerancia según el diseño.

3.12 Rotor de el generador

Este se mete por la parte de atrás, para que sea mas fácil se talla una lamina de media circunferencia y se coloca en el generador sobre el estator, si es posible se le hecha parafina, el rotor se coloca sobre esta lamina y se arrastra hasta llegarlo a su posición. Si la turbina es de tres chumaceras es necesario centrarlo circunferencialmente (air gap) y longitudinalmente (centro magnético). Cuando son de cuatro chumaceras se autoalinean , es decir que las mismas chumaceras dado que están pegadas al generador ellas centran el rotor.

3.13 Alineamiento de turbina y generador

Esto quiere decir unir el rotor de el generador y el rotor de la turbina por medio de un acoplamiento rígido . La base o el punto fijo es el rotor de la turbina, debe observarse que el manual de pide la altura de la ultima chumacera o sea la de el colector ; esta altura esta alrededor de 0.070". Para el apriete del acople tambien referirse al manual ; ya que cada turbo tiene su altura y su forma diferente de tolerancias en las medidas del acoplamiento; un chequeo que debe hacerse es acercar ambos acoples y medir las distancias entre ellos en los cuatro puntos. Según el manual puede quedar abierto algunas milésimas arriba o abajo . Ahora mida la longitud de los tornillos que aprietan el acople , póngalos y apriete hasta que el tornillo se estire su longitud mas 1.5 milésimas de pulgada por cada pulgada de longitud del mismo , este estiramiento sirve para que no se afloje con el trabajo y la temperatura. Una vez acoplado se recomienda hacer los siguientes chequeos:

- a) Para turbos de tres chumaceras. Hacer sling check; levante la ultima chumacera 0.005" con cable largo y en un solo hilo, colocando un reloj comparador en los lados verifique que el rotor no se mueve hacia los lados solo se acepta +- 0.005" de movimiento ; si esto no esta dentro de estos parámetros corríjalo con el apriete de los tornillos del acople.
- b) Verifique que la chumacera esta perfectamente alineada. Levante el eje 0.005" y deslice la ultima chumacera hacia arriba para sacarla esta debe salir muy suave, con ayuda de un reloj comparador observe que el eje no se mueva hacia ningún lado mas de 0.005" si se corriera mas de esto corra el pedestal de la chumacera hasta que esto no ocurra.
- c) Para turbinas de cuatro chumaceras no se necesita ni hacer sling check ni verificar la chumacera dado que la chumacera va pegada al generador en los escudos o tapaderas del mismo. Aquí el chequeo a hacer es el siguiente deben de girarse ambos rotores a ala vez y con ayuda de reloj comparador observar que ninguno de los cuatro puntos se salga de concentricidad es decir 0.000" de corrimiento, si esto no se cumple se corrige moviendo el generador.

3.14 Tapadera superior

En esta van colocadas los diafragmas superiores, las válvulas de control y su mecanismo. Cuando coloque la tapadera hágalo con mucho cuidado dado que el rotor de la turbina ya esta metido y puede golpear alguna de las ruedas o doblarla , los sellos de vapor etc. recuerde que pesa lo suficiente para poder ocasionar daño, aquí tambien tenemos ya los diafragmas superiores y estos deben hacentar justamente haciendo pareja con los inferiores. Ahora puede apretarse o cerrar la turbina , para ello lleva unos pernos en las tapaderas con un agujero este sirve para meter un calentador eléctrico llamado espada y darle un estiramiento al perno y use torque , este calentamiento es para que cuando la turbina trabaje y el metal se dilate los pernos que ya están dilatados no aflojen ambas tapaderas y se produzcan fugas entre ellas. Para el apretado use llave de torque.

3.15 Montaje de el gobernador

Este va montado sobre el front standard , debe verificarse que el alineamiento y nivelación estén bien ; en su parte inferior lleva conectado tubería de aceite en la cual va la succión de la bomba principal y drenaje de la chumacera 1 , el empuje y el cilindro de gobernación ; es el encargado del control de la velocidad de la maquina y mantenerla constante a distintas cargas; así como algunas protecciones y el disparo de sobrevelocidad.

3.16 Válvulas de parada y de control

La válvula de parada o de estrangulamiento es la encargada de cortar el suministro de vapor a la turbina . Esta válvula de cierre rápido (disparo) tiene uno o dos asientos de sello, y actúa cuando recibe una señal de emergencia por sobre-velocidad, baja presión de aceite de lubricación, alta temperatura en chumaceras, falla en el generador etc.

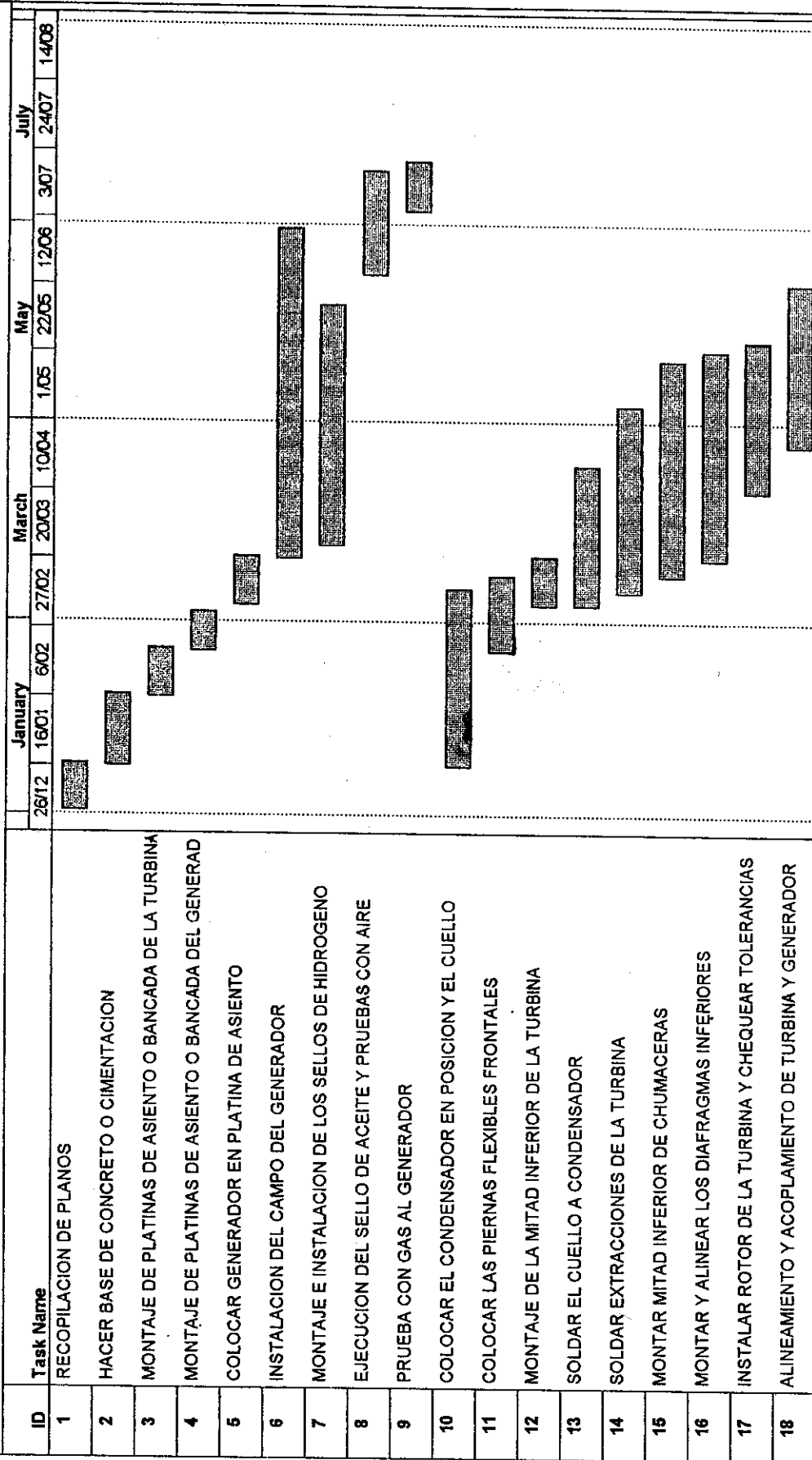
La calibración por sobrevelocidad se realiza en rangos de 110% a 115% de la velocidad de trabajo, dejando el 110% para las turbinas de generación de energía eléctrica. Normalmente el sistema de disparo de las turbinas es un dedo que gira con la punta del rotor que por la velocidad centrifuga vence un resorte y toca el gatillo de disparo, el claro que debe existir entre el dedo y el gatillo debe calibrarse para una holgura de 0.053" a 0.073".

Las válvulas de regulación o gobernación son las que suministra la cantidad de vapor requerida por la turbina para responder a las condiciones variables de servicio. Estas son de doble asiento para proporcionar el balance de fuerzas de empuje y por lo tanto emplea poca fuerza de accionamiento. Empleando gobernador hidráulico las turbinas se pueden ajustar entre un 85 a un 105% de su velocidad nominal.

Los vástagos de las válvulas tienen la tendencia a pegarse por la acumulación de compuestos químicos que arrastra el vapor desde la caldera y que impide su libre desplazamiento dando respuesta errática , o que pueden quedarse pegadas y perder el gobernador el control sobre la velocidad de la turbina . Por estas razones es necesario revisarlas periódicamente para su limpieza y comprobación de desgaste sobre los bujes guías y corregirlos. Este desgaste forma escalones en el vástago que es lo que genera el problema.

Otro cuidado que debe tenerse en cuenta es el contacto de los asientos y el cuerpo móvil , se recomienda un 90% mínimo de contacto. Para las turbinas de varias válvulas de control una de ellas debe quedar con un claro de 0.062" para rotación de la turbina inicial o sin carga. Esto es para turbinas que tienen válvulas de estrangulamiento . Caso contrario para turbinas con válvula de parada las válvulas de control cierran totalmente y abren en forma escalonada según el requerimiento o demanda de vapor.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE MONTAJE

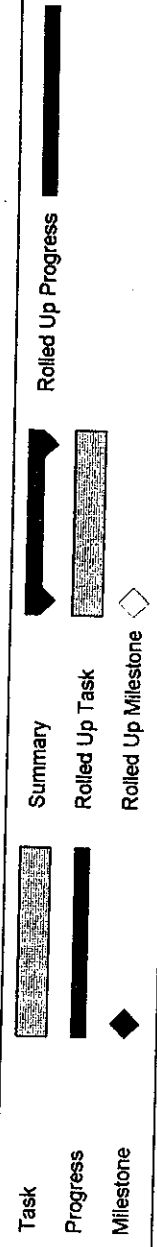
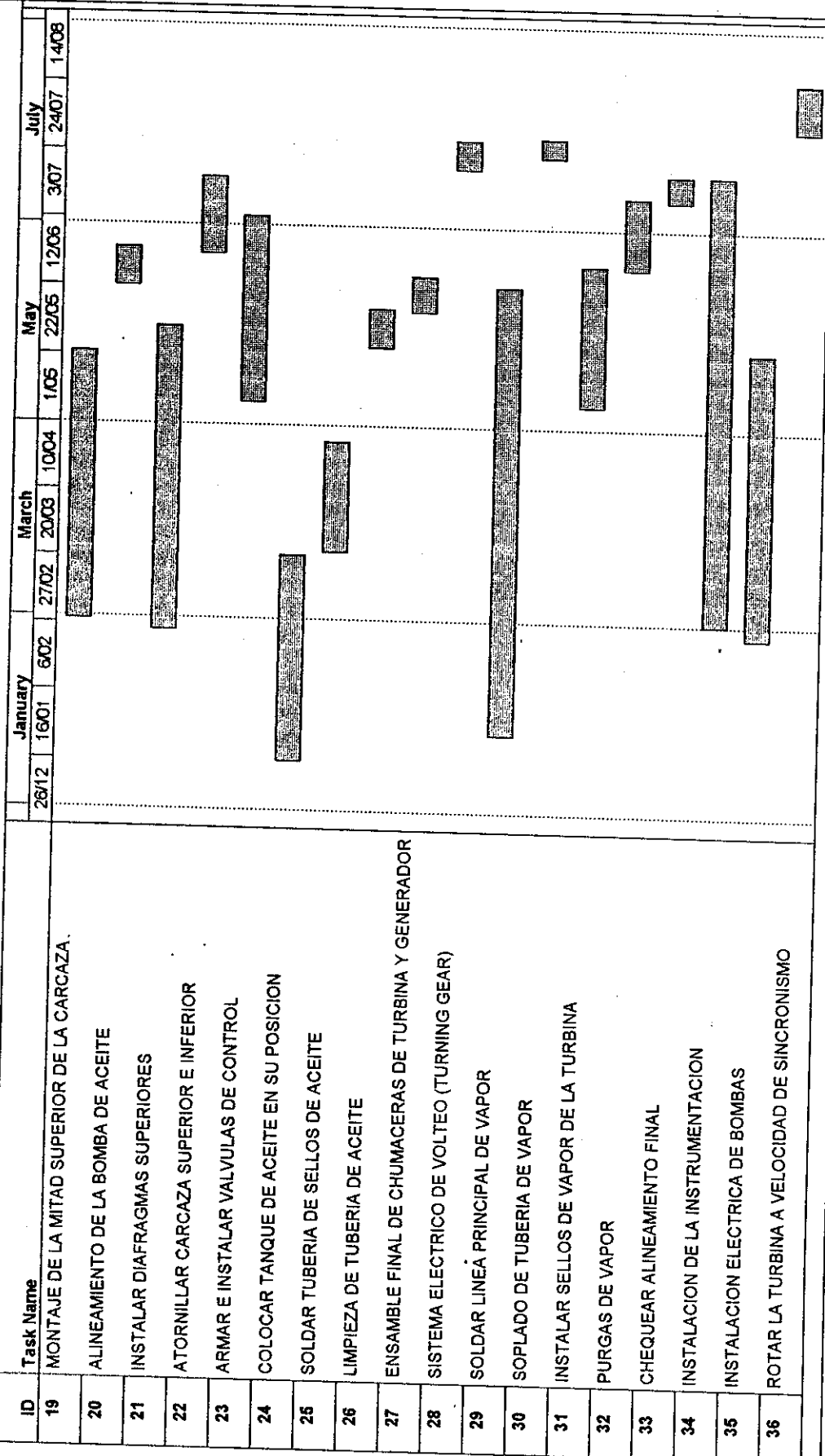


