

15  
24

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

## “Principios de Operación y Preparación Mecánica para el Arranque en Vacío de la Turbina de Vapor GB-20IT de la Planta de Etileno del Complejo Petroquímico Morelos (PEMEX)”

### T E S I S

Que para obtener el Título de:  
Ingeniero Mecánico Electricista

P R E S E N T A:

RUBEN RUIZ RODRIGUEZ



Cuautitlán Izcallí, Estado de México,

1989

**FALLA DE CRIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

NOMENCLATURA	Pag.
INTRODUCCION.	1
CAPITULO I.           PRINCIPIOS GENERALES.	2
- Clasificación de las turbinas	5
- Clasificación con respecto a la extracción o inyección de vapor.	7
- Turbinas con y sin condensación	8
- Control de velocidad	9
- Lubricación de las turbinas	10
CAPITULO II.         PARTES QUE INTEGRAN LA TURBINA DE VAPOR	
" GE-201T "	15
- Rotor	19
- Carcaza	19
- Diafragmas y sellos de laberinto	20
- Chumaceras	21
- Válvula de admisión	23
- Válvula de corte	24
- Eyectores	25
- Torna-Flacha	26
- Auxiliares del condensador de superficie	27
CAPITULO III.       ASPECTOS TERMODINAMICOS (CICLO DE VAPOR)	28
CAPITULO IV.        INSTALACION Y REVISION MECANICA DE LA TURBINA	
- Instalación del equipo	41
- Nivelación y alineación	42
- Revisión mecánica de la turbina de vapor GE-201T	45
- Programa de prueba en vacío de la turbina	52
	60

	Pag.
CAPITULO V. - DISPOSITIVOS DE PROTECCION	69
- Protección por sobrevelocidad	66
- Protección por baja presión de aceite de lubricación	68
- Protección por alta vibración	65
CAPITULO VI. - EFECTOS PROBLEMAS EN LA OPERACION DE LA TURBINA	71
- Presión excesiva en la carcasa	72
- Aislamiento térmico	72
- Condensación del vapor	72
- Efectos del calentamiento o enfriamiento desiguales	73
- Deformación de la flecha	74
- Fugas por las cajas de empaques	74
- Velocidad crítica	75
- Depósitos en los álabos	76
- Agua en el sistema de lubricación	76
CAPITULO VII. - CAUSAS PRINCIPALES DE FALLA	77
- Diseño	78
- Fabricación	80
- Instalación	80
- Utilización	82
CONCLUSIONES.	86
BIBLIOGRAFIA.	87

## NOMENCLATURA

- $E_{GT}$  - Energía cargada de la turbina  
 $h_{G^*}$  -  $h$  - Entalpía total del vapor húmedo  
 $h_f$  - Entalpía del líquido  
 $h_{fg}$  - Entalpía de vaporización del vapor saturado seco  
 $m_{ds}$  - Peso del vapor seco que pasa por el calorímetro  
 $m_m$  - Peso de la humedad separada de  $m_{ds}$  Kg de vapor seco  
 $P$  - Presión  
 $Q_r$  - Calor rechazado  
 $Q_s$  - Calor suministrado  
 $S_{G^*}$  -  $S$  - Entropía del vapor saturado  
 $S_f$  - Entropía del líquido saturado  
 $S_{fg}$  - Entropía de vaporización  
 $T$  - Temperatura  
 $V$  - Volumen  
 $W_p-W_b$  - Trabajo de la bomba  
 $W_t-W_T$  - Trabajo de la turbina  
 $X_v$  - Título o calidad del vapor  
 $v$  - Volumen específico  
 $\eta$  - Eficiencia

## **INTRODUCCION**

-----

## INTRODUCCION

En todos los países en vías de desarrollo (siendo el nuestro uno de ellos), siempre la mayor preocupación ha sido la economía y la autosuficiencia de todas sus necesidades, ya sean del tipo agrícola, tecnológico, de energía, etc., por lo que esto representa un verdadero problema para los pertenecientes a dicho núcleo y la única solución es la producción del tipo a que se refiera.

Como anteriormente indicamos, México pertenece al grupo de países en proceso de desarrollo, por lo que tenemos gran número de carencias y necesidades, pero hemos de tomar en cuenta que contamos con un recurso debido al cual nos ha sido posible mantenernos y en algunas ocasiones subir poco a poco en lo referente a economía y no estancarnos.

El recurso al cual me refiero es el agua, de la que se obtienen -- grandes beneficios, sin la cual la mayoría ( por no decir todas ) de las industrias del mundo nunca hubieran llegado a ser tales sin antes, haber se preocupado en descubrir otro tipo de elemento que pudiera transmitir energía a tan bajo costo.

El agua en su estado gaseoso o mejor llamado vapor de agua, es utilizado para transmitir su energía calorífica en energía mecánica en una turbina de vapor.

En lo que se refiere al uso que se le da para la turbina GE-201T y en general a todas las turbinas de vapor, podemos decir que es aplicado porque transmite potencia inicial elevada, la cual viene a substituir a elementos motrices como son los motores.

Además el vapor que se usa en la turbina GE-201T se usa porque -- posee excelentes propiedades como:

- 1.- Alto contenido calorífico.
- 2.- Entrega su calor a temperaturas constantes
- 3.- Se forma del agua que es barata y abundante

- 4.- Es limpio, inodoro e insípido
- 5.- Su calor puede a menudo, usarse una y otra vez
- 6.- Produce grandes cantidades de energía mecánica
- 7.- Es fácil de distribuir y controlar

El tema desarrollado en este trabajo es: "Principios de operación y preparación mecánica para el arranque en vacío de la turbina GT-201T de la planta de etileno del Complejo Petroquímico Morelos", y tiene como objetivo principal hacer resaltar la importancia de una buena instalación y preparación mecánica para que se asegure una operación confiable de la máquina el mayor tiempo posible, garantizado con esto una producción de la planta de acuerdo a los programas de producción petroquímicos.

Para tener éxito en cualquier tipo de actividad es necesario tener conocimiento de lo que se va a hacer, por lo cual, se deberá tomar en cuenta los siguientes factores, considerándolos como críticos para lograr un arranque correcto:

- 1.- Personal experimentado
- 2.- Organización eficiente
- 3.- Planeo cuidadoso
- 4.- Entrenamiento completo del personal
- 5.- Comunicación total de observaciones y programas

**CAPITULO I.- PRINCIPIOS GENERALES**

El calor es una forma de energía, y puede ser transformado en energía mecánica. Una turbina de vapor transforma la energía calorífica en energía mecánica.

Cuando hierve agua y se convierte en vapor, este contiene más energía que el agua y este se lleva a cabo dentro de un recipiente cerrado, la presión ejercida por el vapor aumenta, de donde, la presión de una caldera se puede aumentar agregándole más calor.

La turbina es un tipo de máquina térmica que transforma la energía interna del vapor, en energía cinética por medio de una expansión, (desde alta a baja presión), al pasar a través de una o más toberas. La energía cinética que resulta es a su vez convertida en una fuerza impulsora que efectúa un trabajo sobre el anillo de álabes montado sobre el rotor, esta fuerza impulsora se transmite para accionar unos equipos determinados, tales como bombas, ventiladores, compresores o plantas generadoras de energía eléctrica, etc. (En el caso presente servirá para impulsar el compresor de gas de carga para proporcionar las condiciones de temperatura y presión para la obtención del etileno en la planta).

La presión del vapor en el rotor es menor que en la caldera, pues no habría flujo de vapor si no existiera una diferencial de presión, y entre mayor sea ésta mayor será el flujo.

Conforme el vapor deja la tobera, su presión y temperatura disminuyen pero su velocidad aumenta, y después de chocar contra los álabes esta velocidad disminuye.

El rotor al girar produce trabajo mecánico y el vapor experimenta una pérdida de energía. Una cantidad mayor de vapor producirá mayor trabajo.

Si se aumenta el número de toberas o se hace más grande la existente, saldrá mayor cantidad de vapor, produciendo más trabajo.

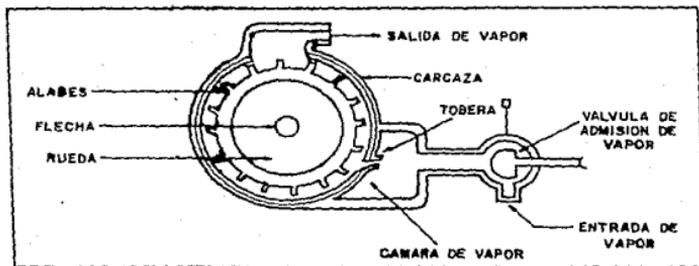


FIG.1. PARTES QUE INTEGRAN LA TURBINA  
DE VAPOR

F.E.S. CUAUTLAN (UNAM)

RUBEN RUIZ RODRIGUEZ.

FIG.1.

Por lo tanto, para producir más trabajo, o se aumenta la diferencial de presión, o se agrandan las toberas existentes, o se agregan más del mismo tamaño.

En la figura 1. los álabes están montados en una rueda o "volante" y no directamente sobre la flecha, como es en el caso de la turbina GE-2017.

La tobera o toberas están montadas en la pared de la cámara de vapor, y el vapor es controlado por la válvula de admisión (controlada -- por el gobernador).

Controlando la entrada de vapor, podemos controlar la salida de -- energía mecánica. El rotor está montado dentro de una carcasa de metal donde la presión es menor que dentro de la cámara de vapor, para permitir el flujo a través de las toberas.

#### Clasificación de las turbinas

Las turbinas de vapor se clasifican en dos tipos, dependiendo de -- la forma en que pasa el vapor entre los álabes estos son:

- a) Turbinas de impulso
- b) Turbinas de reacción

En la turbina de impulso se produce el movimiento del rotor por la fuerza generada al chocar el chorro de vapor contra las toberas (elementos fijos); y prácticamente no hay caída de presión en los álabes, por -- lo que la energía interna del vapor es totalmente transferida al rotor.

En la turbina de reacción se produce el movimiento debido a la acción de chorros de vapor que pasan a través de unos elementos estacionarios (álabes directrices) en donde un porcentaje de la transformación de energía del vapor toma lugar, a otra parte rotativa (álabes móviles) en donde la conversión es finalizada. En este tipo de turbina se tiene una caída de presión, debido a la expansión del vapor en los álabes giratorios, que produce una fuerza de reacción, esta fuerza, suplementada por

el choque de los chorros de vapor en los álabes, ocasiona que se queve al rotor.

Las turbinas de reacción, no obstante ser más eficientes que las de impulso, algunas necesitan más etapas (denominadas pasos o etapas) que las de impulso. A este tipo de turbina pertenece la GE-201T, conteniendo con nueve pasos.

#### Clasificación con respecto a la extracción o inyección de vapor

Las turbinas de extracción o inyección de vapor se utilizan por el vapor de diferente calidad.

En las turbinas de una sola etapa, el vapor se expande desde la presión de entrada hasta la presión de escape en un solo paso, resultando un flujo de vapor de alta velocidad que penetra por los pasajes localizados entre los álabes, y ejerce una fuerza en ellos debido al cambio de dirección que estos le imponen, esta fuerza hace girar al rotor de la turbina utilizando parte de la energía del vapor, el resto se pierde a través del escape.

Las turbinas de simple etapa se construyen en tamaños hasta de 1500 H.P. con velocidades desde 600 rpm. hasta alrededor de 7000 rpm. son diseñadas para operar invariablemente como unidades no condensantes las cuales se han vuelto muy populares en muchas aplicaciones, ya que tienen la ventaja de que de ellas se puede utilizar el vapor de descarga, como vapor de proceso, para calentamientos, etc., (vapor de baja presión).

En las turbinas multipasos el vapor que pasa a través del primer conjunto de álabes (primera etapa), se dirige a un conjunto de toberas donde tiene lugar una expansión adicional que actúa sobre la segunda rueda de la turbina, extrayendo parte de la energía que no se había utilizado en el primer paso.

Una turbina diseñada para trabajar a altas presiones de entrada de vapor y bajas presiones de salida, generalmente es de varios pasos.

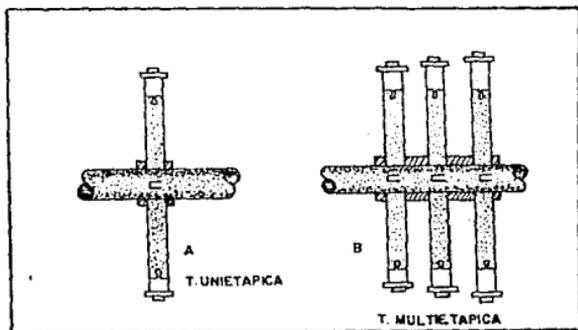


FIG. 2. TURBINA UNIETAPICA Y MULTIEAPICA.

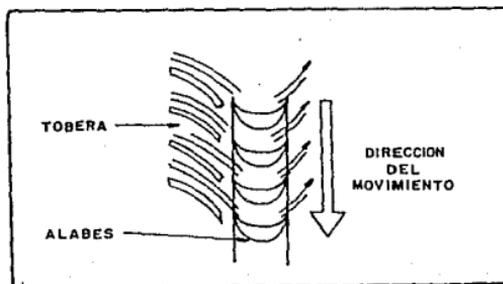
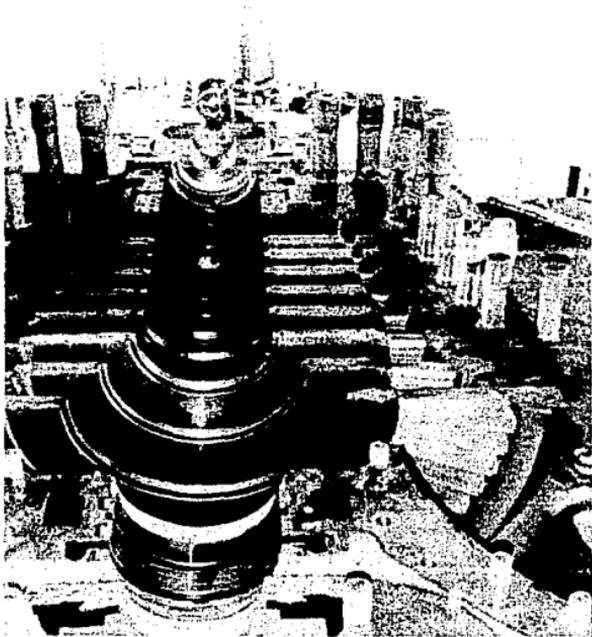


FIG. 3. ETAPA DE PRESION RATEAJ.

F.E.S. CUAUTITLAN (C.U.NAM)

RUBEN RUIZ RDGUEZ

FIGS. 2 Y 3.



FOT. 1. DIAFRAGMAS CONTENIENDO A LOS ALABES

ESTACIONARIOS Y SELLOS DE LABERINTO

F.E.S. CUAUTITLANGUNAM

RUBEN RUIZ RDGUEZ

FOTOGRAFIA 1.

En la figura 2. se ven los rotores de una turbina unietápica fig. 2A de una multietápica fig. 2B.