Project: _____
Date: 24/11/97

	Task		Summary
	Progress		Rolled Up Task
	Milestone		Rolled Up Milestone
			Rolled Up Progress

FIGURA 7

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE MONTAJE



Project:
Date: 5/11/97

FIGURA 7

4. AUXILIARES

4.1 Sistemas de lubricación

El sistema de lubricación tiene las siguientes funciones:

1. Dar lubricación y enfriamiento a los cojinetes
2. Accionar al gobernador para mantener la velocidad de sincronismo.
3. mantener un sello entre el exterior e interior de el generador cuando este usa hidrogeno.
4. Dar abertura y cierre a la válvula de admisión de vapor cuando se causa un disparo.

La turbina tiene en el extremo de su eje bajo el gobernador acoplada la bomba mecánica que es la encargada de suplir todo lo referente a la lubricación cuando la turbina opera. Una observación muy importante es que todas las bombas auxiliares deben de trabajar en automático es decir su arranque y paro debe ser por medio de un switch de presión y tener siempre la seguridad de que en una parada normal o un disparo el turbogenerador no se va a quedar en ningún momento sin aceite.

Puede tomarse como un arreglo de bombas el siguiente:

- a) una bomba mecánica
- b) una bomba auxiliar de corriente alterna
- c) una bomba auxiliar para sellos de hidrogeno cuando se usa.
- d) Una bomba auxiliar de corriente directa a 125 vdc accionadas por medio de un banco de baterías.

Una secuencia de arranque de bombas podría ser así:

Bomba	switch de presión	
	Parar	Arrancar.
Mecánica a 175 psi.		
Auxiliar AC	140 psi	123 psi
Auxiliar de sellos	90 psi	73 psi
Auxiliar de emergencia DC	14 psi	10psi

Durante las paradas y arranques de la maquina es necesario verificar que todas las bombas arranquen y paren de acuerdo a las presiones prefijadas, y mantenerlas en la opción de automático.

Es importante hacer notar que justo debajo de la bomba principal esta el tanque de aceite, en el están ubicadas las succiones de todas las bombas todas sumergidas en el excepto la mecánica que utiliza un eyector para lograr succionar el aceite este utiliza un chorro de aceite a presión para cumplir su función. Otros instrumentos y accesorios válvulas

automáticas ,cheques , orificios, termómetros , manómetros , control de abertura y cierre de las non return de las extracciones , enfriador de aceite para mantener la temperatura dentro de los 135 y 150 °F . para poder lograr dicha temperatura puede tener incorporado una válvula automática para controlar la cantidad de agua en los enfriadores .Algunos parámetros útiles para temperaturas de operación en el aceite son los siguientes:

Normal	135 °F a 150 °F
Alarma	225 °F
Disparo de turbina	250 °F.

4.2 Extracciones y calentadores

Una extracción es un sangrado de vapor que se le hace a la turbina a la altura de un determinado número de etapas con el fin de reducir el volumen de vapor dentro de la turbina y así incrementar su eficiencia , utilizando este vapor extraído para calentar agua condensada que va hacia la caldera por medio de los calentadores.

En cuanto al montaje de las extracciones sólo constan de tubería, una válvula de cheque llamada non return y una válvula de compuerta para poder aislar la turbina del calentador cuando sea necesario, cada extracción debe de llevar en su parte mas baja una trampa de agua de vapor de la extracción con sus válvulas y filtro dicha trampa puede ser del tipo termostatica y chequear continuamente su funcionamiento para evitar se forme agua en la extracción aun cuando esta no esta dando flujo. Es conveniente soportar la tubería de las extracciones por medio de cargadores de resorte llamados hangers con los cuales se puede dar nivelación a la turbina si es necesario y permitir la expansión libre por temperatura.

El calentador de vapor va conectado de la extracción de la turbina, un tamaño promedio es de 24 pulgadas de diámetro por 20 pies de largo su tubería de 5/8 , este puede tener un área de contacto de 900 pies cuadrados. Tiene una entrada de vapor, una salida de agua condensada, entrada y salida de agua que es la que calienta salida de incondensables que van a dar al condensador tomas para manómetros , termómetros, nivel de vidrio visual , celda de control de nivel, alarmas de nivel alto, drenajes de el lado de agua y vapor. El empleo de los calentadores de vapor tiene varios objetos : 1) lograr la ganancia termodinámica del vapor y elevar la temperatura de el agua a un valor adecuado que evite el choque térmico en el metal de la caldera

4.3 Montaje de el condensador

En una turbina el condensador va conectado después de la ultima etapa de la misma y tiene 2 funciones principales :

- 1) Producir en el escape de la turbina el vacío o la contrapresion deseados para lograr el mayor aprovechamiento posible de la energía de la planta. Una contrapresion económica es de 3.5 pulgadas de Hg absolutas .

- 2) Condensar el vapor de escape de la turbina para su posterior reutilización en el ciclo que cierra por pasar dicho condensado por los calentadores y seguidamente meterlo a la caldera como agua de alimentación; es muy importante hacer notar que en el efecto de condensación debe de desairearse el condensado, sacar todo lo que no sea agua es decir aire y gases incondensables, estos se sacan del condensador por medio de eyectores de vapor o por medio de bombas de vacío.

El montaje del condensador debe hacerse antes de la caja inferior de la turbina teniendo el cuidado de colocarlo justamente donde debe quedar dado que seguidamente va colocado el cuello del mismo. El objeto del cuello es unir el condensador con la turbina. Hay dos tipos de cuellos: uno con junta de expansión corrugada y el otro fijo. Los que tienen junta de expansión se montan sobre patas fijas, para ello poner el cuello en su posición y posteriormente la caja inferior de la turbina, atornillar el cuello a la turbina y soldar el cuello al condensador. Antes de soldar debe observarse que para su desmontaje debe bloquearse la junta de expansión para evitar se distorsione si no es así bloquearla antes de soldar y quitar el bloqueo después de soldar. Los que no tienen junta de expansión van montadas sobre resortes los cuales se calibran para permitir la expansión de ambos al trabajar. En la parte más alta del condensador están instaladas las trampas de aire-agua verificar que estas estén en buen funcionamiento para que no se acumule aire dentro del condensador y esto pueda inferir en su buen funcionamiento.

En cuanto al mantenimiento se refiere a limpiar tubería puede hacerse con cepillo de alambre o plástico es preferible el cepillo plástico cuando se usa motor para accionarlo dado que si se usa metálico puede desgastar la tubería, debe darse mantenimiento también a válvulas, manómetros termómetros, nivel visual, debe hacerse prueba hidrostática en el lado de agua de circulación y en el lado de vapor. En su mayoría, el condensador es de dos pasos de tubos rectos de admiralty y dividido en dos secciones verticales izquierda y derecha, esto nos da la facilidad de poder hacer limpieza a una mitad mientras la otra esta trabajando aunque se baje la carga de la turbina a un valor cercano a la mitad de su potencia nominal sin sacar la turbina de línea.

4.4 Bombeo de el agua condensada

Después de que el vapor abandona la última etapa de la turbina va a dar al condensador, aquí en este el vapor se convierte en agua por el efecto de enfriamiento de el agua que circula dentro de la tubería de el condensador. Dicho condensado se almacena al fondo del condensador en el hotwell o pozo caliente. El proceso de bombear el agua condensada incluye dos pasos:

- a) Una bomba succiona del pozo caliente y hace pasar esta agua por el calentador 1, calentador 2 y la sube hasta el deareador. Para que la bomba funcione bien deben tomarse las siguientes consideraciones. Calcularse el NPSHA (disponible) de acuerdo a las siguientes condiciones:

$$\text{NPSHA} = P + h - (V_p - H_f)$$

en donde :

P = presión absoluta en el condensador.

h = altura estática medida entre el nivel del agua en operación normal y la succión de la bomba

V_p = presión de vapor . Se saca de tablas de acuerdo a la temperatura del agua

H_f = pérdida por fricción en la sección del tubo de succión conforme a los accesorios y longitud de tubería.

NPSHR = característica de la bomba. Se saca de su gráfico.

Debe verificarse que el NPSHA > NPSHR.

El chequeo anterior se hace necesario dado que el pozo caliente por la temperatura del agua hace cavitarse la bomba. Algo muy importante que antes de arrancar la bomba se saque el aire .

- b) Una vez el agua está entrando al deareador cae por un escruber en donde en contracorriente se mezcla con el vapor entrando de la 2da extracción de la turbina , el agua toma más temperatura , el vapor se condensa y se desairea. Aquí tenemos una salida de gases incondensables que es un flasheo que se mantiene todo el tiempo a la atmósfera es una tubería de 1 1/2 " con un orificio de 1/4 ". El nivel de operación es 15" arriba de su centro. 28 pies abajo de este se encuentra la succión de bomba de alimentación de la caldera. Tome en cuenta que aquí tenemos agua caliente a una temperatura de 320 °F , para que ésta no se evapore y se pierda el NPSH en la bomba. Es necesario mantener presurizado el deareador . Ésta depende del diseño de la máquina del lugar y condiciones de la bomba . Debe hacerse un cálculo similar al que se hizo para las bombas del hotwell para lograr las mejores condiciones de operación . Debe observarse que estas bombas, por ser de alta presión y temperatura, necesitan circular agua por su interior todo el tiempo. Para ello es necesario la instalación de un flujo mínimo que permita la circulación de 50 gpm a el deareador. Esto permitirá que la bomba nunca se quede sin circulación de agua que le sirve como lubricación y enfriamiento evitando que la bomba se atore y se dañe . Después de dar presión al agua la bomba debe hacer pasar el agua por el calentador de alta presión, sistema de alimentación de agua, que se controla con una válvula automática , pasa por el economizador y posteriormente al domo de la caldera en donde éste se encargara de convertirla nuevamente en vapor que regresa a la turbina y posteriormente al condensador en donde se cierra el ciclo.

4.5 Enfriamiento del generador por hidrógeno (H₂)

El generador es el encargado de convertir la energía mecánica de la turbina a energía eléctrica . Cuando se tiene una circulación de corriente por las bobinas del generador se genera calor. Este calor debe extraerse o de lo contrario la temperatura sube en el generador y causar daño; se elimina por medio de aire o hidrógeno en circulación dentro de todo el generador, luego este calor es transmitido a el agua en los enfriadores de el generador y el

gas frío vuelve a recircular para enfriar nuevamente. Cuando se usa aire se trata de que el generador sea lo más cerrado posible para evitar ingreso suciedad o humedad. Cuando el generador usa hidrogeno debe de ser hermético para evitar que salga al exterior y se pierda.

4.5.1 Ventajas del enfriamiento por hidrogeno (H₂)

Como ya se mencionó, el hidrógeno es utilizado en lugar de aire como un agente de enfriamiento principalmente debido a su baja densidad y sus propiedades de enfriamiento. Desde que su densidad es de aproximadamente 1/40 de la densidad del aire a una temperatura y presión. El uso de hidrógeno reduce las pérdidas por fricción en el bobinado de una máquina rotativa a una pequeña fracción de las pérdidas si se encontrara rotando con aire. Para una alta velocidad de máquina como la de un turbogenerador se obtiene un incremento en la eficiencia de la carga total de 0.5 a 1 % . El hidrógeno tiene una conductividad térmica de siete veces la del aire y una habilidad de transferir calor a través de convección forzada cerca de 50 % mejor que la del aire. Esto permite la reducción de cerca de 20 % en la cantidad de material activo requerido para la construcción de un generador específico y para dar la temperatura rise de los devanados.

La vida de un generador se incrementa al operar con hidrogeno, esto se debe a que la construcción esta completamente aislada de suciedad y polvo que pueda caer en los devanados y pasajes de ventilación.

KVA de salida adicionales pueden ser obtenido al incrementar la presión de hidrógeno, dicha presión tiene un rating de 30 PSIG. Al incrementar la presión el hidrógeno, viene a ser mas denso, esto mejora la capacidad de absorber y remover calor. Como resultado carga adicional puede ser generada sin incrementar la temperatura rise de los devanados. En general, un incremento en kVA de salida de 1 % puede ser obtenido por cada libra incrementada de hidrogeno arriba de 15 PSIG , mientras para presiones entre 15 y 30 PSIG, un incremento en la salida de 0.5 % por libra de incremento en la presión puede ser obtenido. Para operaciones a tasas de salida con temperaturas de agua de enfriamiento en exceso de la normal, es permisible incrementar la temperatura del agua de entrada en aproximadamente 1 °F por cada libra de incremento en la presión de hidrogeno arriba de 15 PSIG. Para presiones de 15 a 30 libras un incremento de ½ °F en el agua por libra de incremento en la presión es permisible.

4.5.2 Precauciones

Bajo operación normal con hidrógeno, la atmósfera en el generador puede no ser inflamable. Pero una mezcla entre 5 y 75 por ciento de hidrógeno en aire puede ser explosivo si existe una ignición en un lugar cerrado. Para asegurar una seguridad completa en la operación del generador enfriado por hidrogeno, se utiliza un circuito analizador de pureza de hidrogeno el cual debe mantenerse entre un 97 a 98 % dentro del generador todo el tiempo, esto asegura que una explosión iniciada en la parte interna del generador sea prácticamente imposible.

Cuando se ensambla y se opera de manera apropiada, el housing del generador, el cual es el contenedor del hidrógeno, será seguro, auto ventilado y un housing fuerte para contener el efecto destructivo de una explosión conteniendo el frame del generador y las partes encerradas.

El equipo de hidrógeno del generador debe estar diseñando con amplia ventilación a las partes donde hay fugas de hidrogeno a la atmósfera . Se debe tener este cuidado para asegurar que alguna descarga de hidrógeno de varias válvulas no se recolecte en espacios cerrados y alguna flama en la región de hidrógeno pueda ser alcanzada.

Antes de llenar el generador con H_2 es necesario purgarlo o sacarle el aire, esto debe de hacerse con un gas que no reaccione y que sea mas pesado, se usa CO_2 para ello . En la figura 8 se tiene un sistema de H_2 , CO_2 y su control. Refiérase a instructivos de cada turbogenerador aunque todos son similares . La forma de llenar el generador con gas es la siguiente: Arrancar la bomba de aceite para sellos de H_2 ; se inicia el llenado con gas CO_2 debe observarse que se debe de purgar el aire que esta encerrado en el generador por medio de el venteo ubicado en la parte superior de el generador, debe tenerse el analizador de gases para tener medición de la pureza del gas que se purga; abra ahora las botellas de gas CO_2 y deje fluir el gas hacia el generador y al mismo tiempo purgué hasta obtener arriba del 70% de pureza de CO_2 en aire . Desde el manifold de H_2 abra las válvulas para hacer fluir el gas hasta que el analizador le indique arriba del 95% de pureza de H_2 en CO_2 ; purgué todas las válvulas por unos segundos para evitar que aire u otro liquido pueda quedar atrapados

Para el control de la pureza que en operación normal debe mantenerse en el rango de 97 y 98% se tiene un flujometro que se calibra entre 100 a 200 cc para mantener dicha pureza. Se cuenta también con un circuito eléctrico que consta de un reostato y su indicación en miliamperios que se lee en porcentaje de pureza basándose en que la conductividad del gas se ve afectada por su pureza y puede colocarse una alarma para indicar la baja pureza a 90% y la alta a 100% .

4.5.3 Enfriadores de gas

El gas es recirculado a través del generador en un sistema cerrado. El calor absorbido por el gas en la superficie del estator y rotor, este es removido mientras pasa sobre tubos finos de los cuatro enfriadores de gas provistos en el frame del estator . Los enfriadores a través de los cuales el agua es circulada, están localizados entre el carcaza del estator. Ellos están colocados con los ejes largos verticales con dos enfriadores en la parte frontal y dos en la parte trasera. La circulación de gas a través de los enfriadores y bobinas del generador se observa en la Figura 9.

Cuando se usa hidrógeno el generador debe de ser hermético y evitar el ingreso de aire o salida de gas hacia el exterior. Las partes que están fijas es fácil sellarlas. El hermetismo entre las tapaderas o escudos de el generador y el eje se logra por medio de un sello de aceite que no es mas que un sello de laberinto en el cual esta presente todo el tiempo una cortina de aceite con 4 psi mas que el hidrogeno . Esto nos lleva a tener todo un

sistema de control de sellos para el generador que funciona de la siguiente forma (ver figura 10).

El aceite proveniente de bombas ubicadas en el tanque de aceite llega a la unidad de control de sellos, pasando a dos filtros (I) que funciona uno a la vez con sus válvulas de by pass, ya filtrado el aceite va hacia un regulador de presión diferencial (II) que es controlado por la presión de aceite de la línea de presión de aceite a los sellos (III) y por la presión de la línea (IV) que es la presión de gas en el generador; por medio de estas dos presiones el regulador se encarga de mantener 4 psi de presión de aceite sobre la presión existente del gas en el generador, el aceite ya regulado pasa por el rotámetro (medidor de flujo) (V) el cual nos indica la cantidad de aceite que esta fluyendo hacia los sellos que es de el orden de 4 gpm. y va hacia la parte superior de ambos sellos (VI), luego de que el aceite ya hizo su trabajo de sellar cae hacia los colectores de aceite de sellos (VII) uno por lado, estos su objetivo es separar el aceite del gas y las impurezas que pueda existir, ambos están comunicados y sale una línea de aceite que va hacia el flotador (VIII) que es el encargado de mantener el sello de los colectores, dicho flotador tiene un indicador visual que su punto de trabajo es el centro esto garantiza que se mantenga una columna de aceite en el sifón y así evita que pase hidrogeno al colector de aceite de las chumaceras de el generador (IX); este tiene indicador visual de vidrio y la tubería con sifón que conecta hacia (X) que es el drenaje hacia el tanque principal de aceite.

Debe de observarse varias cosas: de los colectores de aceite de las sellos (VII) se tienen líneas de venteo a la atmósfera, estas se controlan desde el panel de el generador y se ventea aquí porque un lado de el sello esta en aire y otro en gas y por ello existe la posibilidad de contaminación. Si por alguna causa existe un sobreflujo de aceite u otra situación que tienda a subir el nivel en los colectores o a ingresar al generador se cuentan con dos alarmas de nivel alto (XIII) una en el colector y otra en el generador que nos detecta la presencia de líquidos. En el colector de aceite de las chumaceras existe una mezcla de vapores, gas y aire el cual es succionado y expulsado a la atmósfera por medio de el extractor (XIV) y de esta manera el aceite retorna al tanque de aceite con la menor cantidad de aire o gas, en el tanque de aceite tambien se cuenta con otro extractor para asegurar el desalojo de gases.

4.6 Agua de circulación para enfriamientos

Es otra sistema auxiliar del turbogenerador, su función primordial es extraer calor que no es deseable en este y mantenerlo a su temperatura de operación; el agua da enfriamiento a varias partes:

- a) Enfriadores de hidrógeno o aire.
- b) Enfriadores de aceite
- c) condensador de vapor
- d) bombas y otros que requieran de enfriamiento.

Por la fuente de agua se puede dar enfriamiento de dos formas: con agua de río o lago limpia la cual solo pasa extrayendo el calor y sigue su curso en circuito abierto. Pero cuando no se dispone de la suficiente cantidad de agua se puede usar una torre de enfriamiento. Para este caso se necesita de un sistema de bombeo que es el que da la presión al agua para llegar hasta todas las partes del turbogenerador donde se requiera de dar enfriamiento en todos los intercambiadores y luego esta agua mas caliente se descarga en la parte superior de la torre de enfriamiento y por medio de boquillas se aspersa sobre el relleno que puede ser de madera o de láminas de pvc por las cuales baja el agua y sube aire que lleva consigo el calor cedido por el agua al aire por el contacto y por evaporación que es inducido por los ventiladores colocados en el techo , llevando consigo el calor que transporta el agua y cae al bacín de la torre a temperatura mas baja de donde la succionan las bombas y nuevamente se empieza un nuevo ciclo. Debe observarse que hay una cantidad de agua que se evapora y otra cantidad que es necesario purgar continuamente para no concentrar con minerales que pueden incrustarse en los intercambiadores y reducir su transferencia , por ello es necesario hacer una reposición de agua que es en el orden de 3% de el flujo total.

4.7 Automatización y control

4.7.1 Sistemas de control y protección de turbogeneradores

Las turbogeneradores de vapor requieren de varios sistemas y componentes para proporcionar capacidad de control y protección . Estos pueden dividirse en dos categorías:

- 1) sistemas primarios de control
- 2) sistemas secundarios de control y/o protección

Los sistemas primarios de control pueden dividirse en :

- 1) Válvulas de control y mecanismos de operación relacionados
- 2) control de velocidad/carga
- 3) control de presión

4.7.1.1 Mecanismos de las válvulas de control

La mayoría de los conjuntos modernos de turbogeneradores utilizan diseños de válvulas de control de la admisión del vapor que son tan eficientes como prácticos, en términos de caída de presión y pérdidas por estrangulamiento. Entre dichas válvulas se tienen por ejemplo las venturi de esfera, las cuales se emplean en las etapas de entrada de las unidades modernas de alta presión . La utilización de válvulas múltiples , con la configuración eficiente del asiento venturi y de válvulas de esfera de asiento hermético, permite la admisión a la turbina por boquillas en arco parcial con buena eficiencia a carga parcial y una acción de apertura en secuencia que produce curvas de flujo casi lineal. Estas válvulas pueden abrirse por dos medios básicos:

a) Elevación por barra , con las válvulas secuenciadas por las longitudes de los bastagos o accionadas por leva mediante palanca o rodillos, para hacer mas lineales las características que inherentemente son de flujo no lineal de las válvulas venturi de esfera.

b) Válvula de carrete de doble asiento es otro mecanismo de válvula de uso muy común , en particular en las aplicaciones de baja presión y alto gasto volumétrico. Esta válvula no es muy eficiente pero deja pasar un gasto volumétrico elevado y puede programarse para abrir en forma similar a una válvula venturi de esfera.

4.7.1.2 Sistemas de control relacionados (Gobernación)

Después de hacer una selección entre los tipos de válvulas disponibles para la admisión de vapor a la turbina, debe proveerse un medio para dar posición a estas válvulas y obtener el control básico de velocidad constante a distintas cargas. El requisito primario es mantener una velocidad de rotación precisa predeterminada, en vista de que todas las turbinas están diseñadas para funcionar a una velocidad específica o en un intervalo específico de velocidades. Cada turbina tiene, por tanto , algún tipo de gobernador de la velocidad o, lo que es mas general , un " sistema de control de velocidad/carga " . Su finalidad es mantener una cierta relación entre la velocidad real de la turbina y algún valor de referencia , en un amplio rango de pares de torsión de la carga .

Las turbinas que se emplean en generación de energía funcionan, generalmente, a una velocidad nominal específica. Casi en todo el hemisferio occidental , la frecuencia de operación normalizada para los grupos de generación es de 60 hz. Las unidades de esta clase que tienen un generador de dos polos tienen que funcionar por lo tanto a 60 r/s o sea 3600 rpm.

En la figura 11 puede observarse un diagrama de bloques generalizado para un sistema de control de velocidad/carga . El equipo para este sistema puede ser de distintas formas: mecánico , eléctrico, hidráulica , neumático, o de combinaciones de estos elementos. En cada caso se toma una señal de velocidad de la flecha de la turbina, se convierte a una forma utilizable y se compara con una referencia de velocidad /carga que puede ser ajustada de manera manual o automática. La señal de error resultante o de comando se amplifica, por lo general y luego se aplica para mover el mecanismo de la válvula de control a la posición deseada. Obsérvese que la respuesta de frecuencia del sistema aislado la determinan las constantes de tiempo de los distintos elementos y mas notablemente la inercia del rotor y los retardos de los componentes de control.