Como el vapor aumenta de volumen al disminuir su presión, los álabes deben ir siendo más grandes en cada etapa para dar salida fácilmente al vapor.

La turbina CB-201T posee un tipo de paso, llamado "moleano", que consiste en una serie de anillos estacionarios (toberas) encontrándose intercaladas ruedas de álabes móviles que absorben la energía cinética-obtenida de cada expansión (ver fig. 3), en los que se dan conversiones parciales de energía (Térmica y de presión) del flujo de vapor.

Pero el vapor que sale de estos álabes lo hace en dirección opuesta al movimiento; por lo tanto para mover la segunda hilera de álabes en la misma dirección que la primera el vapor debe ser dirigido, para esto se utiliza una hilera de álabes estacionarios cuya única función es cambiar la dirección al vapor, pero no variar ni su presión ni su velocidad, y están montadas rígidamente dentro de la carcasa. Fotografía 1.

#### Turbinas con y sin condensación

Al expandirse el vapor baja de presión, el vapor de baja presión - que sale de una turbina es capaz de expandirse aún más y perder más presión, en la figura 4B la turbina tiene un condensador instalado en la -- descarga; el cuál absorbe calor del vapor y le provoca una disminución - de presión al condensarse.

La turbina CB-201T posee un condensador de superficie (FA-213) que proporciona una baja presión de escape y al mismo tiempo permite recuperar el condensado por medio de la bomba vertical (GA-206/S), la cual va a mandarlo a un deaerador (EG-701) y de este a los domos de vapor (FA-115) por medio de las bombas multipasos (GA-704/40/ES), finalmente es regresada-

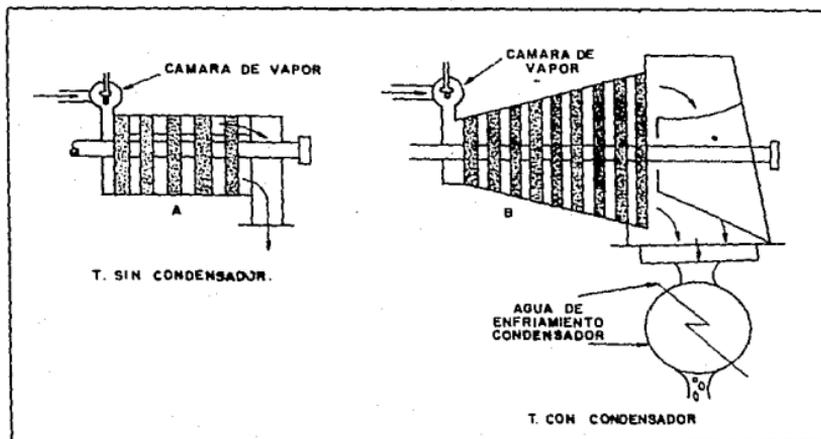
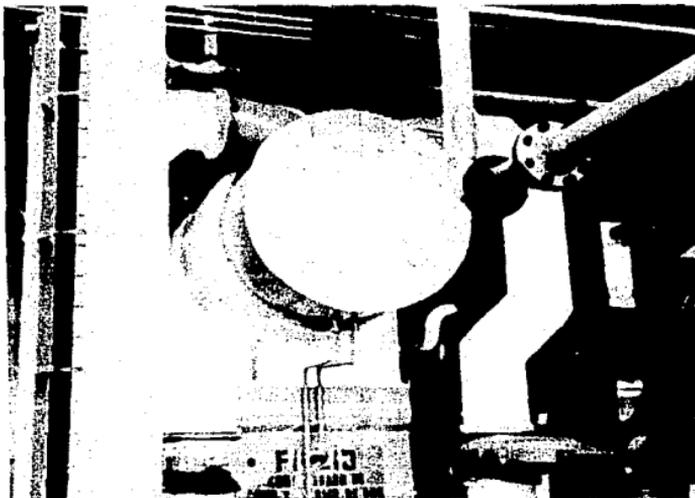


FIG. 4. TURBINAS CON Y SIN CONDENSACION DE VAPOR.

FE.S. CUAUTITLAN (UNAM)

RUBEN RUIZ RODRIGUEZ.

FIGURA 4



FOT. 2. CONDENSADOR DE SUPERFICIE FA - 213 PARA LA TURBINA

DE VAPOR GB - 201 T.

FE.S. CUAUTITLAN (UN.A.M.)

RUBEN RUIZ RDGUEZ.

FOTOGRAFIA 2.

do a los sobrecalentadores de vapor (EA-601A,B) para darle la presión y la temperatura que se requiere para su nueva entrada a la turbina, por medio del cabezal de vapor de alta.

En el caso de la turbina 4A no se tiene condensador, siendo la presión de la descarga de la turbina A mayor que el de la B donde el vapor es condensado.

En las turbinas sin condensación no se utiliza toda la energía calorífica presente en el vapor, de donde una turbina con condensación - puede realizar más trabajo mecánico que una sin condensación en iguales circunstancias de trabajo.

Debido a la gran disminución de presión que sufre el vapor en las turbinas con condensación - como la GE-201T - éstas generalmente son -- multipasos.

#### Control de velocidad.--

La válvula de admisión de vapor controlada por un gobernador de velocidad, regula la cantidad de vapor que entra a la turbina y por lo tanto, también regula la cantidad de trabajo realizado.

Cuando varían las cargas aplicadas a una turbina, su velocidad también lo hace; por lo tanto, es necesario un mecanismo que regule la entrada de vapor en función inversa a la velocidad de la turbina, este mecanismo se conoce como gobernador, el cual debe llevar a la turbina a su velocidad de trabajo, cada vez que se acelere o desacelere.

En la figura 5 vemos el principio de un gobernador mecánico de contrapesos, aquí los contrapesos están mantenidos juntos mediante la fuerza de un resorte, pero conforme empieza a girar el conjunto, la fuerza centrífuga obligará a los contrapesos a girar cada vez más separados, al girar más despacio, los contrapesos tienden a juntarse nuevamente.

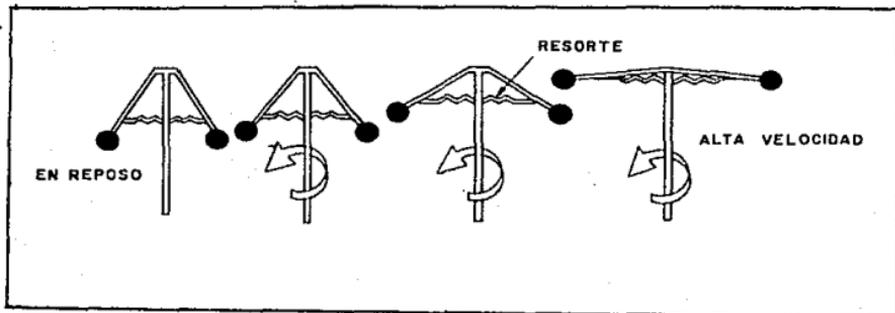


FIG. 5. PRINCIPIOS DEL GOBERNADOR MECANICO. ANTES Y DESPUES DEL MOVIMIENTO.

#### Governador de contrapesos de acción directa

En este tipo de gobernador, cuando la turbina no está operando, un resorte mantiene los contrapesos pegados a la flecha y la válvula de admisión se mantiene completamente abierta.

Conforme la flecha empiece a girar y la fuerza centrífuga a vencer el recorte del gobernador, la válvula de admisión de vapor se irá cerrando hasta llegar a la velocidad de trabajo, donde la fuerza del resorte está equilibrada por la fuerza de los contrapesos y la válvula de admisión de vapor, queda en una posición fija, no acelerándose más la turbina.

Si la carga aplicada a la turbina es aumentada, la velocidad bajaría y los contrapesos tenderían a juntarse abriendo la válvula de admisión de vapor para llevar nuevamente la velocidad de la turbina a su valor normal.

Si la carga es disminuida súbitamente, la velocidad de la turbina tiende a aumentar, separándose los contrapesos y cerrándose la válvula de admisión.

Por otro lado, si la presión del vapor de entrada baja, la velocidad baja y el gobernador abre la válvula de admisión; si la presión del vapor de entrada aumenta, sucederá lo contrario, aumentará la velocidad, entonces el gobernador cierra la válvula de admisión.

Un gobernador compensa los cambios de velocidad pero tiene un pequeño rango en el cual permite la aceleración o desaceleración de la turbina, un gobernador preciso tiende a mantener los cambios de velocidad lo más pequeño posible.

La mayoría de los gobernadores no mantienen en "cerca" la variación de velocidad sino aproximadamente  $\frac{1}{2}\%$ , siendo no obstante bastante precisos.

Los gobernadores de contrapesos de acción directa se limitan en su uso a turbinas pequeñas, ya que estas presentan constantes fuerzas desbalanceadoras debido a la acción directa de la presión del vapor sobre el tapón de la válvula de admisión.

#### -Gobernador hidráulico.-

Este tipo de gobernadores para controlar la velocidad de la turbina usan una bomba de aceite en vez de contrapesos. La bomba está conectada directamente a la flecha de la turbina, de manera que cuando la turbina esté parada, la bomba no mantendrá presionado el circuito y la válvula de admisión de vapor permanecerá totalmente abierta.

Conforme la flecha gira, se bombeará aceite al circuito, la mayor parte del aceite regresa al carter de donde succiona la bomba, puesto que al circuito está conectado un diáfragma flexible acoplado a la válvula de admisión, al ir aumentando la presión del aceite la válvula se irá cerrando hasta llegar la turbina a su velocidad de trabajo.

Si la turbina aumenta de velocidad, se bombeará más aceite al sistema el cual se preopresionará y causará que cierre la válvula de admisión; si se pierde la presión de aceite en el circuito causará que la válvula de admisión de vapor abra totalmente sobrerrevolucionándose la turbina.

Por otro lado, la temperatura afecta la viscosidad del aceite, aumentando o disminuyendo su flujo a través de una válvula de aguja, lo cual causa un cambio en la calibración de velocidad, a alta temperatura fluye más aceite perdiéndose la presión del circuito acelerándose la turbina y viceversa al bajar la temperatura del aceite, se reopresionará el circuito desacelerándose la turbina.

Este tipo de gobernadores se usa en máquinas de alta velocidad, teniendo el inconveniente de no ser muy precisos debido a la variación de temperatura del aceite.

- Gobernador de relevador de aceite.-

A este tipo de gobernador pertenece el gobernador Woodward de la turbina GB-201T, con una diferencia la cual se cita al final del apartado.

Este combina los principios de los gobernadores de contrapesos e hidráulico, donde la presión de aceite mueve un pistón conectado a la válvula de admisión el cual está cargado por efecto de un resorte. - -  
Fig. 6.

Los contrapesos posicionan la válvula piloto que controla el aceite (flujo) a través del relevador. En operación normal ambos puertos del relevador están parcialmente abiertos.

Pero cuando la válvula de admisión debe abrir para compensar una sobrecarga, los contrapesos se juntan obligando a la válvula piloto -- correrse hacia la izquierda, aumentando el puerto de entrada al pistón

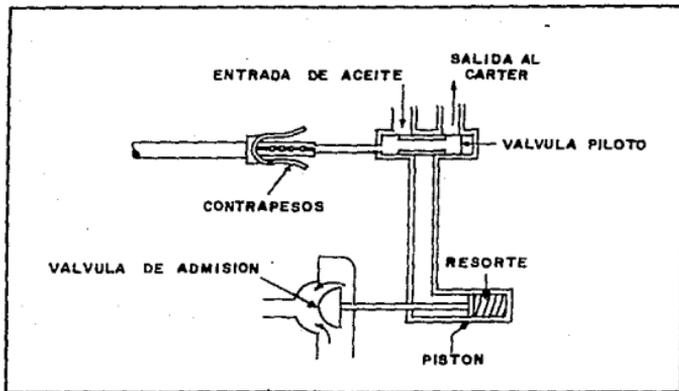


FIG.6.GOVERNADOR RELEVADOR DE ACEITE

FE.S. CUAUTILAN(U.N.A.M)

RUBEN RUIZ RDGUEZ.

FIGURA 6.

y reduciendo su salida al carter.

Por el contrario si la carga disminuyó, aumentándose la velocidad, los contrapesos se separan moviéndose la válvula piloto hacia la derecha con lo cual se disminuye el puerto de entrada de aceite y se aumenta el de salida al carter, con lo que el resorte obliga a la válvula de admisión de vapor a cerrarse.

El gobernador de relevador de aceite usa la fuerza hidráulica para mover la válvula de admisión de vapor, esta fuerza es superior a la obtenida por contrapesos solos, además mantiene un control de velocidad bastante preciso, sobreponiéndose a la fricción del mecanismo y fuerzas desbalanceadas y no tiene la tendencia a producir fluctuaciones.

Puesto que los contrapesos mueven la válvula piloto para ajustar la velocidad, los cambios de temperatura del aceite no modifican las velocidades de control.

En la turbina GE-201T se presenta una diferencia en cuanto al principio de funcionamiento citado anteriormente; esta radica en que la velocidad es detectada por un sensor magnético colocado en la proximidad de una rueda dentada montada sobre la flecha de la turbina.

El sensor magnético genera un voltaje y su frecuencia es una función de la velocidad y del número de dientes de la rueda dentada. El ta cómetro convierte la porción alterna de ésta señal de entrada en un voltaje análogo de corriente directa, el cuál es proporcional a la velocidad. Este voltaje es comparado con otro de referencia (Ajuste) regulable desde una fuente y al ser excitado actúa un contacto operando la válvula solenoide para drenar el aceite y cerrar la válvula de corte. Una vez que este sistema es operado, permanecerá en esta posición hasta que el botón de restablecimiento sea accionado y una determinada velocidad alcanzada.

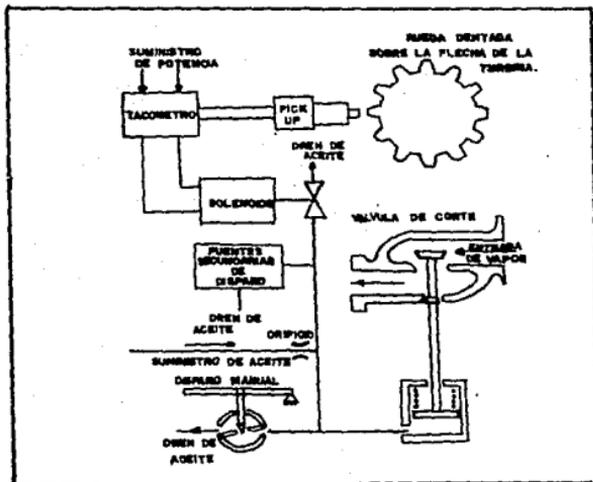


FIG. 7. SISTEMA HIDRAULICO - ELECTRICO - MECANICO  
 EMPLEADO EN LA TURBINA 6B-201T.

F.E.S. CUAUTITLAN (URAM)

RUBEN RUIZ RODRIGUEZ.

FIGURA 7.

Todos los sistemas de disparo por sobrevelocidad deberán ser diseñados para operar a una falla propia del sistema ( "Fail-Safe" ), con objeto de dar máxima protección al equipo. (fig. 7. ).