4.7.1.3 Sistemas de control de presión

Una área importante de tecnología de control de turbinas de vapor es la del control de procesos. En las plantas industriales de energía en particular, resulta económico generar y controlar varios flujos de proceso, utilizando vapor de agua de las turbinas disponibles. Como en el caso del control velocidad/carga, cuando va a controlarse un proceso, se establece una relación definida o regulación entre el flujo que se ha de suministrar la turbina y la presión. El control de aplicación más común es el de la extracción o flujo de descarga de una turbina, el cual tiene que controlarse con exactitud en cuanto a la presión para usarse en un proceso industrial.

La figura 12 representa en forma esquemática un sistema de control mecánico hidráulica, aplicado en una turbina simple de extracción automática con condensación. La unidad está formada en realidad por dos turbinas, una sección de alta presión y una de baja presión (alimentadas cada una por un mecanismo de válvula separado), montadas en una sola flecha. Se utiliza un gobernador de velocidad de bolas para mover los dos grupos de válvulas que controlan la velocidad de carga y un gobernador de presión del tipo de fuelle para detectar las presiones del proceso y mover las válvulas en direcciones contrarias para controlar el flujo o gasto y la presión del proceso. El sistema está diseñado, por lo general, para que pueda satisfacerse las variaciones de carga y de flujo de proceso al mismo tiempo, con un mínimo de interacción entre las dos variables.

4.7.2 Sistemas de control secundarios o de protección

Además de las válvulas de control y componentes relacionados que se han descrito, existen muchos componentes y sistemas que se instalan para proteger a las turbinas contra problemas tales como sobrevelocidad, fallas eléctricas, lubricación inadecuada, vacío, etc. Principalmente estos dispositivos sirven de respaldo contra algunos problemas en situaciones en las que se supone que los elementos básicos de control sean la línea primaria de defensa. En la mayoría de los casos, la acción protectora consiste en disparar la unidad para sacarla de operación y se cierran todas las válvulas que regulan la admisión de vapor a las válvulas de control de la turbina y a la trayectoria del vapor. En otros casos la acción protectora se define en alarmas para el operador del turbogenerador; dicha alarma puede ser una indicación visual o una indicación en un sistema de adquisición de datos.

Antes de conocer los diferentes tipos de disparo que podemos tener en los turbogeneradores es importante conocer lo siguiente

4.7.2.1 Métodos de disparo

Hay diferentes formas de disparar un turbogenerador y por lo tanto desconectarlo del sistema. Algunos factores que deben ser considerados al determinar que tipo de disparo se requiere son los siguientes

- a) severidad de la falla del generador
- b) probabilidad de falla spreading
- c) cantidad de sobrevelocidad resultante
- d) importancia de remover la excitación
- e) necesidad de mantener la potencia auxiliar
- f) necesidad de disparar la unidad
- g) tiempo requerido para sincronizar la unidad
- h) efecto en el sistema de potencia.

En reconocimiento a los factores anteriores , el fabricante de la maquina recomendará una acción que asegure protección al generador.

4.7.2.3 Acciones de protección para fallas de generadores

1. Disparo simultáneo. Dispara la turbina cerrando la válvula, abre los breakers de línea del generador y remueve simultáneamente la excitación. Un disparo simultáneo es aceptable para toda falla de un generador y generalmente provee un alto grado de protección para turbina-generador y solo permite pequeñas sobrevelocidades y por lo tanto baja probabilidad de sobrevelocidad
2. Disparo de generador . Abre los breakers de línea del generador y remueve la excitación simultáneamente, pero saca la turbina a velocidades cercanas a la de diseño. Donde manteniendo dicha velocidad no es dañino, proveyendo un alto grado de protección para el generador como un disparo simultáneo (disparo 1). Si la planta puede seguir operando seguido de un rechazo de carga y si la causa del disparo puede ser identificada y corregida rápidamente es posible resincronizar en un tiempo mas corto que en un disparo 1. La ventaja de este tipo es que no disparamos la turbina.
3. Disparo de breaker. Dispara todos los breakers de línea del generador pero no la excitación ni la turbina. Este disparo tiene una ventaja similar al disparo del generador cuando la falla permite a la excitación mantenerse aplicada , ésta es una ventaja sobre el disparo tipo 2 , esta provee potencia auxiliar en casos donde esta no puede ser swichada a otro bus. Si esto no es una ventaja los tipos 1 y 2 deben ser utilizados.
4. Disparo secuencial . Este dispara primero la válvula interna de la turbina e indica que la válvula esta cerrada por medio algún switch de limite, opera el relay de potencia inversa, normalmente después de tres segundos de retardo, el breaker de línea del generador es disparado.

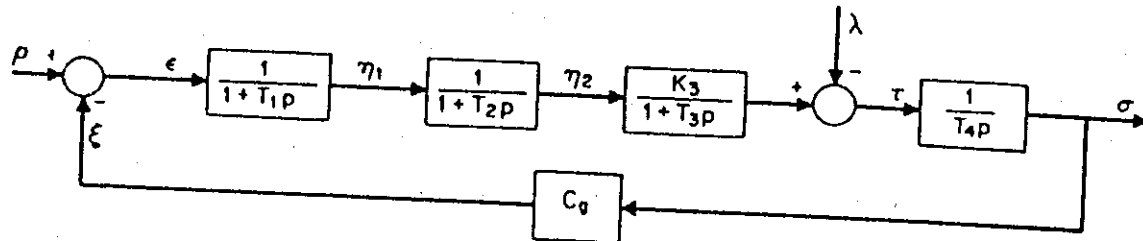
5. Disparo Manual. La turbina es disparada manualmente cuando el generador posee potencia inversa. El relay de potencia inversa dispara los breakers de línea del generador. El breaker dispara la excitación.
6. Baja de carga manual y disparo. Manualmente decrementa la salida de la turbina a un bajo nivel o a cero , seguido de un disparo secuencial de turbina . Este es el disparo normal que se prefiere en una baja de carga.
7. Baja de carga automática. Reducir la carga vía turbina y predefinir un valor de carga a bajar con respecto a la carga presente. Esto es recomendado solo en casos de perdida de enfriamiento de estator si se requiere . Esta es una alternativa a disparar la unidad permitiendo continuar en línea con baja carga.
8. Baja de carga manual. Manualmente, reduce carga a una tasa y nivel que el operador determine. Este es usado en algunas fallas en los cuales la carga puede ser muy sensible, tales como un sobrecalentamiento local y donde no se necesita un disparo inmediato. Esto permite al generador continuar supliendo potencia reactiva al sistema.

A continuación observaremos una tabla de algunas posibles protecciones del conjunto turbina generador:

FALLA	DISPOSITIVO DE DETECCCIÓN	DISPARO UTILIZADO
Sobrecorriente del estator	Operador	tipo 8
Estator a tierra	Relay de voltaje a través de un resistor de tierra	tipo 1
Falla de fase a fase del estator	Relays diferenciales	tipo 1
Sobre voltaje	Operador	
Sobre excitación del campo	Relay de campo a tierra	tipo 4, tipo 6 o tipo 1
pérdida de excitación	Relay de perdida de excitación	tipo 1 o tipo 2
Corrientes de armadura desbalanceadas	Circuito de detección de corrientes de secuencia negativa	tipo 3, tipo 2 o tipo 1
Pérdida de sincronismo	Relay de perdida de sincronismo	tipo 3

Entre las alarmas que podemos tener en un turbogenerador están las siguientes

SEÑAL	DISPOSITIVO	RANGO
TEMPERATURAS DE MAQUINA		
Entrada de aire excitador/colector	RTD o TC	-30 a 70 °C
Salida de aire excitador/colector	RTD o TC	-20 a 80 °C
Bobinas del estator	RTD	0 - 100 °C para H2O
OTRAS ALARMAS		0 - 150 °C para h2 y aire
Vibración de cojinetes	detector de vibración	
Temperatura alta de cojinete		
Sobrevoltaje del generador	Relay	
Corriente de secuencia negativa	Relay	
SISTEMA DE SELLO DE ACEITE.		
Presión diferencial del sello de aceite baja .	Switch diferencial de presión	3 psi
Detector de liquido en el drenaje	detector de nivel de liquidos	
Bomba de emergencia funcionando.	Relay	
sobrecarga del motor de la bomba principal	termostato	
sobrecarga del motor de la bomba de emergencia.	Termostato	
SISTEMAS CON HIDROGENO		
Temperatura de gas alta en la parte caliente del enfriador	RTD o TC	0 - 100 °C
Temperatura de gas alta/baja en parte fria del enfriador	RTD o TC	0 - 70 °C
Temperatura alta de gas en la maquina	Relay de temperatura	0 - 100 °C
Presión del gas en la maquina alta/baja	switch de presión	
Pureza alta o baja del gas	Relay o transmisor	%50 - 100
Detector de liquido en el generador	detector de liquido .	



- C_g - cte. normalizada del gobernador de vel.
- K_3 - ganancia de los valores en el punto de carga
- p - operador diferencial $d()/dt, s^{-1}$
- T_1 - constante de tiempo del relevador de vel., s
- T_2 - constante de tiempo del servomotor, s
- T_3 - constante de tiempo de la de vapor, s
- T_4 - tiempo característico de la turbina, s
- ϵ - señal de error de velocidad

- λ - cambio relativo de carga
- η_1 - cambio rel. de posición de relevador de vel.
- η_2 - cambio rel. de posición del servomotor
- ρ - cambio rel. de la posición de referencia
- τ - cambio rel. de par en la flecha de la turbina
- σ - cambio rel. de velocidad
- ξ - cambio rel. de la carrera del gobernador de vel.

NOTA: Todos los parámetros son relativos a un cambio que corresponde a un cambio de velocidad del 5%.
 Todos los parámetros son adimensionales excepto que se indique lo contrario.

FIGURA 8.
DIAGRAMA DE BLOQUES PARA SISTEMA DE CONTROL

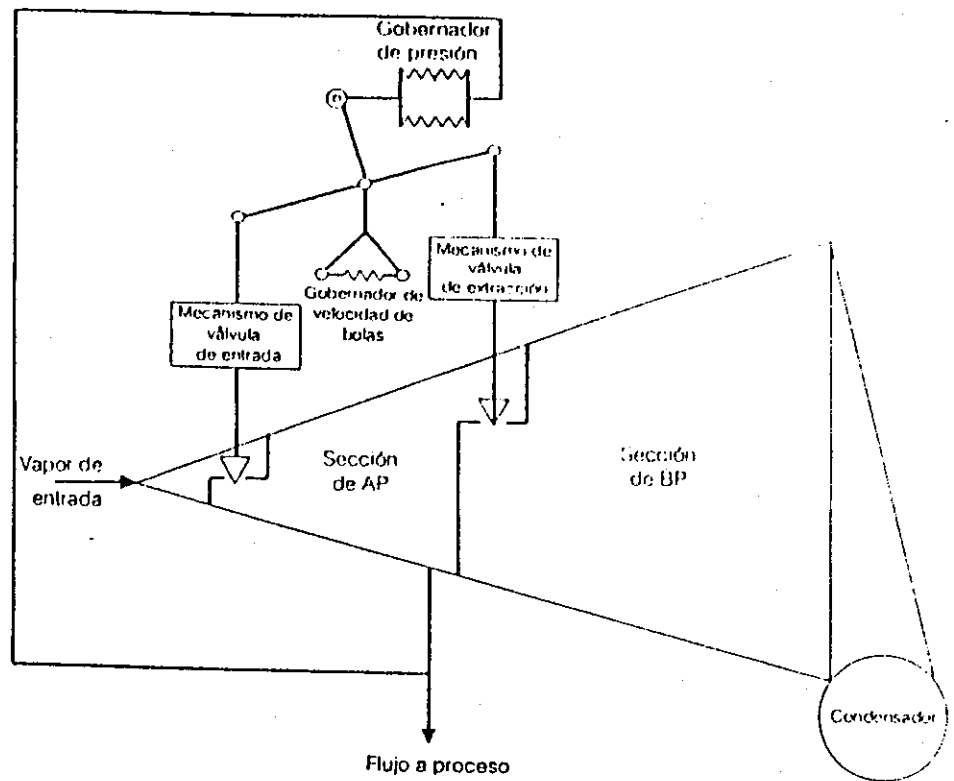


FIGURA 9.
SISTEMA DE CONTROL MECÁNICO HIDRÁULICA PARA GOBERNADOR

Identificación de l íneas de tuberías

GTC-2	Tubos de temperatura y presión
CCC	CO ₂ puro y alimentación a calibración de hecilla
CCO	CO ₂ puro y alimentación al generador
GCS	Alimentación del manifold de H ₂ hasta la calibración
GFP	Desarga del ventilador del generador
GFS	Succión del ventilador del generador
GHD	Desage de fondo de cámara del generador
GHP	Alimentación de hidrógeno desde el manifold
GLD	Desage de la cámara del ventilador, lado succion
GSG	Depuración y vapor de gas del generador, lado de gabinete de H ₂
GSC	Depuración y vapor de gas de solen del ventilador
HSA	Alarma de nivel alto de colectar de sellas
GSS	Línea de muestreo al analizador
GST	Depuración y vapor de gas de solen de (manejador al final de la Tu

Descripción de Aparatos

A-1	Bloque de solda analizadora de H ₂ del gabinete
B-1	Filtro de purga del colector de sellas, final de la tubería
B-2	Filtro de purga del colector de sellas, final de colectar
B-3	Filtro de línea de alimentación al analizador
C	Manómetro de presión diferencial del ventilador
E-3	Escala en analizador portátil
F-1	Flujómetro de purga en el gabinete de H ₂
F-2	Flujómetro de gas de la máquina
F-3	Indicador de flujo
G-1	Manómetro de alta presión del gabinete de 0 a 400 psf
G-2	Manómetro de baja presión del gabinete de 0 a 600 mg de agua
G-3	Manómetro de presión del manifold de CO ₂ de 0 a 21000 psi
G-4	Manómetro de presión del manifold de H ₂ de 0 a 60 psf
L-1	Indicador de líquido
L-2	Indicador de líquido
R-1	Regulador de baja presión del manifold de H ₂
R-2	Regulador de alta presión del manifold de H ₂
R-3	Regulador de presión de hecilla a manifold de H ₂
R-4	Regulador de presión de CO ₂ a la alimentación de la calibración
G-5	Manómetro de presión del manifold de H ₂ de 0 a 100 psf

Dispositivos Eléctricos

26-1	Interruptor de alarma de alta temperatura en la máquina
63-1	Interruptor de alta presión de H ₂ en la máquina
63-2	Interruptor de baja presión de H ₂ en la máquina
63-5	Interruptor de presión de hecilla de H ₂
63-9	Disco de agua
63-13	Alarma de nivel alto del colector de sellas
	Regulador de presión

del Aberto en Cerrado en el "Estacionamiento" Cheque

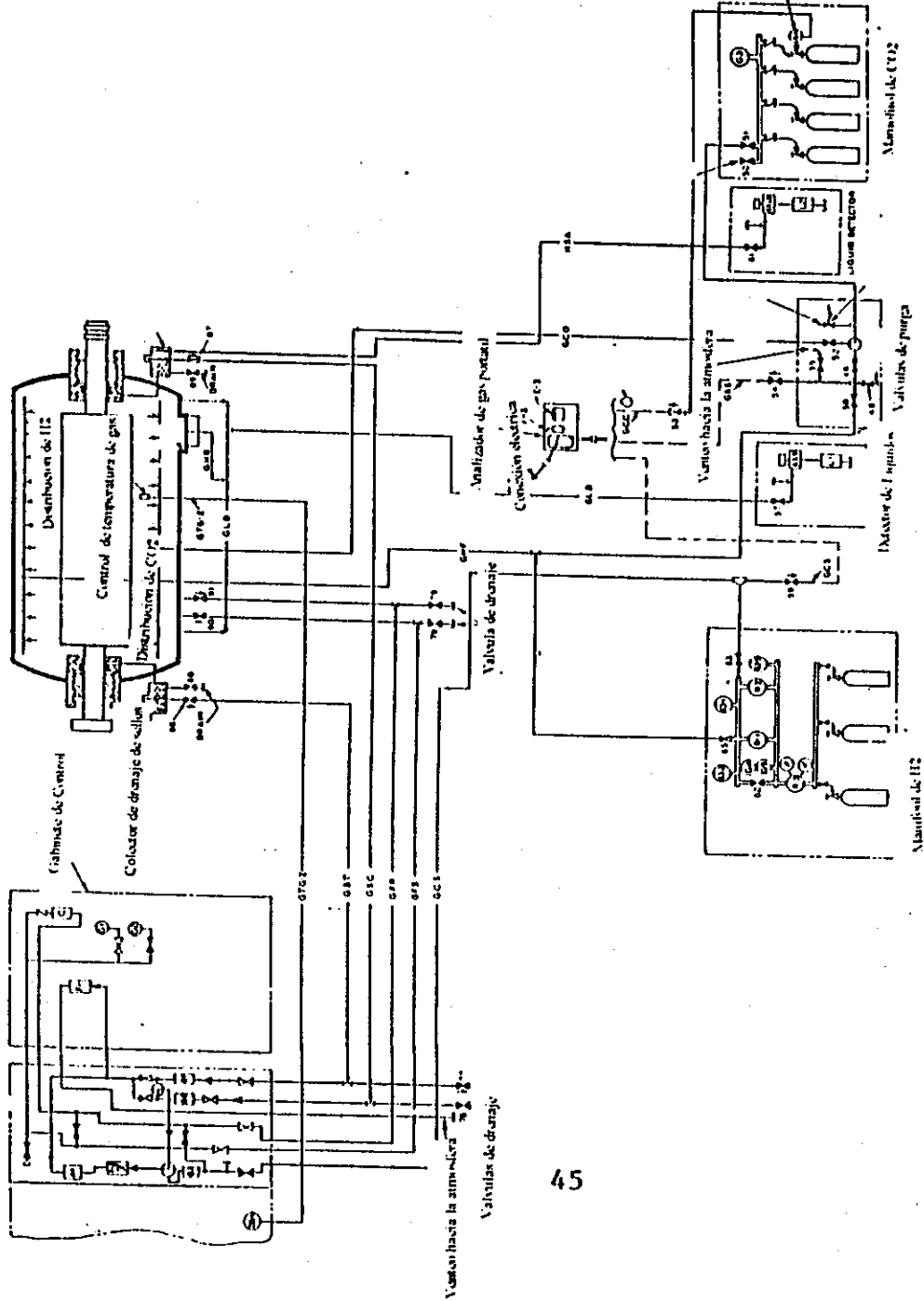


FIGURA 10. SISTEMA DE CONTROL DE GAS HIDRÓGENO PARA EL GENERADOR

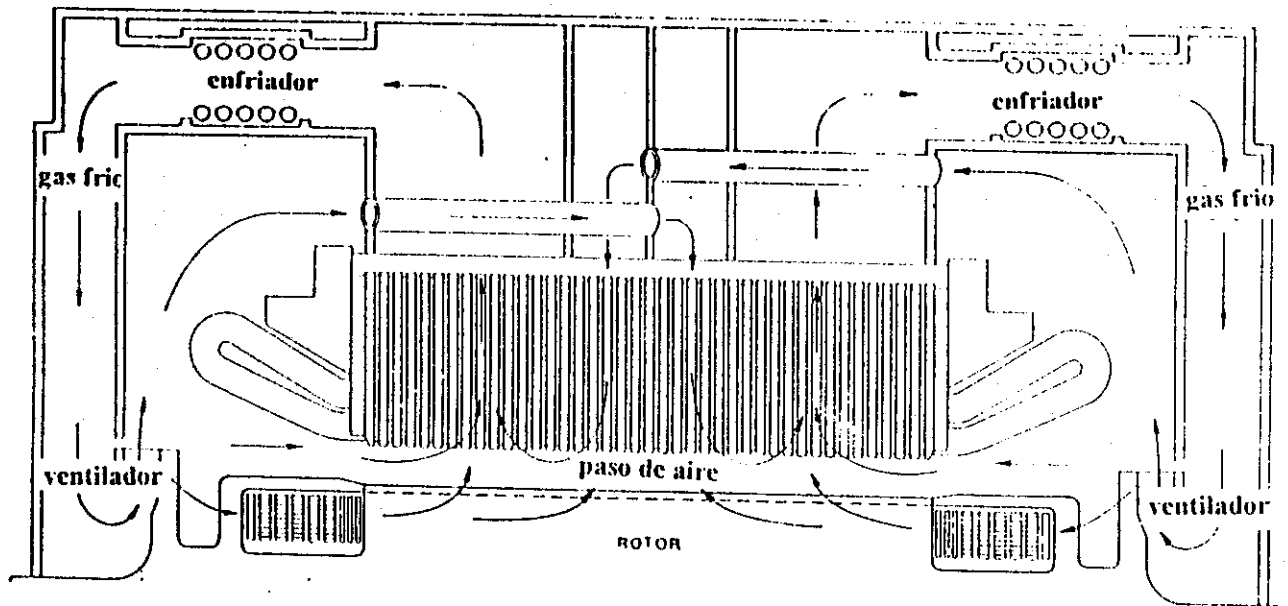


FIGURA 11.
CIRCULACIÓN Y ENFRIAMIENTO DE HIDRÓGENO, EN EL GENERADOR

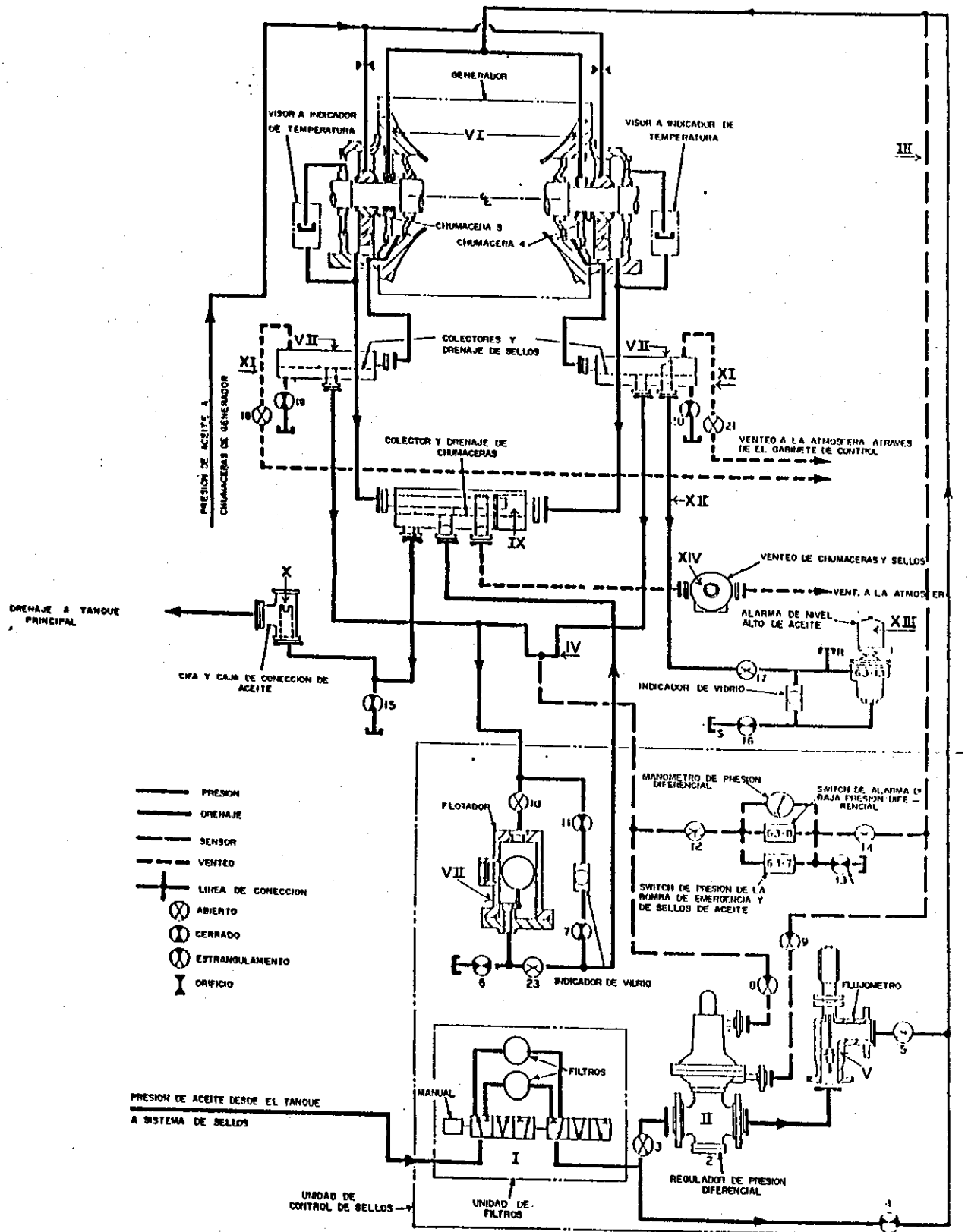


FIGURA 12.
FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE SELLOS DE ACEITE PARA EL GENERADOR

5. PROCEDIMIENTOS DE ARRANQUE DE LA MÁQUINA

5.1 Flusheo de aceite

Se entiende como una circulación de aceite a través de la tubería y conductos por donde circula el aceite con el propósito de limpiar la suciedad y partículas que en el montaje se formaron o ingresaron en la tubería ; y que durante la operación del turbogenerador puedan tapar conductos del sistema de gobernación o la alimentación a las chumaceras y cojinetes, como consecuencia causando un problema de pérdida de control de la velocidad de la turbina o daño en las chumaceras o cojinetes al quedarse sin aceite.