#### Lubricación de las turbinas.-

El sistema de lubricación de las turbinas, es relativamente sencillo y sin embargo una de las partes más importantes y vitales para su operación.

Las turbinas trabajan a grandes velocidades y en caso de falla del sistema de lubricación, los cojinetes se destruirán en unos segundos.

El sistema más simple de lubricación es el usado en pequeñas turbinas que usan anillos de lubricación, estos anillos están sumergidos en un depósito de aceite; la rotación del eje los hace girar, escurriendo lubricante para los cojinetes que están instalados. Los únicos cuidados que hay que tener con este sistema, son: Vigilar constantemente el correcto nivel de aceite en el depósito y reemplazar el aceite usado, periódicamente, por lubricante en buenas condiciones.

En las turbinas grandes como la GE-2017, el sistema de lubricación es del tipo de circulación a presión; el aceite lubricante en este sistema tiene tres funciones:

- 1.- Lubricación de cojinetes
- 2.- Enfriamiento de cojinetes
- 3.- Suministra el fluido para accionar el gobernador de velocidad.

El sistema consiste de las siguientes partes:

- a).- Una bomba principal accionada por medio de una turbina pequeña y una de reserva accionada por un motor eléctrico; esta bomba toma el aceite de un tanque y lo descarga a presión; en la descarga de las bombas se encuentra una válvula de alivio la cual puede descargar de regreso al depósito, un interruptor de presión se coloca en el cabezal de descarga de la bomba de turbina, si la presión baja de su punto -

de calibración la bomba por motor eléctrico se arrancará automáticamente, una alarma deberá sonar cuando arranque la bomba movida por motor. El aceite lubricante descargará de las bombas a través de un enfriador y un filtro, se colocan dos juegos de enfriador y dos filtros.

Entre ellos se encuentra una válvula de transferencia para permitir el cambio de un juego de enfriador a otro y al juego de filtros sin que se requiera una parada del sistema, (Un indicador de presión diferencial se coloca a través de cada filtro) y finalmente se distribuye el aceite a los cojinetes, regresándolo al mismo tanque.

- b).- El sistema se complementa con termómetros, manómetros y mirillas de inspección, hay un extractor de gases en el tanque que al eliminarlos, le prolonga la vida al aceite. También existen indicadores termostáticos de control. (Ver. figura 8).

El aceite lubricante en las turbinas está sujeto a muy severas condiciones de servicio, debido al efecto del calor, el aire, contaminación del agua y de materias extrañas. El calor puede reducir su viscosidad al grado que lo haga inapropiado para esta clase de servicio; el aire puede causar su oxidación y la formación de espuma, que causa corrosión de las partes internas de la turbina y en el gobernador puede afectar su funcionamiento; la contaminación con agua es lo más frecuente que puede presentarse, esta agua puede venir de fugas de vapor en los sellos, condensación de la humedad del aire, por fugas de agua en los enfriadores; o mala operación del extractor de gases, o de una inadecuada temperatura de operación; el aceite en presencia de agua forma una emulsión que no solamente resta sus propiedades lubricantes sino que también causa corrosión. La contaminación de materia extra-

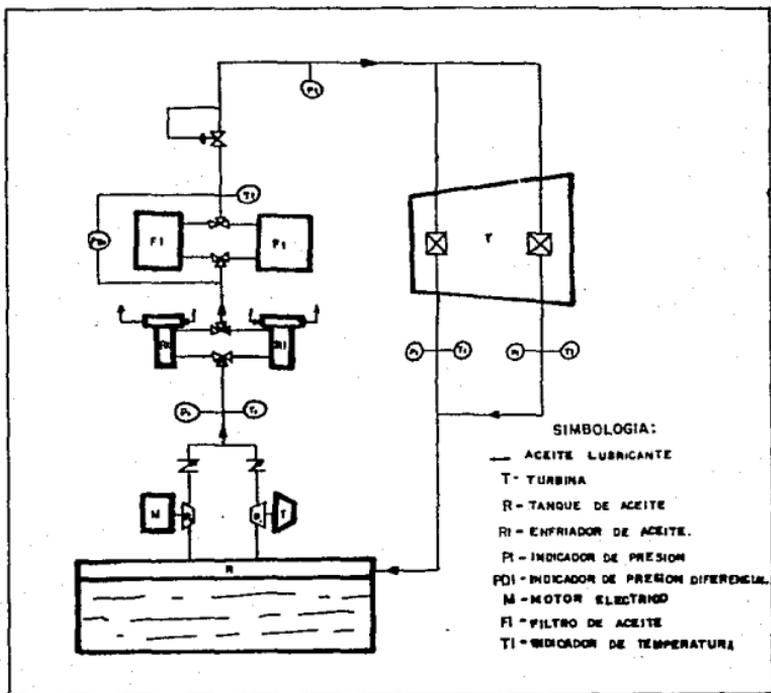


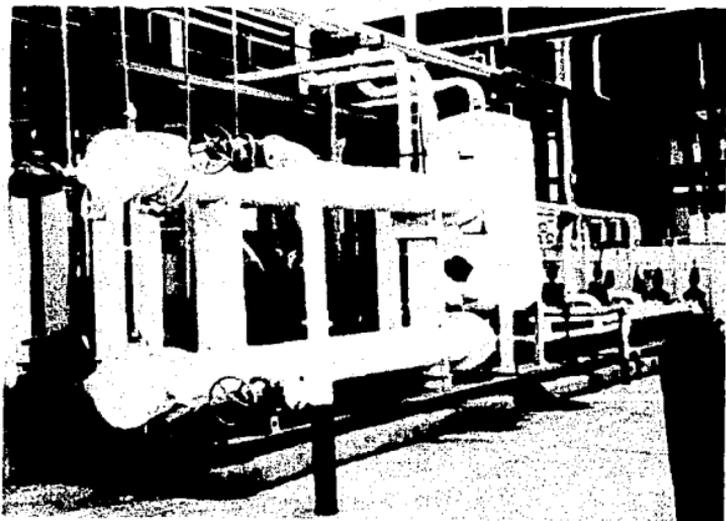
FIG. 8. SISTEMA DE LUBRICACION.

FES CUAUTITLAN (U.N.A.M.)

RUBEN RUIZ RODRIGUEZ.

FIGURA 8.

Ras puede ocasionar destrucciones en las tuberías del sistema y mal funcionamiento del gobernador. Algunas de estas dificultades se eliminan usando medios adecuados de ventilación en el tanque, y aceites apropiados que contienen sustancias antioxidantes, pero la cuidadosa vigilancia que el operador preste a la temperatura y presión de aceite y a la limpieza de filtros y enfriadores, dará los resultados más satisfactorios.



FOT. 3. CONSOLA DE LUBRICACION PA-201 (SUMINISTRA ACEITE DE LUBRICACION  
Y ACEITE DE GOBIERNO A LA TURBINA (E-201 T))

F.E.S. CUAUTITLAN (U.N.A.M.)

RUBEN RUIZ RODRIGUEZ.

FOTOGRAFIA 3.

**CAPITULO II.- "PARTES QUE INTEGRAN A LA TURBINA  
DE VAPOR GE-201T"**

La turbina GB-201T cuenta con las siguientes partes y accesorios para su funcionamiento principalmente:

- 1.- Rotor
- 2.- Carcaza
- 3.- Diafragmas y sellos de laberinto
- 4.- Chumaceras
- 5.- Válvula de admisión
- 6.- Válvula de corte
- 7.- Eyectores
- 8.- Torna-flecha
- 9.- Auxiliares del condensador de superficie

#### Rotor.-

Este elemento es el que suministra la potencia útil para accionar la carga (compresor de gas de carga GB-201) y está constituido por:

Flecha

Discos

Álabes

Los discos sirven para evitar vibraciones, ya que como en este caso la turbina GB-201T trabaja a alta velocidad; en este disco pueden alojarse y quitarse ciertos pesos que permiten balancear dinámicamente al rotor.

Los álabes de la turbina están elaborados con acero inoxidable, -- siendo este resistente a la corrosión y a las altas temperaturas. Ver Fotografía 4.

Para dar mayor resistencia y evitar vibraciones en los álabes, se usan aros de refuerzo hechos fijos a los extremos de los álabes.

#### Carcaza.-

La turbina GB-201T opera al igual que las demás turbinas a la di-

ferencia de presión existente entre la cámara de vapor y la carcasa, donde la presión en la cámara de vapor es superior. Sin esta diferencia de presión el vapor no podría fluir a través de las toberas.

Si la descarga de una turbina es bloqueada, la presión dentro de la carcasa aumenta, perdiéndose la diferencia de presión, puesto que la turbina está diseñada para una mayor presión en la cámara de vapor que en la carcasa, si la presión en la carcasa aumenta hasta la presión del vapor de entrada, esta puede romperse, por esta razón las turbinas nunca deben ser arrancadas con la válvula de descarga de vapor cerrada, además esta turbina cuenta con una válvula de seguridad instalada en la carcasa para aliviar el exceso de presión.

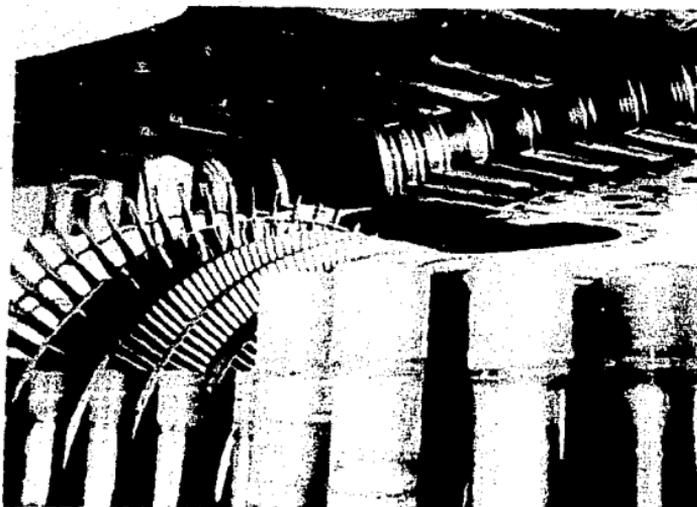
#### Diafragmas y sellos de laberinto.-

Los diafragmas son partes estacionarias que se montan en la carcasa, separando los diferentes pasos de la turbina, además contienen a las toberas y sirven también para prevenir el paso de vapor a otro lado que no sea el requerido.

Son unos discos cortados en dos partes a lo largo del eje del rotor; entre los diafragmas y el rotor existe un empaque del tipo de laberinto.

Un laberinto consiste en un anillo de metal con filos que se ajustan muy cercanos a la flecha, permitiendo que algo de vapor pase a través de una pequeña tolerancia que existe entre los filos del laberinto y la flecha; pero este vapor al entrar en cada compartimiento forma remolinos y turbulencias que causan que baje la presión del vapor de compartimiento a compartimiento, siendo mínima la cantidad de vapor que atraviesa el sello. Ver fotografía 1.

Además la turbina GB-201T cuenta con dos cajas de empaques que reducen las fugas de vapor por las zonas donde la flecha atraviesa la car



FOT. 4. CARCAZA SUPERIOR, SELLOS Y ROTOR

FES. CUAUTITLAN (U.N.A.M.)

RUBEN RUIZ RDGUEZ

FOTOGRAFIA 4.



FOT. 5. ALABES DIRECTRICES Y ALABES MOVILES

FE.S. CUAUTITLAN (UNAM)

RUBEN RUIZ RDGUEZ.

FOTOGRAFIA 5.

caza.

Estas cajas de empaques se encuentran constituidos de diferente manera ya que el lado de alta presión cuenta con una combinación entre sellos del tipo laberinto y sellos de carbón; esta disposición fué tomada para evitar la fuga de la carcasa por medio del sello de laberinto, y la fuga de laberinto a la atmósfera es controlada por la empaquetadura de sellos de carbón.

El lado de baja presión o de descarga cuenta con empaque del tipo laberinto.

En este tipo de turbinas con condensación total la presión del vapor de descarga es menor que la presión del aire circundante.

Aquí la fuga de vapor a lo largo de la flecha en el lado de la descarga tiende a permitir la entrada del aire y puesto que este no se condensa, debe ser eliminado. (esto es conseguido por medio de un eyector); si se permite que entre aire y no es eliminado, la presión en la descarga aumentará.

Además, para evitar la entrada de aire a la carcasa, la turbina - - GB-201T cuenta con un sistema, llamado "vapor de sello", el cual consiste en inyectar vapor entre las secciones de los laberintos; este fluye en dos direcciones a lo largo de la flecha y el aire que pretende entrar es detenido por el flujo de vapor de sello, la parte del vapor de sello que fluye hacia la carcasa pasa hasta la descarga de la turbina y se condensa en el condensador.

#### Chumaceras.-

El rotor de la turbina GB-201T está soportado por dos tipos de cojinetes principales instalados en la parte exterior de la carcasa. Dado que los huelgos entre los sellos y el eje y entre las paletas y carcasa son sumamente reducidos, los cojinetes son sometidos a una alineación -

cuidadosa y libres completamente de desgaste con objeto de mantener el rotor en su posición correcta. Evitando así daños en sellos y paletas.

La carga que soportan los cojinetes principales (radiales, colocados en los dos extremos de la flecha) es exclusivamente el peso del rotor, por lo que se diseñan de tamaño suficiente para que los esfuerzos sean moderados en cada punto del cojinete.

Sin embargo si el rotor no está perfectamente balanceado, los cojinetes estarán sujetos a vibraciones considerables que pueden sobrecargarlos. Los cojinetes radiales consisten de dos medios cilindros revestidos interiormente con metal antifricción (babbit), alojados en una caja que a su vez está soportada por asientos esféricos. En el metal antifricción se tienen una serie de muescas o patas de araña que sirven para distribuir el aceite que impide el contacto de metal entre el eje y el cojinete, formando la cuña de aceite; prácticamente el eje queda flotando en el aceite.

El suministro de aceite a los cojinetes, no solamente tiene por objeto lubricarlos, si no también mantenerlos a la temperatura correcta de operación. El flujo de aceite a los cojinetes es tan importante, que el operador debe vigilarlo constantemente. Cada uno de los cojinetes tiene instalado un termómetro, una mirilla de inspección y su correspondiente manómetro. La falta de aceite funde el metal antifricción del cojinete.

Por otro lado la turbina presenta un empuje llamado axial a lo largo del eje hacia el lado de baja presión, que tiende a desplazar el rotor.

Para absorber este empuje y mantener el rotor en su posición correcta con respecto a las partes fijas de la turbina, se usan chumaceras de empuje.

El tipo de chumacera utilizado en la turbina GR-201T es el llamado Kingsbury; que consiste en un collar asegurado al eje del rotor y de --

unos segmentos fijos de forma parecida a riñones que absorben los empujes a través del collar. Estos segmentos están contruidos e instalados de tal manera que pivotean ligeramente permitiendo formar una película de aceite entre ellos y el collar; el empuje total está repartido entre los segmentos (ocho a cada lado del collar), y tienen cara revestida de metal antifricción.