El flusheo de aceite deberá hacerse por un periodo no menor de ocho días hasta observarse que no se tiene suciedad en el aceite. El flusheo se realiza de la siguiente forma:

- a) Es necesario a la entrada de cada chumacera colocar un filtro (con malla mesh 100) para evitar que entre suciedad a las mismas y se recomienda limpiarlo diariamente. Es necesario retirar las chumaceras una por una y dejarle circulando aceite por dos días para tener una mejor limpieza y un mayor flujo en cada una de las chumaceras.
- b) Golpear la tubería dándole énfasis en donde se realizaron trabajos de soldadura, para que bote oxido, escoria y suciedad adherida.
- c) Se debe dar un shock térmico usando el enfriador de aceite; es decir dejar que se caliente el aceite y enfriarlo, esto ayudara a que la tubería suelte las impurezas.

5.2 Limpieza de la tubería principal de vapor

Un vapor limpio libre de partículas extrañas , debe ser provisto a la entrada de una turbina.

La experiencia ha demostrado la extrema importancia del soplado de la tubería principal y de admisión, antes de que la turbina de vapor sea puesta en operación. El soplado reduce grandemente el potencial de daño a la turbina por partículas de soldadura y por escoria . A menos que estas partículas sean expulsadas de las líneas de vapor antes del arranque de la turbina, ellas son transportadas por el vapor a través de las líneas de vapor hacia la turbina. El efecto de impacto de municiones de estas partículas extrañas pueden causar desgaste de las líneas de vapor de la turbina la cual operara por un corto periodo de tiempo de 15 ó 20 años.

Algunas turbinas de vapor son equipadas con una pantalla de malla como especie de filtro sobre las válvulas de parada principales antes de arrancar la turbina se coloca sobre este filtro una malla fina de mesh 100 también de acero inoxidable esta pantalla no debe ser considerada como un sustituto del soplado de las líneas de vapor, esta ayuda a atrapar material extraño durante la operación inicial de la unidad. Esto es solo una precaución temporal extra y debe ser removida después de la puesta en marcha de la turbina debido a que la fina pantalla no está diseñada para mantenerse en servicio continuo sin un riesgo de falla por fatiga en el alambre de la malla, y por la caída de presión en esta resulta en una reducción en la eficiencia de la turbina, debiendo de quitarla después de 120 horas de operación a plena carga; esto atrapa las partículas que no salieron en el soplado.

El método más satisfactorio de limpieza de la tubería de vapor es por medio de calentar y enfriar en un ciclo de soplado. La presión se genera en la caldera y es enviada a las líneas de vapor. Las líneas se enfrían mientras la presión se eleva de nuevo. El ciclo calentamiento-enfriamiento hace que la tubería se dilate y contraiga esto es repetitivo hasta que las líneas se observen limpias. El soplado se hace con una válvula de mariposa o de otro tipo tratando de dar abertura total en 5 segundos ; limitándonos a la operación de limpieza a un número específico de ciclos de soplado o hasta que las líneas aparezcan limpias esto se observa por los impactos en el testigo cambiándolos a cada dos sopladas. Se ha encontrado que una efectiva limpieza puede ser después de hasta 50 sopladas.

Un método que se utilizaba era el limpiar las líneas de vapor durante el ensamble de estas con aire comprimido, pero esto es inefectivo ya que las partículas que causan daño están adheridas a las paredes de la tubería y estas se desprenden cuando existe presión total en dichas líneas y así causan daño a la turbina.

Limpieza química (acid wash) ha venido haciéndose popular en los últimos años. Este es aparentemente un medio efectivo de remover cierto material extraño de la caldera y de la tubería ; no se pueden comparar los métodos de limpieza química y soplado de tubería, ya que ambos son útiles, en ausencia de datos comparativos es útil y ventajoso utilizar ambos métodos.

5.3 Rotación de la máquina, arranque y carga de turbinas

La vida de un turbogenerador depende de los procedimientos usados en el arranque, toma de carga y parada de la unidad. Procedimientos correctos significan operación libre de fallas y son especialmente importantes cuando la unidad está sujeta a frecuentes arranques y ciclos de carga.

A menudo, una turbina aparentemente arranca sin dificultad aun cuando un procedimiento incorrecto se sigue y ninguna falla se hará evidente durante el periodo inicial de servicio. No obstante en una inspección posterior se pueden hallar daños

incluyendo rozamiento en sellos , distorsión de la estructura, y ruptura de partes de la turbina. Mucho daño puede ser evitado utilizando técnicas de operación aprobadas incluyendo el control de temperatura de vapor y metal.

5.3.1 Limitaciones de arranque

Los factores que gobiernan el arranque de muchas turbinas incluyen:

1. Esfuerzo térmico.
2. Vibración.
3. Expansión diferencial del rotor y la carcasa .

Estas condiciones pueden ser producidas por someter al metal de la turbina a excesivos cambios de temperatura. Dependiendo del diseño de la turbina y configuración una de las condiciones anteriores puede ocurrir antes que las otras, aunque todas ellas pueden presentarse en un grado significativo.

5.3.1.1 Esfuerzo térmico

Excesivo y repetitivo esfuerzo térmico puede agrietar el metal de la turbina. La ruptura es una función del numero total de ciclos de temperatura y el tamaño de la deformación plástico por ciclo; esto es, la ruptura puede ocurrir después de solo algunos ciclos de esfuerzo térmico severo o después de un gran numero de esfuerzos térmicos menos severos .

5.3.1.2 Vibración

Durante el período de rotación, particularmente en turbinas nuevas con sellos muy ajustados, un roce ligero se puede producir a pesar de tener buenos procedimientos y condiciones térmicas ideales . Tales roces es probable que ocurran durante operaciones cercanas a velocidades criticas cuando la deflexión en el centro del eje es máxima.

Se sabe que el roce existe debido a un incremento de la vibracion-ruido, mientras se opera por debajo o muy cerca de las velocidades criticas. Si esto sucede la turbina debe desactivarse inmediatamente cortando el suministro de vapor y ponerla a girar con el dispositivo de rotación eléctrica (turning gear) durante una o dos horas .

A velocidad arriba de la critica el desbalance provocado por el arqueo tiende a disminuir el arco y consecuentemente a aliviar el roce.

Así como la velocidad del rotor se aumenta la deflexión del punto alto se mueve un ángulo de 180 grados . Por debajo de la velocidad critica el punto alto queda en línea con el desbalance y por encima de la velocidad critica los dos quedan exactamente fuera de fase. Durante esta transición que puede cubrir un rango de velocidad de mas de 1000 r.p.m. el punto caliente del rotor causado por la fricción de los sellos podría también moverse aproximadamente 180 grados, modificándose parcialmente por si mismo. Por esta razón

roces a velocidades por arriba de la velocidad crítica no son tan molestos como a bajas velocidades; como regla general acelere rápidamente a velocidades críticas.

5.3.1.3 Expansión diferencial entre el rotor y la carcaza (distorsión térmica)

Se puede producir una gran expansión diferencial entre el rotor y la carcaza o diafragmas, que puede causar roces interiores. La distorsión térmica de los componentes mayores de la turbina pueden causar fugas en los flanches, desalineamiento, alabeo permanente de partes y puede también afectar el balance de la unidad.

En general expansión diferencial o distorsión térmica no causan dificultades si un adecuado control de esfuerzos térmicos se mantiene. La vibración del eje puede mantenerse baja con una correcta temperatura del metal en la carcaza y el rotor durante el arranque.

5.3.2 Controlando la temperatura de la carcaza en el arranque

Algo muy importante durante el arranque y la toma de carga es el gradual y uniforme calentamiento de las partes de la turbina cerca de la entrada principal de vapor; entre ellas: las CHEST VALVES, pasaje de las toberas de las primeras etapas, la carcaza cerca de ellas y válvula principal de vapor. El control de la temperatura de la turbina es necesario para prevenir las excesivas diferencias de temperatura entre las partes de la turbina fijas y móviles. En general la diferencia de temperatura a través del metal no deberá excederse de 150° F; este límite se ha establecido para prevenir esfuerzos que excedan el límite elástico en una pieza totalmente restringida del material de la carcaza. Este límite de diferencia de temperatura debe controlarse a través de las diferentes secciones del metal en la turbina y aplicarse tanto en la operación normal como en el arranque. Para algunas unidades en servicio, diferencias mayores de 150 F pueden ocurrir en operación normal, dado que para esto se ha previsto suficiente flexibilidad en la estructura para prevenir esfuerzos excesivos. El mejor camino para limitar las diferencias de temperatura en el metal de la carcaza es igualar la temperatura del vapor a la temperatura del metal que puede ser medida con las termocoplas de la carcaza. Donde esto no es posible debe darse tiempo al bajo flujo de vapor e incrementándolo a medida que la temperatura de vapor y de la carcaza se iguala.

En una unidad equipada para arrancar con un by pass de la válvula de parada esta debe de usarse, dado que ella controla las diferenciales de temperatura de la otra porción de la turbina; es decir estrangulando por medio de la válvula de by pass se reduce la temperatura del vapor y dado que todas las válvulas de control están abiertas, los tazonos están expuestos a temperatura uniforme del vapor es por ello que debe usarse esta válvula para arranque y sincronización.

5.3.3 Arranques rápidos

Los arranques rápidos no son necesariamente indeseables; por el contrario para ciertas condiciones tales como un arranque con la turbina caliente poco después de un disparo, puede ser preferible a arrancar rápido. De nuevo el criterio más significativo es controlar los esfuerzos térmicos para prevenir grandes diferencias de temperatura a través de la carcasa .

5.3.4 Arranque de la turbina y procedimiento de operación

recomendados

Los tiempos y secuencias de arranques recomendados aquí fueron ideados para características de condiciones promedio y deben ser usados cuando las características del vapor y condiciones del sistema son normales.

Cuando arranque ponga atención para escuchar roces en la turbina a baja velocidad ; observe cuidadosamente los instrumentos de monitoreo de vibración, presión de aceite, temperatura, presión en los sellos de vapor, temperatura del vapor principal, temperatura de escape, temperatura de hidrogeno y enfriadores de aceite.

Antes de arrancar la turbina, chequee presión de aceite, presión en el agua de enfriamiento, debe girarse la unidad con el sistema eléctrico de rotación (turning gear), durante el tiempo especificado y revise la excentricidad del eje hasta estar seguro de que no esta deflectado. Los instrumentos de monitoreo cuando hay deben ser observados continuamente.

5.3.5 Operación con el sistema de volteo (turning gear)

Opere el sistema eléctrico de volteo por lo menos dos horas antes de arrancar la turbina en un arranque en frío para enderezar el rotor. Si la turbina ha sido sacada de servicio por un corto periodo de tiempo se supone que el sistema eléctrico de volteo ya estaba en operación.

Si la turbina no tiene incorporado el sistema eléctrico de volteo en su instalación, gire la turbina a baja velocidad con vapor, por medio del bypass de la válvula general de vapor por lo menos 20 minutos antes de subir la velocidad.

Por medio de la válvula general de la caldera haga llegar el vapor hasta la válvula de parada, para calentar la línea de entrada y permitir que esta expansione hasta donde sea necesario; mientras la turbina esta girando con el dispositivo de volteo habrá todos los drenajes de la línea de vapor ; purgue los drenajes de la válvula y todos los drenajes del lado de la turbina para remover el agua de su interior .

Para arrancar la turbina haga lo siguiente:

- a) Con las válvulas de control cerradas y por lo menos 15" de mercurio de vacío en el condensador, estrangule la purga inferior de la válvula de parada dejándola hasta un 20 % abierta, habrá la válvula de parada para calentar el steam chest (caja de válvulas). Recuerde que el sistema eléctrico de volteo debe estar en funcionamiento. Controle la temperatura de las partes de la turbina, evite variaciones de temperatura de 520 °F por hora, recuerde que debe de igualarse la temperatura del vapor y el metal tan cerca como sea posible para tener los mínimos esfuerzos térmicos en el metal. Normalmente la temperatura del vapor principal debe de ser aproximadamente 100° F mas alta que la temperatura mas alta del metal. Cierre el drenaje inferior del asiento de la válvula de parada, pero deje el drenaje de arriba del asiento y drenajes de la caja abiertas hasta que aproximadamente el 10 % de la carga es aplicada a la maquina.
- b) Aumente la velocidad a 350 RPM y escuche si hay fricción en los sellos y revise el flujo de aceite en los visores de flujo para estar seguro de que el aceite esta fluyendo a traves de las chumaceras. Si ocurre fricción o roze, vuelva a la operación con el sistema de volteo por dos horas o hasta que el roze se halla eliminado.
- c) Mantenga la turbina girando abajo de 500 r.p.m. y si todo esta normal haga que la turbina levante velocidad a 120 r.p.m. cada minuto para arranques en frío y para arranques en caliente a 300 r.p.m. cada minuto y acelere cuando pase por la velocidad critica de una manera suave pero lo mas rápido posible manteniendo la temperatura de escape por debajo de 175° F. Esta puede excederse de la temperatura anterior si la excentricidad del rotor permanece normal y la vibración no excede de 3 mils, arriba de la velocidad critica. Tenga mucho cuidado con levantar demasiado la temperatura en la campana de escape para evitar cambios térmicos bruscos.
- d) Aumente la velocidad de la turbina hasta la velocidad de operación y sincronice.
- e) Aplique carga lentamente y ajuste como se requiera para prevenir que la temperatura de escape decrezca rápidamente y con el 10 % de carga cierre el drenaje de la válvula de parada y las purgas de la carcasa de la turbina.
- f) Aumente carga de 1000 KW por minuto observando siempre la presión y temperatura entrando a la turbina que estén en el limite de diseño de la turbina.

5.3.6 Operación de emergencia

Existen algunas situaciones que pueden tomarse como emergencias . algunas son:

- a) Si existe en la caldera una falla de alimentación de agua , el nivel bajo puede dañar la caldera y un nivel alto puede dar un arrastre de agua hacia la turbina siendo esto lo mas peligroso. En este caso se debe disparar la turbina desde la válvula de parada sin importar la carga de la maquina.
- b) Si ocurre un disparo de quemadores se debe bajar la carga a la turbina tan rápido como sea posible dado que la temperatura de el vapor se baja y se debe de disparar la turbina cuando la temperatura llegue a 100 oF sobre la temperatura de saturación del vapor; si esto no se hace podrá ingresar agua adentro de la turbina causando una distorsión en la carcaza , daños en los cojinetes y daños internos a la turbina.
- c) Si la temperatura del vapor se sube mas de lo permitido por el diseño de la maquina esto puede causar danos en la turbina, aflojar las ruedas, la tornilleria de la carcaza , roce de los sellos por expansión debido a la temperatura y en general falla de accesorios y válvulas por temperatura.

Girando una unidad a plena velocidad , un disparo seguido de cero carga (rechazo de carga) puede causar severos esfuerzos térmicos especialmente si la temperatura del vapor principal cae bruscamente enfriando la carcaza caliente. En una emergencia preferiblemente hay que recargar la unidad rápidamente después del disparo, monitoreando que la temperatura del vapor sea normal cerca de la válvula. Si la sincronización no puede realizarse en pocos minutos parar la unidad y proceda a hacer un arranque caliente cuando la carga pueda ser aplicada.

La carga puede ser aumentada rápidamente durante una emergencia si la temperatura de estrangulamiento permanece constante o por lo menos entre 50° F de la temperatura de placa.

5.3.7 Procedimiento para parar la unidad

Se recomienda un procedimiento controlado durante la reducción de carga y parada de la unidad . De nuevo el control de la temperatura del metal es de suma importancia dado que esto tiene el mayor efecto en los esfuerzos térmicos, expansión diferencial, alineamiento de partes y flujo de calor de una porción de la turbina hacia otra. Varios procedimientos deberían ser desarrollados de acuerdo a las condiciones deseadas en el momento de parada o al momento del rearranque . Idénticas turbinas pueden requerir diferentes procedimientos, basados en el equipo y controles relacionados. |En muchas unidades la característica de la

entrada principal del vapor es tal que cambios relativamente pequeños del vapor ocurre durante el periodo de reducción de carga. Esto es frecuentemente ventajoso porque si la temperatura del vapor permanece constante durante el periodo de no carga, el cambio de temperatura dentro de la turbina será mantenido al mínimo. La temperatura en la región de la primera etapa de la carcasa sufrirá el primer cambio, esta temperatura decrecerá aproximadamente 150° F para un cambio total de carga. Por consiguiente muchas unidades pueden ser sacada de plena carga en una hora, pero es recomendable que la carga sea reducida a una razón uniforme al mínimo deseado, y que la maquina se dispare de la línea inmediatamente después que el suministro de vapor haya cesado abruptamente. Es también deseable interrumpir el vacío inmediatamente para permitir que el rotor se desacelere rápidamente cuando pase de la velocidad critica.

5.3.8 Parada normal

Reduzca la carga uniformemente en decrementos de aproximadamente dos por ciento de la temperatura de placa por minuto.

Desenganche la turbina de la línea cuando la carga se ha reducido al 5% de la capacidad según la placa y abriendo el disyuntor. La unidad puede dispararse con la válvula de disparo del aceite, con el control remoto de la solenoide de disparo, la palanca de disparo de emergencia de la válvula de parada principal o la palanca manual de disparo de vacío. La carga también puede quitarse reduciéndolo a un medio por ciento de la carga nominal de la placa, abriendo el disyuntor y cerrando las válvulas de disparo de aceite o limitando la carga con la rueda de mano. En ultimo caso dispare la válvula principal de parar con la palanca de disparo de emergencia.

5.3.9 Parada en un corto período

Cuando se requiera una parada en el menor tiempo posible y si esto puede ser acompañado con un despreciable decrecimiento en la temperatura de estrangulación, muchas turbinas pueden parar seguramente sin que se produzcan excesivos esfuerzos térmicos si se reduce la carga uniformemente en 30 minutos. A la carga de operación mínimo, la unidad puede dispararse y quedar fuera de línea. Otro método de parada rápida es reducir de plena carga a 1/3 de la carga en 20 minutos y entonces disparar la unidad. Cuando la unidad se dispara mientras se esta operando con una carga apreciable se recomienda como una precaución de seguridad que no se abra el disyuntor hasta que no se sepa con seguridad que la válvula principal se ha cerrado. Un disparo por este procedimiento deberá proporcionar la mejor protección contra sobrevelocidad si la válvula principal de vapor no cierra adecuadamente.

5.3.10 Parada para reducir la temperatura de la carcaza

Enfriando el metal de la turbina durante la reducción de carga reduce la posibilidad de distorsión y permite el desarmado de las partes rápidamente después de la parada. Esto puede ser acompañado por un decrecimiento uniforme y gradual de la temperatura del vapor principal; se recomienda que el periodo de la reducción de la carga se extienda al rededor de una hora mas allá de lo prescrito para una parada normal por cada 150° F de decrecimiento de la temperatura del vapor. Para un máximo de decrecimiento de la temperatura es necesario reducir también la presión del vapor; este método de enfriamiento produce el mayor decrecimiento de temperatura en las secciones de alta y mediana presión de la turbina, la porción de la turbina entre el punto de paso y el escape mostrara el menor cambio.

Enganche el sistema de volteo rápidamente después de que el rotor deje de girar y manténgalo en operación hasta que la turbina se re arranque sin embargo si la duración de la parada es indefinida opere el sistema de volteo hasta que la turbina este completamente fría o por lo menos durante ocho horas. Si la turbina será desmontada opere el sistema de volteo hasta que la tapa superior se levante.

Parar el sistema de volteo mientras que la turbina este caliente puede causar altos esfuerzos térmicos o interferencias de partes en movimiento como resultado de la distorsión entre el rotor y la carcaza. Las chumaceras pueden también dañarse por conducción del calor del rotor al babitt; para prevenir posibles danos circule aceite frío a través de las chumaceras después de parar, especialmente cuando el sistema de volteo es desembragado rápidamente.

La cubierta térmica y el material de retención del calor no deberá removerse de la sección de la alta y mediana presión de la unidad hasta que estas secciones se hayan enfriado por lo menos 24 horas. Esto previene sobreesfuerzos o deformación de la carcaza y los flanches. De todos modos el tiempo es importante, deje pasar al menos ocho horas entre la removida de la unidad de servicio y la retirada o quitada de la cubierta de la brida principal atornillada.

5.3.11 Condiciones de parada que afectan el arranque

Los procedimientos de arranque y toma de carga afectan significativamente varias condiciones de temperatura del metal , el vapor y las condiciones de estado que prevalecen antes y durante el período anterior de la sacada de la máquina. En paradas cortas en la noche o de fin de semana es necesario establecer los siguientes procedimientos :

- 1) La temperatura del vapor al tiempo que la turbina está operando a minima carga inmediatamente antes del disparo tiene un efecto directo en la razón de enfriamiento y la temperatura final del metal que ocurre durante una parada de duración corta.

- 2) La presión mantenida en el generador de vapor durante la parada afecta la temperatura de las líneas de vapor principal y la válvula. La temperatura final de la carcaza de la turbina es afectada por la absorción de calor a través de sus partes si la parada es de media duración por ejemplo de ocho horas o más.
- 3) El calor almacenado en la caldera y la tubería principal durante la parada afecta las características del vapor durante el arranque.
- 4) La cantidad de soplado, la localización de las purgas y la configuración de la tubería principal afecta la temperatura de la misma tubería y de la carcaza de la turbina.
- 5) La clase del equipo utilizado para producir el vacío; ya sea con vapor o con bombas operadas con electricidad. Pueden influenciar sobre la presión y la correspondiente temperatura del vapor principal.
- 6) La cantidad de vapor que sale por el escape de la turbina o por el condensador durante la parada o inmediatamente antes del arranque afectan la temperatura de la campana de salida y puede influenciar en la temperatura del vapor principal.
- 7) Algunas otras causas que tienen influencia sobre la temperatura de la máquina son la temperatura del ambiente alrededor de la caldera, la línea principal y alrededor de la misma turbina.

5.3.12 Algunos problemas y sus causas

Problema

La carcaza cruje o hay excesiva distorsión.

Sobrecalentamiento de la campana de escape y el cubo de la última etapa.

Causa

Enfriado de las partes internas de admisión del vapor a las válvulas de control y rotado sin carga después que la unidad ha estado operando cerca de la temperatura de placa

- a) motorizando la unidad por conservar el sincronismo, con las válvulas de control cerradas aun con un buen vacío

b) Uso incorrecto de los rociadores de agua o de el condensador

h) arranque con mal vacío menos de 23" Hg.

Vibración excesiva

Operando cerca o en la velocidad crítica del rotor.

Distorsión de la carcaza o fugas.

Operación a baja carga por largo tiempo durante la reducción de carga .

Grandes diferencias de temperatura entre las superficie interior y exterior de la carcaza resultando esfuerzos térmicos excesivos.

- a) Arrancando con el aislamiento de la carcaza mojado.
- b) Operando con la carcaza sin aislamiento térmico.

5.4 Pruebas y sincronización de la máquina

Al culminar la instalación de todos los sistemas que componen el turbogenerador condensing, el paso siguiente es las pruebas de algunos de los sistemas auxiliares que lo componen; algunas de ellas son las siguientes:

5.4.1 Turbina

Referirse al procedimiento de las paginas anteriores para el arranque de la turbina

Arranque: durante el arranque de la turbina debe observarse que no exista vibraciones en la turbina a excepción en las velocidades criticas de la maquina.

- a) Controles: deben realizarse los ajustes sugeridos por el fabricante a las alarmas y disparos instalados, tales como: alta pureza de gas, baja pureza de gas, alarma de falla de cojinete de empuje, enfriador de aceite fuera, detector de agua en el generador, detector de baja presión de aceite, baja presión diferencial del sello de el generador, Bomba de funcionando, alta temperatura de gas en el generador.

Además deben ajustarse los disparos de sobre velocidad y regulación de la turbina.