La turbina GE-201T tiene una chumacera axial y se encuentra colocada del lado de alta presión.

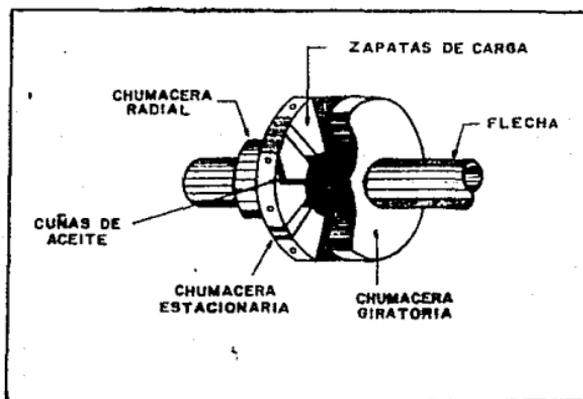


FIG.9. PARTES QUE INTEGRAN LA CHUMACERA AXIAL.

#### Válvula de admisión.-

El vapor entra a la cámara de vapor a través de la válvula de admisión y es dirigido hacia los álabes móviles por medio de los álabes directrices. Cuando se reduce la carga en la turbina se necesita menos vapor para mantener su velocidad, por lo tanto, la válvula de admisión cierra por medio de un movimiento de ajuste del gobernador, bajando por consiguiente la presión en la cámara de vapor.

Para tener la óptima eficiencia se debe mantener la máxima presión en la cámara de vapor; cualquier presión inferior producirá una menor eficiencia en la turbina.

Al cerrarse algunas toberas se crea una menor área por la que el vapor fluye, provocando un reprecionamiento en la cámara de vapor, manteniéndose dentro de ésta la presión de óptima eficiencia.

La turbina GE-201T cuenta con una válvula de admisión de vapor compuesta por cinco toberas que deben ser abiertas o cerradas, por medio de una barra alzadora accionada por el gobernador; a carga total todas las válvulas deben ser abiertas y cuando se reduce la carga, el gobernador debe cerrar algunas de ellas.

En esta forma el gobernador regula automáticamente la velocidad de la turbina admitiendo o cerrando vapor a la sección de las toberas.

Puesto que para operar un sistema multivalvular de vapor, se requiere más fuerza que para operar uno de una sola válvula, se utiliza el gobernador relevador de aceite en la turbina GE-201T, además de las ventajas ya citadas en el capítulo I.

#### Válvula de corte rápido.-

Este dispositivo tiene como objeto el de bloquear el flujo de vapor a la turbina en el caso de cualquier anomalía evitándose así daños mayores. Es importante hacer notar que esta válvula no es de control, aunque en turbinas de mediana y gran capacidad (como la GE-201T) son usadas durante el arranque como estrangulamiento, hasta que la turbina alcanza su mínima velocidad de gobierno después de lo cual, deberá ser totalmente abierta.

Las causas que pueden provocar el accionamiento (disparo) de la válvula de corte rápido en la turbina GE-201T son:

- Baja presión de aceite de lubricación

- Falta de aire en la válvula solenoide
- Por alta temperatura en chumaceras
- Por alta vibración
- Por sobrevelocidad

#### Eyectores.-

Un eyector es un equipo de uso común que generalmente se utiliza para disminuir la presión o como en este caso para efectuar un vacío.

Estos eyectores (los que emplean en la turbina GE-201T) producen vacío utilizando vapor de media (19.4 Kgr/cm<sup>2</sup>), el cual a su paso por el eyector provoca una succión que se transmite a la línea por la que entra el aire a los incondensables que se van a extraer.

Estos fluidos se mezclan después con el vapor y la mezcla sale del eyector a través de la descarga.

Los eyectores con que se cuenta constan de una cámara de vapor, por donde entra el vapor de media; una tobera que se utiliza para aumentar la velocidad del vapor; una cámara de succión, por donde entra al eyector el fluido que está siendo succionado y un difusor de sección circular que presenta más o menos en su longitud media, una reducción, en el diámetro de su sección transversal conocida como garganta del difusor y que le da a dicho difusor la forma de un venturi.

Este tipo de eyectores se utilizan para crear vacío y sostenerlo en el sistema y para extraer incondensables del mismo.

Los eyectores no tienen partes móviles y operan por la acción del vapor el cual al pasar por la tobera del eyector extrae el fluido a menor presión mediante una succión que crea dicho vapor expandiéndose.

La turbina cuenta con un eyector de arranque o de vacío inicial, que va a succionar el aire que se encuentra en el interior de la carcasa y posteriormente para mantener este vacío se utilizan dos eyectores

(También conocidos como eyectores de dos pasos) haciendo posible que el sistema opere a menor presión o sea que produzca mayor vacío que un sistema de un solo paso.

El eyector de arranque es del tipo de condensadores barométricos ya que utiliza un equipo que pone en contacto el vapor que sale del eyector con una corriente de agua fría (se llama intercondensador).

Los eyectores que sirven para mantener el vacío en la turbina son del tipo de condensadores de superficie; estos utilizan cambiadores de calor de tipo carcasa y tubos donde una corriente de agua fría circula por dentro de los tubos, por fuera de los tubos pasa el vapor que se condensa en la superficie externa de los fluxes y después es drenado del recipiente inferior que tiene. El condensador del segundo paso tiene un sistema de venteo para liberar a la atmósfera el aire y algunos incondensables que se estén extrayendo mediante el vacío de los eyectores.

También se cuenta con un eyector para extraer los incondensables que se encuentren en la turbina durante su operación; estos incondensables serán mandados a un recipiente llamado gland condenser.

#### Torna-flecha.-

En el lado cople de la turbina GB-201T se provee de un torna-flecha, el motor de este es engranado, el cual mueve un vástago con una cadena silenciosa.

Cuando el vástago está en posición de operación el engranaje del tornillo sinfín gira el rotor alrededor de la rueda dentada de la flecha de la turbina.

Cuando la flecha no está en servicio, el vástago es empujado a un lado para desenganchar el engranaje del gusano.

El torna-flecha va a funcionar principalmente en dos periodos de operación de la turbina:

- a) Cuando se va a iniciar la secuencia de arranque; ya que, éste va a ayudar a la turbina a perder la inercia en la que se encuentra para ir introduciendo vapor de media para empezar a rodar la turbina.
- b) Cuando existe un paro, ya sea de emergencia o programado; esto se hace con el fin de que el rotor de la turbina se enfríe paulatinamente para que este no sufra un temple que pueda afectar sus propiedades mecánicas.

#### Auxiliares del condensador de superficie.-

El condensador de superficie de la turbina GF-20LT cuenta esencialmente con dos bombas:

- 1.- La bomba de condensado
- 2.- La bomba de agua de circulación

La bomba de condensado o también llamada en este caso de pozo caliente es del tipo centrífugo, vertical (GA-206/S). Aunque la cantidad de condensado varía con la carga, esta bomba funciona a una velocidad constante, lográndose la regulación del caudal, en cargas pequeñas recirculando el condensado. Esto se hace automáticamente por medio de una tubería de paso lateral (By Pass), que va de la descarga de la bomba al depósito de agua del condensador; en donde existe una válvula de control automático.

La bomba de agua de circulación o agua de enfriamiento (BA36BOIC) se encuentra instalada en una torre de enfriamiento, localizada en la Planta Fraccionadora del Complejo, la cual también es una bomba centrífuga vertical.

El agua de enfriamiento actúa sobre el condensador de superficie, provocando la condensación del vapor a la descarga de la turbina.

**CAPITULO III.- ASPECTOS TERMODINAMICOS**  
**(CICLO DE VAPORES)**

Como todos sabemos el vapor es agua en su estado gaseoso. Cuando esta seco es un gas incoloro e invisible.

Podemos clasificar el vapor en húmedo, seco o saturado y sobrecalentado.

Llamamos vapor húmedo al que se encuentra mezclado con finísimas -- partículas de agua y es el que vemos de color blanco cuando observamos un escape en una tubería.

El vapor saturado es el vapor que se genera al hervir el agua en -- una caldera, tiene la misma temperatura del agua de la caldera y esta depende de la presión de la misma. A esta temperatura se le llama "de -- saturación" el vapor saturado contiene una cierta cantidad de humedad; este porcentaje de agua, determina la calidad del vapor.

El vapor sobrecalentado utilizado en la turbina GE-201T es un vapor seco, cuya temperatura se ha elevado arriba de la temperatura de saturación.

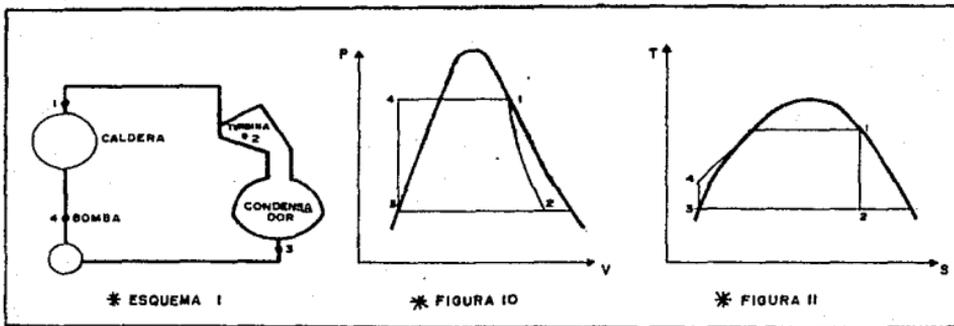
El vapor sobrecalentado adquiere este aumento de temperatura a su paso por los tubos del sobrecalentador (PA-601), o sea, fuera del contacto con el agua.

La potencia de la turbina de vapor depende de la presión, temperatura y volúmen del vapor. Igualmente, mientras menos porcentaje de humedad tiene el vapor puede efectuar una mayor cantidad de trabajo.

Bajo este punto de vista el uso de vapor sobrecalentado presenta más ventajas que el uso de vapor saturado; estas ventajas son:

- 1.- Contiene una mayor energía calorífica por unidad de peso, por el que necesita menor cantidad de vapor para efectuar un mismo trabajo.
- 2.- La ausencia de humedad reduce la pérdida de fricción en tubería y además prolonga la vida de los álabes de la turbina.

El ciclo Rankine es el ciclo básico ideal de las turbinas de vapor;



ESQUEMA. I. CICLO RANKINE IDEAL DE LAS TURBINAS DE VAPOR.

FIG. IO. DIAGRAMA PRESION - VOLUMEN A PARTIR DEL ESQUEMA I.

FIG. II. DIAGRAMA TEMPERATURA ENTROPIA DEL ESQUEMA I.

F.E.S. CUAUTITLAN (UNAM)

RUBEN RUIZ RODRIGUEZ.

\*

cuyos diagramas presión-volumen y temperatura-entropía explican su generación a partir del esquema 1, figuras 10 y 11.

El vapor saturado seco descargado por la caldera a una presión  $P_1$  es suministrado a la turbina, en donde se expande isentrópicamente -- hasta la presión  $P_2$ . En el condensador se transforma el vapor húmedo, isobárica e isotérmicamente, en líquido saturado mediante remoción de calor.

Puesto que la presión en el condensador  $P_2 = P_3$  es mucho menor que la presión de vapor en la caldera  $P_4 = P_1$ , el líquido se bombea isentrópicamente hasta alcanzar la presión  $P_4$ . El líquido comprimido es suministrado a la caldera, en donde se calienta primero hasta la presión de saturación correspondiente a la presión  $P_1$  y después se evapora hasta transformarse finalmente en vapor saturado seco para terminar el ciclo termodinámico.

La eficiencia térmica de este ciclo Rankine ideal puede obtenerse recurriendo a la primera ley de la termodinámica. Esto es:

$$Wt = h_1 - h_2$$

$$Wb = h_4 - h_3$$

$$W_{\text{neto}} = Wt - Wb$$

$$y \quad q_{c1} = h_1 - h_4$$

En consecuencia:

$$\eta = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_4)} \dots (1)$$

La diferencia de entalpía en el proceso isentrópico 3-4 puede calcularse a través de la expresión,

$$Wb = h_4 - h_3 = \int v dp = U_3 (P_4 - P_3)$$

El trabajo requerido por la bomba es generalmente muy pequeño com-

parado con el trabajo desarrollado por la turbina. De aquí que generalmente la expresión (1) generalmente se simplifique así:

$$\eta = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_3}$$

La eficiencia térmica del ciclo puede incrementarse aumentando la entalpía del vapor suministrado a la turbina.

Dicha entalpía es incrementada aumentándose la temperatura del vapor de la caldera. Este calentamiento es logrado mediante el empleo del sobrecalentador BA-601 el cual permite aumentar isobáricamente la entalpía del vapor, transformándolo en vapor sobrecalentado.

La figura 12. ilustra en forma esquemática el ciclo Rankine con sobrecalentamiento.

El trabajo desarrollado por el ciclo se incrementa por el área  $x-1-2-a-x$ , y el calor transferido por el sobrecalentador por el área  $x-1-2'-a'-x$ , aumentándose así la eficiencia térmica del ciclo. Obsérvese que el título del vapor descargado por la turbina también se incrementa, o en otras palabras, la humedad disminuye.

En la turbina CR-201T también es incrementada la eficiencia térmica del ciclo disminuyendo la entalpía del vapor a la descarga de la turbina.

Esta disminución es lograda disminuyendo la presión de operación en la condensación, aunque ésta disminución está limitada, ya que si se excede trae como consecuencia un aumento en la humedad del vapor descargado por la turbina.

Esta consecuencia es significativa si se considera que una humedad excesiva en los últimos pasos de la turbina origina una disminución en el rendimiento de ésta y puede dar origen a la erosión de los álabes.

La eficiencia del ciclo Rankine puede incrementarse también aumen-

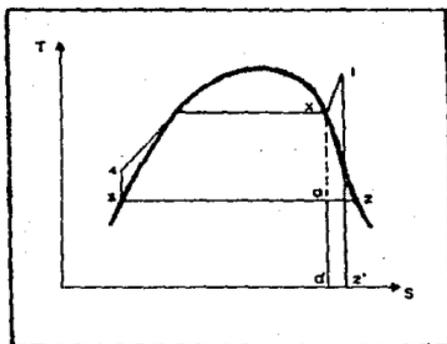
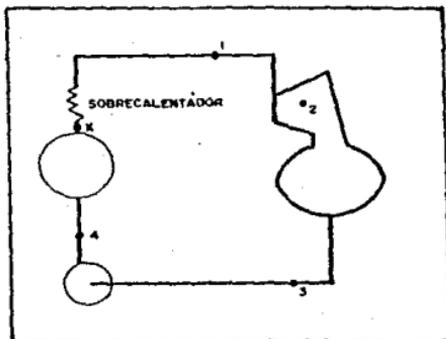


FIG. 12 CICLO RANKINE IDEAL CON  
SOBRECALENTAMIENTO

FES. CUAUTITLAN (UNAM)

RUBEN RUIZ RODRIGUEZ.

FIGURA 12.

tando la presión de operación en la caldera, como aparece en la figura 13. Sin embargo, un aumento en la presión de operación de la caldera - origina un mayor grado de humedad en los pasos finales de la turbina.

Este problema puede resolverse haciendo uso del recalentamiento, en donde el vapor de alta presión procedente de la caldera se expande - sólo parcialmente en una parte de la turbina, para volver a recalentarlo en la turbina, en donde se expande hasta la presión del condensador.

Un ciclo ideal con recalentamiento y su correspondiente diagrama - temperatura - entropía aparece en la figura 14. Observese en esta figura que el ciclo Rankine con sobrecalentamiento solamente, sería más eficiente que el ciclo con recalentamiento, si en el primero fuera posible calentar el vapor hasta el estado 1' sin recurrir en el problema de materiales. (El recalentamiento entre pasos no es desarrollado en la turbina GE-201T, ya que la eficiencia de ésta es óptima).

La humedad existente en el vapor de agua saturado puede ser debida a varias causas. Cuando el vapor circula por tuberías puede experimentar una pérdida de calor por convección y radiación, de forma que pierde parte de la entalpía de vaporización, y como consecuencia, se forman en el vapor partículas de agua. Por otra parte la generación del vapor puede haber sido imperfecta, bien sea por falta de condiciones del generador, ebullición demasiado intensa o alimentación defectuosa del agua de la caldera.

La cantidad de vapor seco por kilogramo de vapor húmedo es el título del vapor. El título  $x$  del vapor se puede expresar como porcentaje o por una fracción decimal.

Cuando el título del vapor se expresa como fracción decimal, el volumen específico  $v_{g^w}$  del vapor de agua saturado húmedo vale:

$$v_{g^w} = v_f + x(v_g - v_f) \quad x = \frac{v_{g^w} - v_f}{v_g - v_f}$$

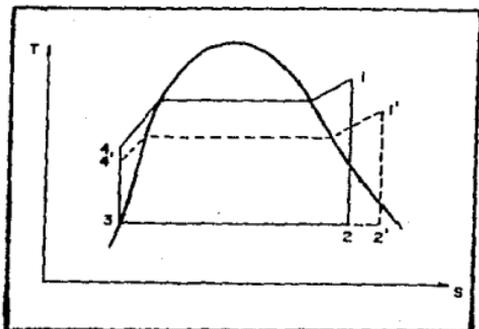


FIG. EFECTO DE LA PRESION DE OPERACION  
13.  
DE LA CALDERA EN UN CICLO RANKINE

IDEAL.

FES. CUAUTITLAN (UNAM)

RUBEN RUIZ ROQUEZ.

FIGURA 13.

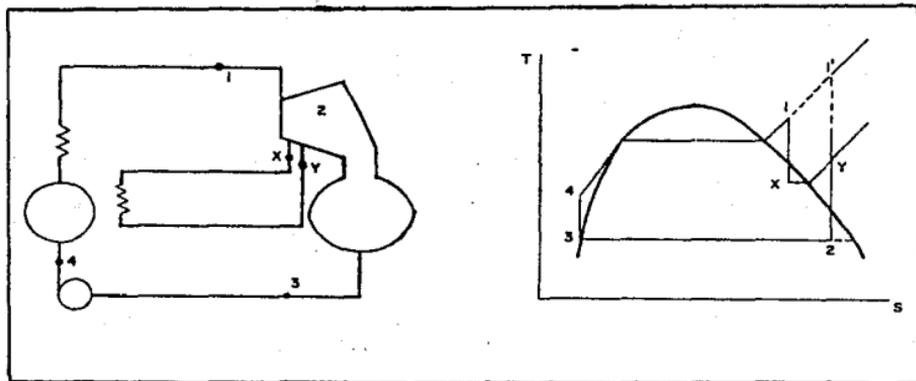


FIG.14. CICLO RANKINE IDEAL CON RECALENTAMIENTO.

FES. CUAUTITLAN (U.N.A.M)

RUBEN RUIZ RODRIGUEZ.

FIGURA 14

En esta fórmula  $U_f$  y  $U_g$  se sacan de las tablas del vapor de agua correspondientes a las propiedades del vapor saturado seco para las presiones reinantes en cada caso. Cuando se conoce  $U_g$  puede reemplazarse a  $(U_g - U_f)$ . La densidad del vapor es recíproco de  $U_g$ .

La sequedad o calidad del vapor de agua saturado se determina por medio de calorímetros especiales.

Los tipos de calorímetros más corrientes son: El de separación y el de estrangulación o recalentamiento. Cuando el título del vapor es bajo y cuando el grado de exactitud de la determinación ha de ser elevado se utiliza en calorímetros en los que se combinan las características de los tipos mencionados.

En todas las determinaciones el título de un vapor se obtiene con el calorímetro aislado térmicamente, y por otra parte, la muestra de vapor tomada debe ser representativa del vapor cuyo título se trata de determinar.

Los calorímetros del tipo de separación se basan en separar la humedad del vapor húmedo que entra en el aparato. En éste caso es necesario medir el peso de la humedad recogida en forma de agua y el peso del vapor seco que sale del calorímetro. Los calorímetros del tipo de separación se utilizan para determinar el título de vapor de agua muy húmedos y de los de baja presión. Expresión del título en forma de fracción decimal es la siguiente:

$$X = \frac{m_{ds}}{m_{ds} + m_m}$$

Los calorímetros del tipo de estrangulación se fundan en que si el vapor se estrangula y a continuación se expande sin realizar trabajo y sin pérdida de calor, la energía total del vapor permanece invariable.

Las pérdidas por radiación deben reducirse a un mínimo, y para ello, el calorímetro y el conducto de unión a la tubería de vapor han de estar

completamente aislados térmicamente.

En el supuesto de que la energía total del vapor permanezca invariable en la expansión y la humedad del mismo no sea excesiva, se evaporará y el vapor en el lado de baja presión del calorímetro quedará recalentado a la presión que ahí existe. En estas condiciones puede establecerse la relación siguiente: la entalpía total del vapor saturado húmedo antes de la expansión ( $h_f + \chi h_{fg}$ ) es igual a la entalpía total  $h$  del vapor recalentado después de la expansión. En forma de ecuación, puede escribirse:  $h_f + \chi h_{fg} = h$ , y

$$\chi = \frac{h - h_f}{h_{fg}}$$

Cuando el vapor lleva agua en suspensión, las variaciones de entropía total y las correspondientes a la vaporización son inferiores a las consignadas en las tablas del vapor seco. El calcular la entalpía total de un kilogramo de vapor húmedo, afecta al título del vapor solamente en la entalpía de vaporización. Por lo tanto, cuando se calcula la variación de entropía de un kilogramo de agua convertida en vapor húmedo, hay que multiplicar la entropía de vaporización por el título del vapor expresado en fracción decimal. La variación de entropía total será:

$$S_{gw} = S_f + \chi S_{fg} \quad y,$$

$$\chi = \frac{S_{gw} - S_f}{S_{fg}}$$

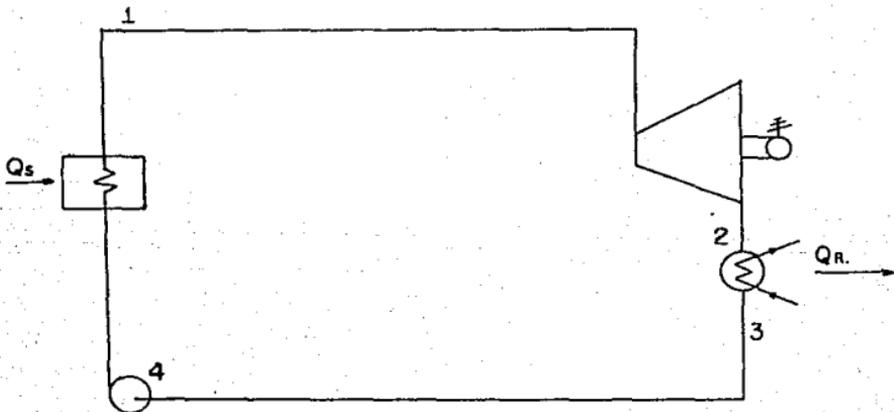
### C A L C U L O

Cálculo del Ciclo Rankine de simple condensación manejado en la turbina GE-201T.

El ciclo opera con vapor de  $42.10 \text{ KG/cm}^2$  y  $391.9^\circ\text{C}$ . La presión en el condensador es  $640.2 \text{ mmHg}$ .

Determinar:

- El trabajo de la bomba en  $\text{Kcal/Kg}$ .
- El calor suministrado en  $\text{Kcal/Kg}$ .
- El calor rechazado en  $\text{Kcal/Kg}$ .
- El trabajo neto en  $\text{Kcal/Kg}$ .
- El trabajo de la turbina en  $\text{Kcal/Kg}$ .
- La energía cargada a la turbina en  $\text{Kcal/Kg}$ .
- La eficiencia del ciclo en %
- La eficiencia de la turbina en %



D A T O S

$$T_1 = 389.9^\circ \text{C}$$

$$P_1 = 42.18 \text{ Kg/cm}^2$$

$$T_2 = 60^\circ \text{C}$$

$$P_2 = 646.2 \text{ mm Hg.}$$

- a) Calcular el trabajo de la bomba.

$$\frac{W_B}{J} = h_4 - h_3$$

$$\frac{W_B}{J} = \frac{V_1}{J} (P_1 - P_2)$$

- b) Calor suministrado

$$Q_S = h_1 - h_4$$

- c) Calor rechazado

$$Q_R = h_2 - h_3$$

- d) El trabajo neto

$$\frac{W}{J} = Q_S - Q_R$$

- e) El trabajo de la turbina.

$$\frac{W_T}{J} = h_1 - h_2$$

- f) La energía cargada de la turbina.

$$ECT = h_1 - hf_2$$

- g) La eficiencia del ciclo en %

$$\eta_c = \frac{W}{Q_S} \times 100$$

- h) La eficiencia de la turbina en %

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - hf_2} \times 100$$

$$T_1 = 398.9^\circ \text{C} \quad P_1 = 42.18 \text{ KG/cm}^2 = 42180 \text{ KG/m}^2$$

$$T_2 = 60^\circ \text{C} \quad P_2 = 646.2 \text{ mm Hg} = 0.878 \text{ KG/cm}^2 = 8780 \text{ KG/m}^2$$

$$760 \text{ mm Hg} - 1.033 \text{ KG/cm}^2$$

$$646.2 \text{ mm Hg} - X$$

a) Trabajo de la bomba.

Con  $P_2 = 0.878 \text{ KG/cm}^2$  de tabla de temperaturas (Vapor saturado seco).

$$\text{Volumen específico} - v_3 = .0010377 \text{ m}^3/\text{KG}.$$

$$0.806 \text{ --- } 0.0010360$$

$$0.878 \text{ --- } v_3 \quad \text{Interpolando}$$

$$0.988 \text{ --- } 0.0010404$$

$$\frac{W_p}{J} = \frac{v_3}{J} (P_1 - P_2) \quad J = 427 \text{ Kgm. Kcal}$$

$$\frac{W_p}{J} = \frac{0.0010377}{427} (42180 - 8780)$$

$$\frac{W_p}{J} = 1.004 \text{ Kcal/KG}$$

b) Calor suministrado

$Q_3 = h_1 - h_4$  de la tabla de temperaturas (Vapor saturado seco).

$$\text{Con } P_2 = 0.878 \text{ KG/cm}^2$$

Tenemos:  $h_f = 96.29 \text{ Kcal/KG}$ .

$$h_4 = \frac{W_p}{J} \cdot h_f$$

$$h_4 = 1.004 + 96.29 = 97.29$$

Interpolando

$$0.806 \text{ --- } 24.07$$

$$0.878 \text{ --- } hf_2 \text{ --- } 96.29$$

$$0.988 \text{ --- } 59.70$$

de la tabla de vapor recalentado con  $P_1 = 42 \text{ Kg/cm}^2$  y  $T = 398.9^\circ\text{C}$

Interpolando

$$h_1 = 756.6 \text{ --- } T_1 = 371.1$$

$$772.486 \text{ --- } h_1 \text{ --- } T_1 = 398.9^\circ\text{C}$$

$$h_1 = 788.3 \text{ --- } T_1 = 426.6$$

$$Q_G = h_1 - h_4 = 772.486 - 97.29$$

$$Q_G = \frac{675.19 \text{ Kcal/Kg.}}{2.222222222222222}$$

o) Calor rechazado.

$$Q_R = h_2 - h_3$$

$$\text{Como } h_2 = hf_2 + X_2 \quad hf_{G2} \text{ y } h_3 = hf_2 = 96.29 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$\text{do donde} \quad X_2 = \frac{S_2 - SF_{G2}}{SF_{G2}}$$

del diagrama Temperatura - entropía tenemos que:

$$S_1 = S_2$$

$$\text{Por lo tanto de } P_1 = 42 \text{ Kg/cm}^2, \quad T = 398.9^\circ \text{ C}$$

de la tabla de vapor sobrecalentado

Interpolando

$$s_1 = 1.5875 \text{ --- } T_1 = 371.1$$

$$1.5641 \text{ --- } S_1 \text{ --- } T_1 = 398.9$$

$$s_1 = 1.6343 \text{ --- } T_1 = 426.6$$

$$S_1 = 1.5641 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Con  $P_1 = 0.878 \text{ Kg/cm}$  de la tabla de temperaturas (vapor saturado seco).