- b) Sistema auxiliar de aceite: acá deben realizarse varias revisiones y pruebas importantes tales como: Switch automático del arranque del motor de la bomba auxiliar de. No se encuentre en una área accesible no controlada, ya que puede suceder que alguien desconecte dicha bomba de automático y en una emergencia tener una falla por dicho descuido. Por ello es importante localizar dicho switch en el arrancador y colocarlo en

un área de poca accesibilidad. Con respecto a la bomba auxiliar dc deben realizarse algunas pruebas como:

- Arrancarla y ponerla en servicio por un tiempo predeterminado para observar si soporta mantenerla el banco de batería. Dicho tiempo puede ser por ejemplo dos horas, simulando una falla de periodo largo.
 - Otra prueba consiste en observar el tiempo y la corriente de arranque del motor. Dicha prueba consiste en observar que el tiempo de arranque del motor no sea tan largo que al realizar la transferencia permita que la caída de presión de aceite sea menor que 5 psig . En cuanto a la corriente de arranque debe observarse que dicha corriente no exceda el 350 % de la corriente de placa del motor , si esto sucede debe ajustarse la resistencia de arranque para no exceder dicho porcentaje y así no dañar el motor.
 - Pruebas de las bombas de aceite auxiliares del turbogenerador, primeramente para ver que cada una levante la presión debida y seguidamente que cada una accione en el rango que fue especificada, la prueba consiste en colocar en automático el arranque de las bombas auxiliares de ac y dc. En este instante debe arrancar la bomba auxiliar ac. , luego a continuación al apagarla debe arrancar la bomba auxiliar dc. Esto nos asegura que ante una falla de la bomba auxiliar ac, entrara a funcionar la bomba dc.
- c) Sistema de sello de vapor: es importante revisar que el sistema de sello de aceite funcione apropiadamente. Se debe revisar la cabeza de presión del sistema de sellos sin carga, la cual puede ser de 1 PSI y donde comienza el sistema el auto sellado a velocidad de operación.
- d) Carcaza de la turbina y aislamiento de tubería: debe revisarse el aislamiento térmico de la turbina, recomendándose un mínimo de grosor de 4 ½ " aislante térmico , malla de gallinero mas cemento refractario. Tambien deben aislarse de manera similar la válvula principal de parada, válvulas de control y la entrada de vapor a la turbina.

5.4.2 Generador

Hacer lo siguiente:

- a) Sistema de hidrógeno: es importante en dicho sistema realizar pruebas de presión al valor que indique su manual, para poder detectar posibles fugas. Luego de pasar la anterior prueba se aplica una pequeña cantidad de hidrógeno al sistema (aproximadamente 2 PSI) y buscar fugas con un detector de fugas de combustible . Debe revisarse tambien el consumo diario de hidrógeno (en botellas/día) sugerido por el fabricante de la maquina. También ha de revisarse todo el sistema de alarmas que incumben al control de hidrogeno, las cuales se mencionaron en el capitulo cuatro. Por último se debe revisar que no exista ningún tipo de equipo eléctrico que provoque arco, cerca del sistema de distribución de hidrógeno ya que si no en caso de alguna fuga se tiene posibilidad de explosión.

- b) Anillos colectores: se tiene que revisar los anillos colectores del sistema de excitación de la maquina, los cuales no deben poseer gradas ni corrosión en ellos. Si lo anterior se cumple debe de maquinarse los anillos .
- c) Excitación: es importante la realización de pruebas al o a los sistemas de excitación que se tengan (estática y dinámica) . Se deben realizar pruebas del excitador en manual y en automático, además de revisar que cantidad de corriente reactiva es posible entregar a la línea con el excitador.
- d) Relays: en lo que respecta a este tema es de importancia inicial la calibración de cada uno de los Relays que se tengan en el panel eléctrico , tales como: Relay de campo a tierra, relay de perdida de frecuencia, relay de potencia inversa, relay de pérdida de excitación, relay de perdida de voltaje, relay de secuencia negativa, relay de corriente diferencial, etc. Antes de conectar a línea la maquina se revisa que dichos dispositivos de protección actúen sobre los sistemas a los cuales deben actuar , tales como breakers principales, breakers de campo o simplemente alarmas . Después de lo anterior al conectar a línea la maquina se procede a una revisión de dichos Relays ya que muchos de ellos dependen de las polaridades de los potenciales que salen de la maquina, algunos podrían provocar disparos o simplemente no actuar en el momento adecuado.

En resumen para el arranque de un turbogenerador se debe de cumplir con varias condiciones las cuales se han descrito en las páginas anteriores. En la siguiente página se da una lógica de arranque y además de ello debe tomarse en cuenta lo sig.:

Condiciones de lubricación en el turbogenerador.

Condiciones de vacío y de enfriamiento

Mínimas condiciones de vapor ($100\text{ }^{\circ}\text{F} >$ que la temperatura de saturación)

Mínima temperatura de la carcaza (dentro de $150\text{ }^{\circ}\text{F}$ de el superheater)

Mínimas condiciones de la caldera (arriba de $100\text{ }^{\circ}\text{F}$ sobre la temperatura de la turbina para arranque en caliente.

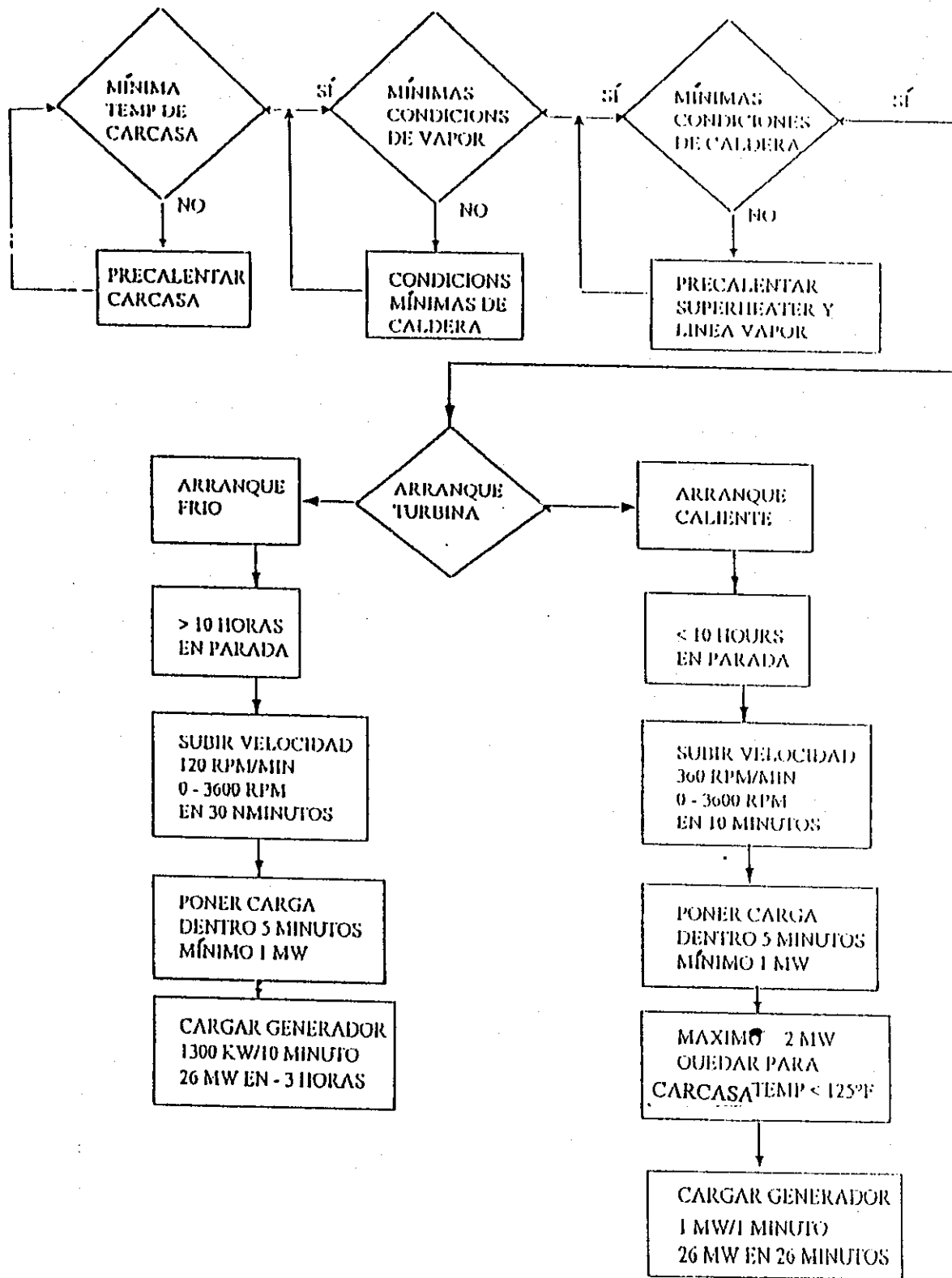


FIGURA 13.
LÓGICA DE ARRANQUE DE TURBINA

CONCLUSIONES

1. Antes de iniciar el montaje de un turbogenerador, el personal que esté a cargo, debe estudiar los manuales para conocer tanto los componentes como los funcionamientos. Los conocimientos científicos de la termodinámica son básicos para interpretación de los manuales como para lograr un buen montaje.
2. Durante el montaje se encuentran algunas partes muy especializadas que necesitan calibraciones que no las da el manual de la máquina, lo que hace necesario traer asesores de la fábrica.
3. Aunque este trabajo de tesis se enfoca a lo mecánico se hace necesario mencionar el aporte de la ingeniería eléctrica y civil.
4. Cuando se tiene la máquina en operación se puede notar que los circuitos auxiliares, aunque no son la esencia del funcionamiento de los turbogeneradores, son de vital importancia para la buena operación de los mismos, por lo que no se debe descuidar un buen montaje y mantenimiento de los mismos.
5. Por la experiencia obtenida en el montaje, se observó que aunque se utilizó una nueva técnica soldando la tubería de vapor, aceite e hidrógeno con soldadura de argón y apesar de que se puso atención a la limpieza, se observo lo siguiente :
 - a) Al hacer el flusheo de la línea de aceite salió mucha suciedad. Si esta no se hubiera sacado, podría haber dañado chumaceras o tapado conductos de aceite en el sistema de control.
 - b) Se hizo un soplado como especifica el manual. El testigo que se coloco a la salida de la tubería de vapor. Esté reflejó muchos impactos a las primeras quince sopladadas que se hicieron, esto demuestra que no deben obviarse dichas limpiezas.
- 6) Cuando se inician las pruebas y la operación de un turbogenerador se hace con personal relativamente, sin experiencia. Se hace necesario que la operación de la planta tenga una buena automatización contra las fallas que puedan ocurrir para evitar daños; ya sea en la turbina o en otra parte de la planta provocados por :
 - a) Apertura de línea eléctrica que provoque una alta frecuencia o sobrevelocidad en la máquina.
 - b) Se motorice el generador al fluir corriente hacia él .
 - c) Se baja la temperatura del vapor al límite inferior no permitido o se incrementa el nivel de agua en la caldera y pueda provocar arrastre de agua hacia la turbina.
 - d) Alta temperatura en el generador, que puede dañar el embobinado.
 - e) Falla en el circuito de lubricación.

RECOMENDACIONES

1. En proyectos de montaje de equipo usado para generar energía eléctrica, es importante que antes de desmontar, se hagan visitas e inspecciones, se tomen medidas y fotografías, levantar planos para identificar las líneas de tuberías (si no existen) . Todo esto para evitar un gasto adicional de recursos y atrasos en el proyecto.
2. Previo a la instalación y funcionamiento del equipo, éste debe de ser sujeto de mantenimiento, debido a que generalmente han estado en desuso por varios años.
3. El diseño de la tubería que conduce vapor a alta presión debe de incluir la expansión que se produce en la tubería al calentarse y las distorsiones que esto provoca en la estructura donde se sostiene; para evitar producir esfuerzos a la turbina dando como resultado vibración o roce de partes internas.
4. El proceso de calentamiento de las partes internas de la turbina debe de ser gradual con un ritmo lento para evitar vibraciones o desajustes en las calibraciones finas que requiere el control de la turbina.
5. Se recomienda proveer de un mantenimiento preventivo y correctivo al equipo, para detectar fallas y prevenir daños irreparables en éste. Si es posible iniciar en el mantenimiento predictivo, la importancia de este es alargar la vida útil del equipo.
6. El sistema de interconexión nacional de generadores y consumidores de energía eléctrica en Guatemala es muy vulnerable, debido a que en épocas lluviosas existen aperturas de líneas de transmisión (disparos), lo cual hace necesario que la turbina y la caldera estén provistas de protecciones que minimicen los riesgos y eviten daños mayores.
7. En cualquier operación de turbogeneradores que incluya subir y bajar carga , debe hacerse de forma gradual , verificando temperatura y presión de vapor, temperatura de aceite en cojinetes y temperatura de la cola de la turbina.

BIBLIOGRAFÍA

1. **MARKS. Manual del ingeniero mecánico . Segunda Edición en español. México: Mc. Graw -Hill.,1993.**
2. **G. FINK, DONALD. Manual de Ingeniería eléctrica. Decimotercera edición, Tomo I,II, México: Mc. Graw Hill, 1995**
3. **VARIOS AUTORES. Operator manual turbine and generator. USA. : General Electric, WestLynn Mass., 1960.**
4. **VARIOS AUTORES.. Curso internacional de turbomaquinaria. Querétaro México: CIATEQ, 1996.**