Interpolando

$$\begin{array}{l} S_{f_2} = 0.293\text{E} \text{ ---- } P_2 = 0.806 \text{ ---- } S_{fg_2} = 1.4624 \\ 0.299\text{E} \text{ ---- } S_{f_2} \text{ ---- } P_2 = 0.878 \text{ ---- } S_{fg_2} \text{ ---- } 1.4699 \\ S_{f_2} = 0.3090 \text{ ---- } P_2 = 0.981 \text{ ---- } S_{f_2} = 1.4500 \end{array}$$

Por lo tanto

$$X_2 = \frac{S_2 - S_{f_2}}{S_{fg_2}}$$

$$X_2 = \frac{1.541 - 0.299\text{E}}{1.4699} = 0.86$$

$$X_2 = 86\% \text{ (Calidad del vapor)}$$

$$h_2 = hf_2 + X hf_{g_2}$$

$$\text{Para } P_2 = 0.878 \text{ Kg/cm}^2$$

$$hf_2 = 96.29 \text{ Kcal/Kg}$$

$$hf_{g_2} = 546.189 \text{ Kcal/Kg.}$$

Interpolando

$$\begin{array}{l} hf_{g_2} = 547.6 \text{ ---- } P_2 = 0.806 \\ 546.189 \text{ ---- } hf_{g_2} \text{ ---- } P_2 = 0.878 \end{array}$$

$$hf_{g_2} = 544 \text{ ---- } P_2 = 0.98\text{E}$$

$$h_2 = 96.29 + 0.86 ( 546.189)$$

$$h_2 = 566 \text{ Kcal/Kg}$$

$$\text{Como } h_3 = hf_2 = 96.29 \text{ kcal/Kg.}$$

$$Q_H = 566 - 96.29$$

$$Q_H = 469.71 \text{ Kcal/Kg.}$$

- d) El trabajo neto.

$$\frac{W}{J} = h_1 - h_2$$

$$\frac{W}{J} = 675.19 - 469.71$$

$$\frac{W}{J} = 205.48 \text{ Kcal/Kg}$$

- e) El trabajo de la turbina.

$$\frac{W_T}{J} = h_1 - h_2$$

$$\frac{W_T}{J} = 772.48 - 96.29$$

$$\frac{W_T}{J} = 676.19 \text{ Kcal/Kg}$$

- f) La energía cargada a la turbina.

$$ECT = h_1 - hf_2$$

$$ECT = 772.48 - 96.29$$

$$ECT = 676.19 \text{ Kcal/Kg}$$

- g) La eficiencia del ciclo en %

$$\eta_{tc} = \frac{W}{Q_1} = \frac{W}{h_1 - h_{f1}}$$

$$\eta_{tc} = \frac{675.19 - 469.71}{675.19} = 0.31$$

$$\eta_{tc} = 31\%$$

- h) la eficiencia de la turbina en %

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{f2}}$$

$$\eta_t = \frac{772.48 - 96.29}{772.48 - 96.29} = 0.31$$

$$\eta_t = 31\%$$

**CAPITULO IV.- INSTALACION Y REVISION MECANICA DE LA  
TURBINA**

### Instalación del equipo.-

El suministro inadecuado de materiales y equipo necesario para una buena instalación, suelen ser un impedimento para la operación segura - de una máquina.

Por estas razones es necesario realizar un programa específico de mantenimiento, el cual, conduzca a la obtención de la máxima eficiencia de la turbina de vapor GB-201T y ayudará a eliminar periodos innecesarios de paradas.

La turbina GB-201T es una máquina de precisión y debe ser operada como tal, muchos equipos de estas características se instalan en lugares inaccesibles y son prácticamente olvidados hasta que aparecen los problemas.

Por lo anterior, en el presente estudio se darán los pasos a seguir para que esto no suceda.

Localización.- Para proporcionar un buen mantenimiento debe localizarse, o seleccionarse un local limpio y bien iluminado, con suficiente espacio para acomodar las piezas que sea necesario desmontar.

A menudo las turbinas están localizadas de tal manera que es imposible darles mantenimiento, ya que los espacios en los que se encuentran son demasiado reducidos, lo cual implica hacer maniobras extras aumentando con esto los costos, por lo que de antemano se deben proporcionar los dibujos y croquis de cimentación mostrándo los espacios necesarios para darles servicio.

La turbina GB-201T se encuentra localizada en un lugar que le proporciona protección contra el mal tiempo, llamado "casa de turbocompresores", que se encuentra limpio y bien alumbrado de suficiente espacio, permitiendo con esto la rápida inspección.

Así mismo se cuenta con una grúa montacargas con una capacidad para levantar 20 toneladas, que se ha dispuesto de tal manera que no puede mo

ver a posiciones diversas sobre cualquier parte de la turbina.

Cimentación.- Aún cuando la turbina de vapor GE-201T es enteramente independiente, está sujeta como toda máquina a cierta vibración, por lo que se debe asegurar que la cimentación sea adecuada.

La función principal de la cimentación es proveer un soporte rígido y sin pandeos. Debe cumplir los siguientes pasos:

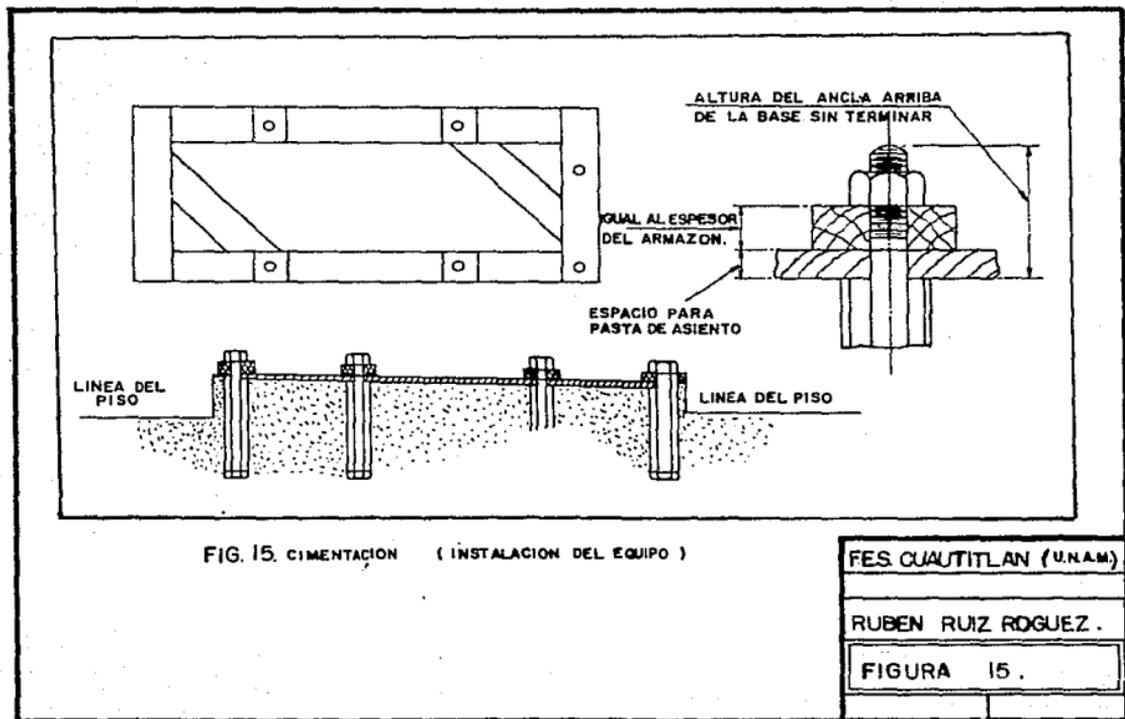
- a) Mantendrá alineada a la turbina GE-201T apropiadamente en todas las condiciones de operación, con su equipo conducido.
- b) Soportar el peso de la máquina y lo debe distribuir uniformemente e igualmente en el terreno.
- c) Mantener los sitios del equipo estables.
- d) Reducir la transmisión de trepidación a otras máquinas.

Chequeo del cimiento.- Antes de instalar la turbina, se confirman los siguientes detalles:

- a) La posición y dimensiones de los tornillos de anclaje.
- b) La posición y dimensiones del cimiento.
- c) Localización y posiciones relativas de los dispositivos.

Tornillos de anclaje.- Para situar los tornillos de anclaje es necesario hacer una plantilla de madera para definir temporalmente la posición de dichos tornillos, de acuerdo con las dimensiones dadas en el plano de cimentación. Fije la plantilla en la posición exacta que va a ocupar la turbina de vapor, dejando espacio para la pasta de asiento (debido al peso y a las dimensiones de la turbina de vapor GE-201T, además de la prevención de vibraciones es necesario aplicar para el colado una mezcla -- llamada ceilecote a base de un catalizador clasificado como Grout 6:8 y -- su endurecedor). Fig.15.

El siguiente paso consiste en sujetar los tornillos de anclaje a la plantilla, de manera que se pasen hasta el interior de la cimentación.



Colocación.- Después de haber terminado la cimentación de acuerdo con los dibujos del arreglo general y de cimentación y de que la lechada haya fraguado, la base está lista para recibir a la turbina GB-201T.

Primero se quita la plantilla y se limpia la superficie de la cimentación perfectamente. Enseguida se saca el relleno que se colocó al rededor de los tornillos. Luego se colocan unos gatos mecánicos cerca de cada uno de los tornillos de anclaje para soportar al pedestal - - aproximadamente 1 1/2" arriba de la cimentación; esto se hace de la siguiente manera:

Se tiene el soporte de la turbina; en él se hacen una serie de barrenos como se indicó anteriormente, cerca de cada uno de los tornillos de anclaje, sobre estos se suelda una tuerca, para que de esta manera se enrosque el gato mecánico (tornillo de 3" de diámetro), y se levante el pedestal a 1 1/2" como anteriormente se mencionó, para poder suministrar la pasta de asiento.

La turbina GB-201T se encuentra nivelada con respecto al pedestal desde que se mandó de la fábrica, por lo que es necesario colocarla en la posición más nivelada posible arriba de la cimentación, asegurándose de haber removido la tierra, basuras, etc; además de haber picado perfectamente la base para que se adhiera perfectamente la pasta de asiento (Grout).

Luego es bajada la unidad sobre los tornillos de anclaje (es importante que se introduzcan pequeñas placas de acero entre la base y los barrenos de los gatos mecánicos, para que cuando se dé la nivelación final, el pedestal no sufra desequilibrios debido al picado de la base).

Se empiezan a girar los gatos de manera que todos ajustan bien y estén en su posición correcta, soportando la unidad aproximadamente a nivel y dejando suficiente espacio para la pasta de asiento. Enseguida son quitadas las cadenas de elevación.

### Nivelación y alineación.--

Estádo descansada la turbina GE-201T sobre los gatos mecánicos se verifica que está perfectamente nivelada. Para esto se coloca un indicador de nivel de precisión sobre el pedestal; este nos indicará el posible declive en él.

Después de nivelar la bancada, deben hacerse llegar a su asiento todas las tuercas de los tornillos de anclaje, pero no deben apretarse. Es muy importante que la bancada sea instalada lo más exactamente posible, de manera que después de que se haya terminado la operación de colocación de Grout puedan apretarse las tuercas de los tornillos de anclaje sin introducir esfuerzos deformantes.

Pasta de asiento (Grout).-- Antes de aplicar la pasta de asiento, debe construirse una forma o represa en la parte superior de la cimentación, circundando completamente la base de la turbina. Esta forma debe extenderse alrededor de 1" a 1 1/2" más allá del perímetro exterior de la turbina y debe ser suficientemente alta (alrededor de 1 1/2") para que por lo menos 1/2" de la pasta sobrepase el borde inferior de la base de la turbina GE-201T.

Se recomienda pintar toda la base de cimentación con pintura resistente al agua y al aceite, de buena calidad.

Después de todo lo anterior, se procede a la colocación de las placas de asentamiento, que sirven de asiento para las diferentes partes de la turbina.

Como anteriormente se indicó la turbina de vapor GE-201T, llegó al Complejo Petroquímico Morelos, nivelada con respecto al pedestal, pero, ésta posee una serie de cálzas o lamas, entre el pedestal y ella, para dar los últimos ajustes al nivel o nivelación.

Antes de colocarlas, debieron ser limpiadas de polvo y sucia, aplicándoles para su limpieza un poco de turbosina; ya hecha la limpieza de

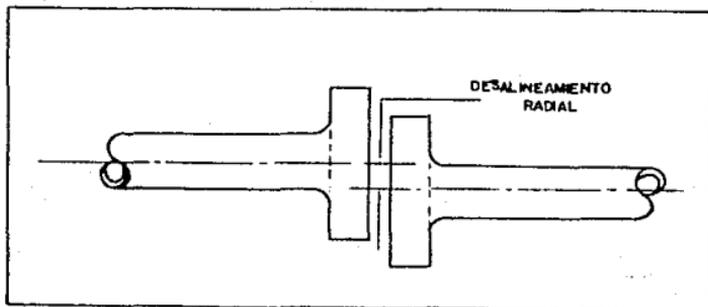


FIG. 16. DESALINEAMIENTO RADIAL

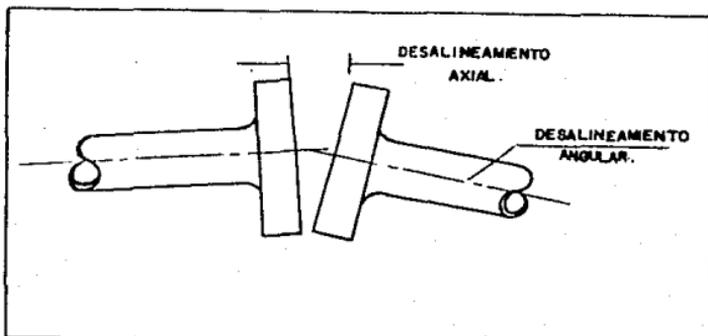


FIG. 17. DESALINEAMIENTO AXIAL.

FES. CUAUTITLAN (UN.A.M.)

RUBEN RUIZ RDGUEZ.

FIGS. 16 Y 17.

las linternas se toman las medidas de los espesores de estas piezas, obteniéndose para este caso espesores que van desde 0.009" hasta 0.271".

Alineación.- Para que un equipo opere correctamente, es vital que la alineación se lleve a cabo conforme lo exijan las normas del fabricante.

Si por algún error ésta no se llevara a cabo como se especifica, - las consecuencias no se harían esperar cuando el equipo estuviera funcionando, traería como consecuencia una alta vibración y por ende, el disparo de la unidad.

Se debe entender también que en la alineación, se alinean flechas no coplos, estos últimos sirven únicamente para efectos de apoyo para los indicadores de carátula.

Las lecturas que se obtienen dentro de la desalineación son las que se mencionan a continuación.

- a) Radial.- Es la distancia que existe entre los ejes paralelos de dos flechas. Fig.16.
- b) Axial.- Es el ángulo que forman los ejes de las máquinas en el plano del acoplamiento, midiéndose estas entre caras del coplo. Fig.17 .

Las lecturas se toman diametralmente tanto vertical, como horizontal del cero del acoplamiento, con giros de la flecha cada  $90^{\circ}$ . Fig.18.

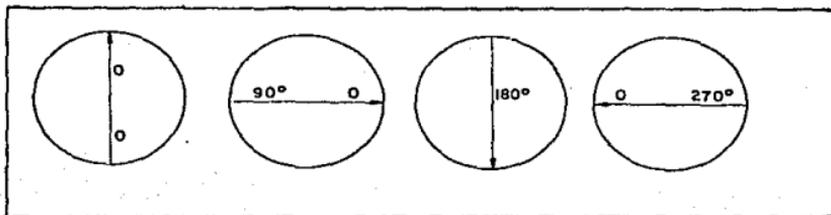


FIG.18. GIROS DE LA FLECHA PARA TOMAR LECTURAS EN LA ALINEACION.

Para tomar las lecturas durante el alineamiento de las máquinas se puede utilizar un lainómetro o un indicador de carátula.

La alineación de la turbina GE-201T con respecto a su equipo accionado se hace de la siguiente manera:

Al recibir la turbina GE-201T en su base, tomando en cuenta todos los parámetros indicados por el fabricante y también de su equipo accionado, se está logrando una prealineación; ésta se verifica y suponiendo que se encuentran desalineados se corrige de la siguiente manera:

- 1.- Se cuantifica el desalineamiento radial y axial en milésimas de pulgada ó en centésimas de milímetro.
- 2.- Se calculan los movimientos necesarios en las máquinas y los cambios de calzas bajo sus bases o pedestales para corregir el desalineamiento encontrado.

-Determinación del desalineamiento de las flechas desalineadas.-

Se hace una marca coincidente en ambos coples, para indicar el punto de partida. Normalmente junto o en la marca se grava un cero del acoplamiento.

Las lecturas se toman para las posiciones indicadas en la fig.18

Las lecturas se toman después de girar las 2 flechas y haber hecho coincidir las marcas de los coples.

El giro de las flechas debe hacerse en la misma dirección de la rotación de la unidad.

-Lecturas radiales.- Para este caso se utiliza un micrómetro indicador, fije en el cople de la turbina GE-201T y el botón detector apoyado en el cople del compresor, de la manera siguiente: (figura 19).

Cuando el detector se acerca al indicador; en este caso la lectura en la carátula es positiva, y negativa cuando se aleja. La carátula es ajustable y puede ponerse la manecilla en cero para cualquier posición del botón.

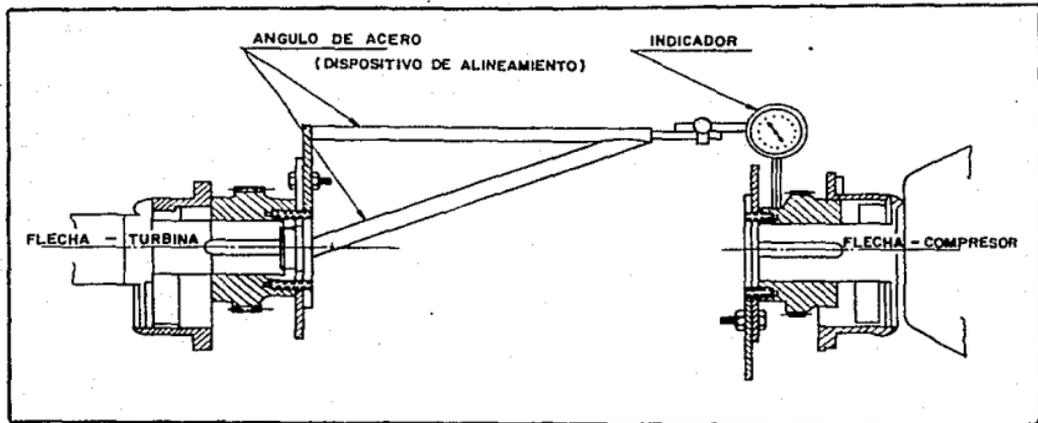


FIG. 19. ALINEACION DE LA TURBINA GB-201T CON RESPECTO AL COMPRESOR.

FES. CUAUTITLAN (U.N.A.M.)

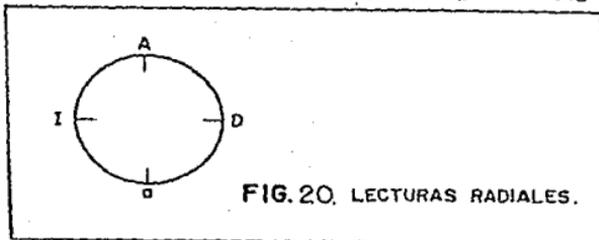
RUBEN RUIZ RODRIGUEZ.

FIGURA 19.

Lecturas radiales (nomenclatura).

Se requieren 4 lecturas como se indica en la siguiente figura:

(figura 20).



A= Lectura radial con el cero del acoplamiento arriba.

a= Lectura radial con el cero del acoplamiento abajo.

I= Lectura radial con el cero del acoplamiento a la izquierda.

D= Lectura radial con el cero del acoplamiento a la derecha.

Siempre la suma algebraica de las lecturas radiales verticales es igual a la suma algebraica de las lecturas radiales horizontales.

$$A+a = I + D$$

El valor del desalineamiento se determina haciendo la semidiferencia algebraica de las lecturas diametralmente opuestas.

$$V = \frac{A-a}{2}$$

$$H = \frac{I-D}{2}$$

Lecturas axiales o angulares.— El desalineamiento puede determinarse midiendo el ángulo  $\alpha$  y la dimensión E. La primera es difícil de medir y es inexacto. La dimensión E, es fácil de medir utilizando los mismos instrumentos que se requirieron para tomar las lecturas radiales.

Se mide en la dirección axial, como se indica en la figura: (figura 21).

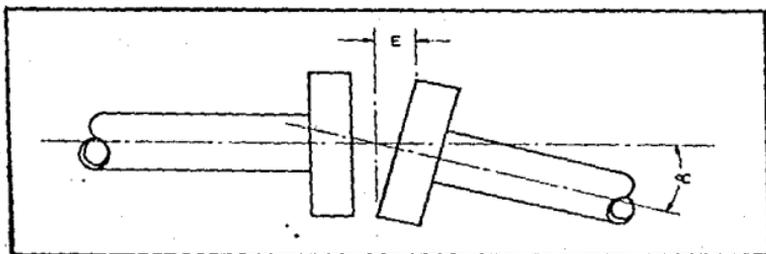


FIG. 21. DESALINEAMIENTO AXIAL ( ANGULO  $\alpha$  Y DIMENSION E ).

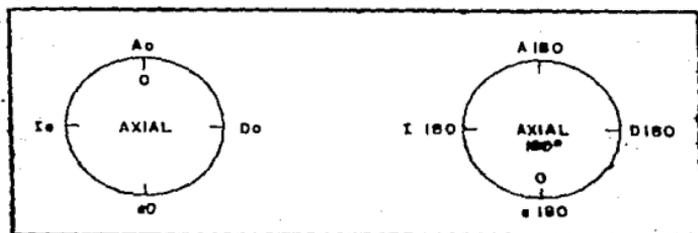


FIG 22. DESALINFAMIENTO AXIAL (LECTURAS)

FES. CUAUTITLAN (UNAM)

RUBEN RUIZ RODRIGUEZ.

FIGS. 21. Y 22.

Desde luego el desalineamiento axial puede ser vertical, horizontal y combinado como es lo más común.

Las lecturas también se toman en las 4 direcciones principales: arriba, abajo, a la izquierda y a la derecha del acoplamiento.

Se requieren solamente lecturas en 2 posiciones del acoplamiento, con el 0 arriba y a 180° Figura 22.

Si las flechas de ambas máquinas durante el giro a 180° permanecieran en la misma posición axial, los coples describirían planos perpendiculares a las flechas y el desalineamiento sería la diferencia entre las lecturas opuestas:

$$\text{Desalineamiento: } A0^\circ - a 180^\circ = A 180^\circ - A0^\circ$$

Pero en máquinas grandes como la turbina de vapor GE-201T hay movimientos axiales aún cuando las flechas tengan tejuelos.

$$\text{Desalineamiento } E = A0^\circ - (a 180^\circ - z) \text{ ó } E = (A 180^\circ - z) - A0^\circ$$

Suponiendo que "z" sea este movimiento axial.

$$\text{Sumando } 2E = A0^\circ - a 180^\circ + A 180^\circ - A0^\circ$$

$$E = \frac{A0^\circ + A 180^\circ}{2} - \frac{a0^\circ + a 180^\circ}{2}$$

Se ve que el desalineamiento axial es igual a la diferencia entre la semi-suma de las lecturas de abajo.

Lo expuesto para desalineamiento vertical es igual para desalineamientos horizontales y combinados.

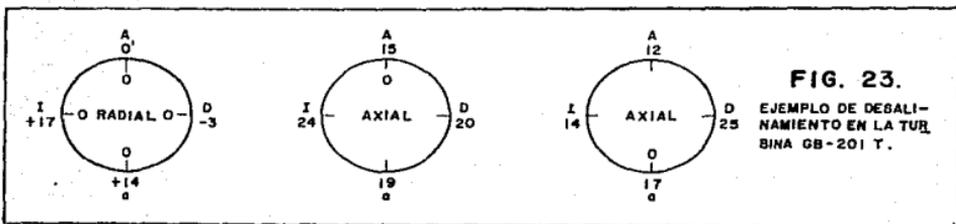
-Corrección del desalineamiento.-

- 1).- Hacer un croquis indicando las distancias longitudinales desde el acoplamiento, hasta las partes de apoyo de las bases de la máquina que se va a mover.
- 2).- Considerando como eje de giro, la parte inferior del acoplamiento; calcular las calzas necesarias bajo las bases para cerrar una milésima o un centésimo de milímetro el acoplamiento.

3.- Con los valores del desalineamiento encontrado, calcular primero las calzas necesarias para corregir el desalineamiento axial vertical, y segundo, las calzas necesarias para corregir el desalineamiento radial vertical. La suma o resta de ellas (según lo indique el desalineamiento) será el total.

4).- Para corregir el desalineamiento horizontal seguir los mismos pasos que en el vertical anterior, con los valores horizontales.

Ejemplo.- Con desalineamiento radial y axial, reloj fijo en el cople de la turbina:



**FIG. 23.**  
EJEMPLO DE DESALINEAMIENTO EN LA TURBINA GB-201 T.

Radialmente

$$A+a = I+D \rightarrow 0+14 = 17-3=14$$

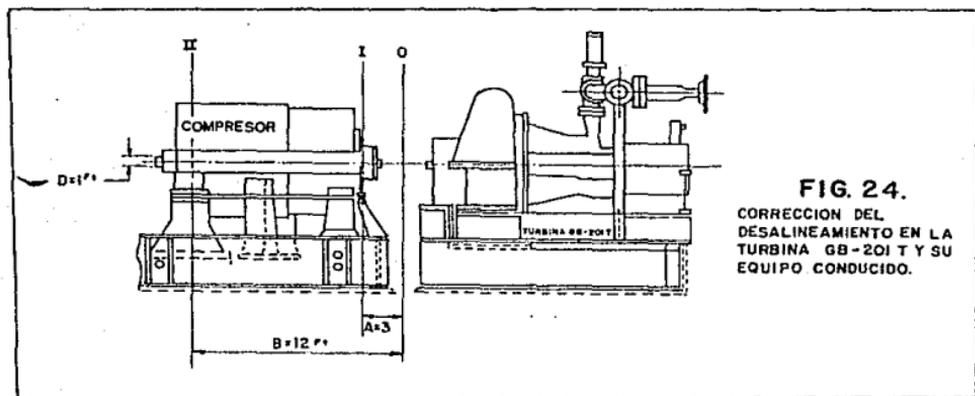
Cople del motor bajo  $\frac{0-14}{2} = 7 = 0.007''$   
 Cople del motor a la izquierda.  $\frac{17-(-3)}{2} = 0.010''$

Axialmente

	A	a	I	D
	15	19	24	20
<u>Suma</u>	<u>12</u>	<u>17</u>	<u>14</u>	<u>26</u>
Resta	27	36	38	46
	<u>9</u>	<u>27</u>		<u>35</u>
	$\frac{9}{2} = 4 \frac{1}{2}''$			$\frac{35}{2} = 17 \frac{1}{2}''$

Acoplamiento abierto abajo  $0.0045''$

Acoplamiento abierto a la derecha  $0.004''$



**FIG. 24.**  
CORRECCION DEL  
DESALINEAMIENTO EN LA  
TURBINA GB-201 Y SU  
EQUIPO CONDUCCION.

Relación de distancias	_____	$\frac{A}{D}$	_____	$\frac{B}{D}$
Axialmente para 1/1000"	_____	3	_____	12

Axialmente vertical

Cerrar abajo \_\_\_\_\_ 4.5 \_\_\_\_\_ -13.5=(4.5x3) \_\_\_\_\_ -54=(4.5x12)

Radialmente vertical

Subir Motor \_\_\_\_\_ 7 \_\_\_\_\_ + 7 \_\_\_\_\_ + 7

SUMA \_\_\_\_\_ - 6.5 \_\_\_\_\_ -47

Axialmente horizontal

Cerrar en la derecha \_\_\_\_\_ 4 \_\_\_\_\_ 12=(4x3) Derecha \_\_\_\_\_ 48=(4x12) Derecha

Radialmente horizontal

Mover a la derecha \_\_\_\_\_ 10 \_\_\_\_\_ 10 Derecha \_\_\_\_\_ 10 Derecha

SUMA \_\_\_\_\_ 22 Derecha \_\_\_\_\_ 56 Derecha

RESUMEN: Retirar 0.0065" en el plano I y retirar 0.047" en el plano II  
Mover el compresor 0.022" a la derecha en el plano I y 0.056" en el p.II

### Revisión mecánica de la turbina de vapor GE-201T.-

El primer requisito para poder efectuar una preparación mecánica eficiente de la turbina de vapor GE-201T, es una inspección de rutina competente. Algunas de las razones para establecer un programa de inspección se enlistan a continuación.

- 1.- Se pueden desarrollar peligros durante la operación de la turbina como resultado de fallas de partes debidas a la corrosión, erosión, lubricación inadecuada, y objetos sólidos o arrastres de líquido que entren a la turbina.
- 2.- El rendimiento de la turbina tiene una importancia fundamental en la capacidad de la planta. La revisión mecánica planeada ayudará a evitar el deterioro de la turbina y ayudará también a mantener el rendimiento total y confiabilidad de la planta.

Los paros de emergencia pueden llevar fácilmente a tomar decisiones precipitadas de parte de los operadores y por consiguiente errores costosos.

Los paros de emergencia son costosos y muy costosos en términos de producción perdida, mientras que un paro programado puede ser coordinado con otros requerimientos de la planta, los paros programados generalmente afectan.

La operación inadecuada se considera también una causa de deterioro de un equipo, tal como el desgaste mecánico y la corrosión. La operación inadecuada incluye velocidad excesiva, falta de lubricación y presiones y temperaturas excesivas.

Se requiere un estudio completo de la turbina antes de su revisión mecánica, para que se obtenga un entendimiento correcto de cada parte.

La inspección del equipo desde su embarque a la planta es de vital importancia, ya que, por ser un equipo de precisión con un valor económico elevado, nos veríamos afectados si éste se recibiera en la planta con alguna avería o falta de alguno de sus componentes interiores.

Ya resueltos los puntos anteriores; se dará a conocer a continuación el proceso que se debe seguir para obtener un funcionamiento óptimo durante la puesta en marcha de la turbina GE-2017, en base a una revisión mecánica programada, de cada una de las partes que la componen.

1.- Cubierta lateral del pedestal del gobernador.-

Desarmar y quitar todos los conductos (tubos), alambreado e instrumentos que se encuentran alrededor de la cubierta. (Cúbranse todos los orificios con cinta adhesiva, quite las horquillas de la palanca de ajuste y desmóntela, desmonte el gobernador. Levante poco a poco la cubierta primeramente por medio de los gatos mecánicos adaptables a la misma, cuidando que no se "columpie" y asiéntela sobre una base de madera y cúbrala con nylon.

Jalar el perno de tope en el extremo del mecanismo del sinfín insertando una barra de acero en uno de los agujeros localizados en el sistema de engranaje del tacómetro y jale el mecanismo del eje. Con esto el rotor se desacopla del mecanismo del eje. Con esto el rotor se desacopla del mecanismo de transmisión del gobernador. Cheque si está en buenas condiciones el engranaje; si no es así cámbielos.

Revise las uniones del gobernador y ponga grasa o aceite-turbina.

2.- Válvula Reguladora.-

Afloje el seguro para desconectar la palanca conectora del pistón del cilindro de aceite.

Quite las tuercas y jale la cubierta de la caja de la válvula y la varilla.

Levante con la grúa viajera y con ayuda de estrobos, la válvula, chequeando que no se deterioraron las cuerdas en los espárragos. Posteriormente bájela y colóquela en un soporte de madera.

Cheque el asiento de la válvula y los discos de cierre y esté seguro de que no hay daños en ellos por materias extrañas, corrosión, erosión, etc. Cheque si hay algún roce en la base del metal, si la hay rectifíquela o cométala a lapendo, hasta que quede uniforme. Cheque la caja de la válvula y su cubierta por si hay rajaduras especialmente en las esquinas.

### 3.- Carcaza.-

Proceda a aflojar las tuercas de la división horizontal. Quite los pernos conicos.

Aplique los gates mecánicos para levantar la cubierta aproximadamente 3mm. asegúrese de que la superficie se mantenga horizontal. Use ostros y de vuelta a la horquilla. Levante la carcaza asegurándose de que vaya horizontalmente y que no se "columpie". Póngala en tablas de madera.

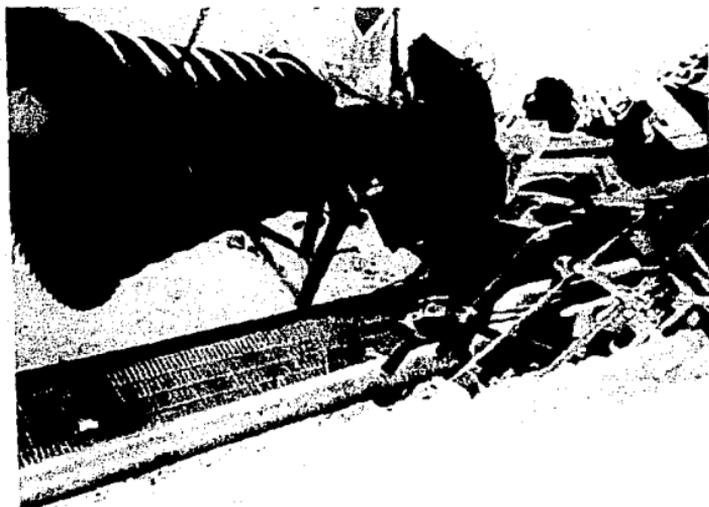
Quite el exceso de óxido, checándolo si hay algún roce en el metal - (idem. punto anterior). Fotografía 7.

-Revisión general y ajuste.-

#### a ) Rotor.-

Prepare un soporte para el rotor. Ponga una pieza de asbesto o de plomo en la parte del soporte que sostendrá al rotor y póngale -- grasa.

Coloque un par de ostros en los extremos del rotor de tal manera que se pueda elevar horizontalmente sin chocar con los sellos de la berinto y al mismo tiempo evitar que se rayen los muñones. levante lo lentamente y colóquelo en el soporte. No se recargue en el muñon. Cheque el muñon por si tiene algún defecto causado por suciedad, -- marcas de golpes, etc. Quite cualquier marca con lija fina y cúbralo con nylon.



FOT. 6. REVISION Y LIMPIEZA DEL ROTOR DE LA  
TURBINA DE VAPOR GB-201 T.

FES. CUAUTITLAN (UNAM)

RUBEN RUIZ RDGUEZ.

FOTOGRAFIA 6.

Cuando se encuentre acumulación de partículas sucias extrañas en el paso de las espas, limpie con cepillo de alambre o lija fina que no haya erosión o corrosión.

Cheque el ajuste de los engranes de acoplamiento del terna-flecha con el rotor, además de los engranes del mecanismo del gobernador. Cheque el pasador de sobrevelocidad empujándolo con la mano para confirmar que su movimiento sea suave.

b) Válvula de corte rápido.-

Para poder levantar la carcasa, debe quitarse la válvula de corte rápido, por lo que se debe realizar lo siguiente:

Desarmar el tubo principal de vapor y los conductos de aceite que se encuentran alrededor de ella. Cubrir los orificios con tela adhesiva.

Poner un estrobo alrededor de la válvula para levantarla.

Enredar el estrobo hasta sostener la válvula. Levantarla y quitarla.

Poner la válvula hacia arriba. Afloje las tuercas de la cubierta de la válvula y jale hacia afuera de la caja el ensamble de la válvula. Quite la rebaba de soldadura de los pernos guía y quite la coladera. Fíjese que no haya acumulación de materias extrañas. Si las hay, -- quítelas con cepillo de alambre o aire.

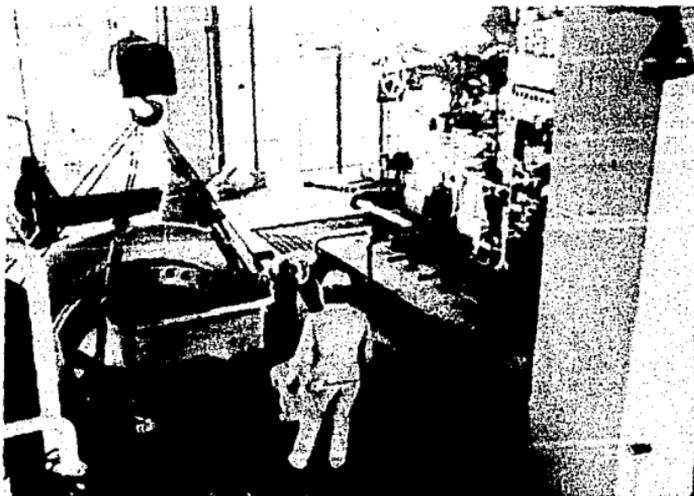
Cheque el ajuste del disco de la válvula y su asiento, además de -- ver si existen marcas de golpes por partículas extrañas.

Inspeccione el vástago para ver cualquier indicación de daño.

c) Cojinetes.-

Quite la mitad superior de las cubiertas de los cojinetes y cheque la superficie del metal babbit (cojinetes radiales).

Levante el rotor ligeramente y quite la mitad inferior de las cubiertas del cojinete. Cheque las superficies de éste y si están -- bién límpielas con aceite.

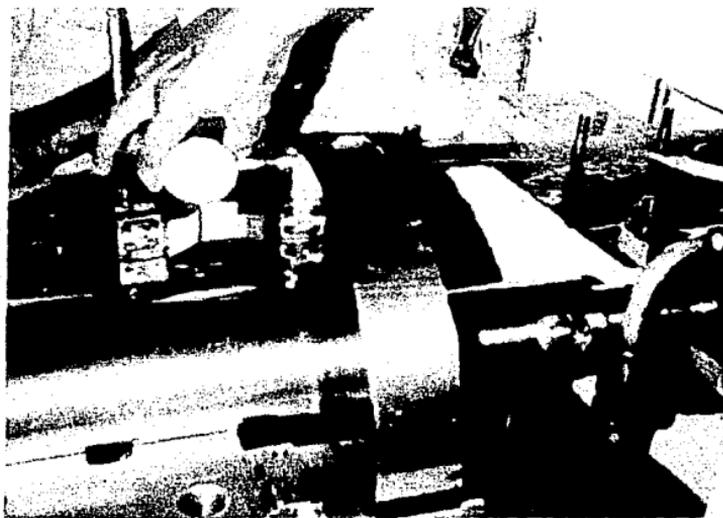


FOT. 7. DESMONTAJE DE LA CARCAZA SUPERIOR DE LA TURBINA  
DE VAPOR GB-201 T.

FES. CUAUTITLAN (UN.A.M.)

RUBEN RUIZ RODRIGUEZ.

FOTOGRAFIA 7.



FOT. 8. METODO PARA OBTENER EL JUEGO AXIAL

F.E.S. CUAUTITLAN (U.N.A.M.)

RUBEN RUIZ RDGUEZ.

FOTOGRAFIA 8.

Revise el claro existente entre el metal babbit del cojinete y el muñón de la siguiente manera:

Ponga un alambre de plomo de 5mm. de diámetro en el muñón, donde el metal babbit hace contacto y apriete los pernos de separación.

Desarme la parte superior de la cubierta del cojinete, otra vez con cuidado y cheque el espesor del alambre por medio de un micrómetro y apúntelo.

Si el claro excede al de diseño cambie el metal babbit.

El juego axial debe chequearse como se indica abajo: ( Fotografías 8 y 9 ).

Use la herramienta de ajuste del rotor para dar vuelta a la rueda de acoplamiento del sinfin del tornaflecha.

Jale el rotor hacia el extremo del gobernador, hasta que el disco de empuje haga contacto.

Aplique el indicador de carátula con la punta hacia el disco de empuje y lea lo que indique. "Apúntelo como R1".

De vuelta al tornillo para jalar el rotor hacia el extremo contrario (lado cople) hasta que el disco de empuje haga contacto.

Lea el indicador otra vez y apúntelo como R2.

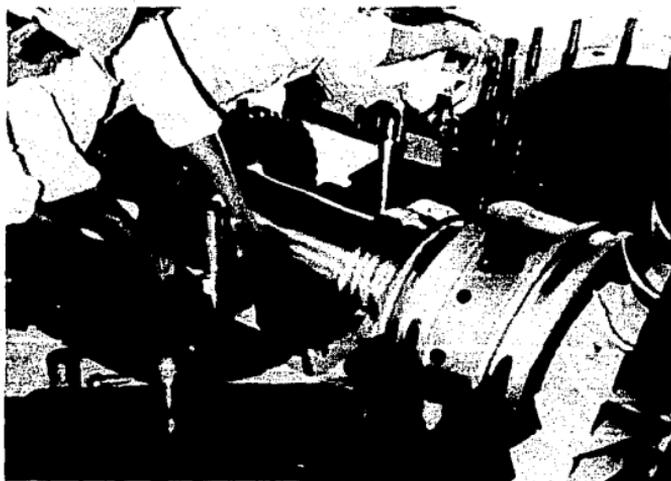
De este modo el juego axial es: R1-R2-R.

Compare las medidas (valores) del diseño, con los obtenidos físicamente.

Cambia las zapatas de la chumacera de empuje en caso de no entrar al rango o fíjese en el centrado del rotor y haga o dé sus conclusiones.

ii) Sellos de laberinto.-

Antes de desmontar y después de montar el rotor es necesario che



FOT. 9. COLOCACION DE LA HERRAMIENTA PARA LA  
OBTENCION DEL JUEGO AXIAL.

FES. CUAUTITLAN (U.N.A.M)

RUBEN RUIZ RODRIGUEZ.

FOTOGRAFIA 9.



FOT. 10. METODO QUE SE EMPLEA PARA OBTENER EL CLARO EXISTENTE ENTRE LOS ALABES MOBILES, LOS DIAFRAGMAS Y LOS SELLOS DE LABERINTO EN LA TURBINA GB-201 T.

FE.S. CUAUTITLAN (UNAM.)

RUBEN RUIZ RDGUEZ.

FOTOGRAFIA 10.

car el claro existente entre éste y los sellos de laberinto; esto se hace con el fin de evitar cualquier roce que afecte los sellos, además de darle la tolerancia requerida para que los sellos funcionen como tales.

Después de checar el claro desarme el diafragma, empujando el laberinto con la mano.

Cheque las aspas del rotor y el laberinto para confirmar que no hay ninguna señal de contacto. Lave cada parte con aceite y lija. Confirme como trabajan los resortes de cada laberinto y desármelos.

-Procedimiento para rearmado.-

1.- Válvula de corte rápido.-

Aplique Molikote en el vástago y en los tornillos de la válvula. Apriete los tornillos de la cubierta de la caja de la válvula en forma pareja para prevenir fugas de vapor.

Confirme el movimiento de la válvula sin instalar el resorte. -

Confirme que los tornillos, el juego de pasadores, las tuercas candado y las rondanas de presión queden en la posición correcta.

Aplique sellador en las superficies de contacto después de quitar el polvo y las rebabas. Quite la cinta adhesiva de todos los orificios de los conductos desarmados. Confirme que el volante trabaje suavemente desde cero hasta que esté completamente abierta la válvula.

2.- Válvula reguladora.-

Aplique Molikote 505 en las varillas y en los pernos. Todas las medidas deben de estar estrictamente de acuerdo con el plano.

Confirme el movimiento suave antes de instalar los resortes. - -

Apriete la cubierta de la caja de la válvula en forma pareja para

evitar fugas de vapor.

El resorte deberá estar en posición correcta y quedar firme en su base.

El juego de tornillos, las tuercas y las rondanas de presión - deberán quedar en posición correcta. Asegúrese de poner grasa en los baleros y engrase la tapa.

3.- Cojinetes.-

Confirme que las superficies del metal babbit estén bien pulidas. Cuidé de no instalar las laminas en dirección equivocada. Confirme que la entrada y salida de aceite no estén tapadas.

Aplique aceite nuevo sobre la superficie del metal babbit antes de la instalación. Asegúrese de que las zapatas en la chumacera axial se ubiquen en la posición original.

4.- Diafragmas.-

Los laberintos deberán instalarse en la posición correcta de acuerdo con la indicación de las marcas. Cheque la solidez del resorte.

Aplique Molikote entre el diafragma y la carcasa. Confirme la diferencia de altura entre la cubierta y las superficies de división del diafragma.

No dejar en la cubierta objetos extraños tales como piezas de nylon, trapos, etc. Cuidé que no caigan dentro de la cubierta durante el rearmado objetos tales como herramientas, lápices, etc.

5.- Rotor.-

Quite la tela de nylon que envuelve al muñón y al mecanismo de emergencia.

Levante el rotor horizontalmente y póngala en la mitad inferior de la cubierta sin tocar el muñón. Aplique aceite lubricante nuevo al muñón.

No de vuelta al rotor hasta que esté instalada la mitad inferior del cojinete de empuje.

Cheque si el rotor asienta horizontalmente usando calibrador de nivel.

6.- Carcaza.-

La carcaza debe levantarse horizontalmente. No ponga la carcaza sin guías. Mueva el rotor hacia el extremo del cople. Limpie la superficie de la división de la carcaza y aplique sellador. El aislamiento debe ser supervisado de la mejor manera con el fin de que este se coloque correctamente, evitando así la disipación de energía. Envuelva los pernos y tuercas con fibra de vidrio.

7.- Pedestal.-

El rearmado de las partes interiores del pedestal es hecho después del alineamiento.

Asegúrese de la localización de ductos (tubos) de alimentación de aceite al mecanismo de transmisión del gobernador, los ductos de suministro de vapor de media, los ductos de aire de instrumentos (válvula solenoide), los ductos para las purgas, etc. Quite las telas adhesivas de la abertura de los ductos antes de ensamblar.

8.- Gobernador de velocidad.-

El ajuste de velocidad en el gobernador relevador de aceite de la turbina GB-201T se da atornillando o desatornillando el tornillo de ajuste de la válvula piloto.

- Programa de prueba en vacío de la turbina.-

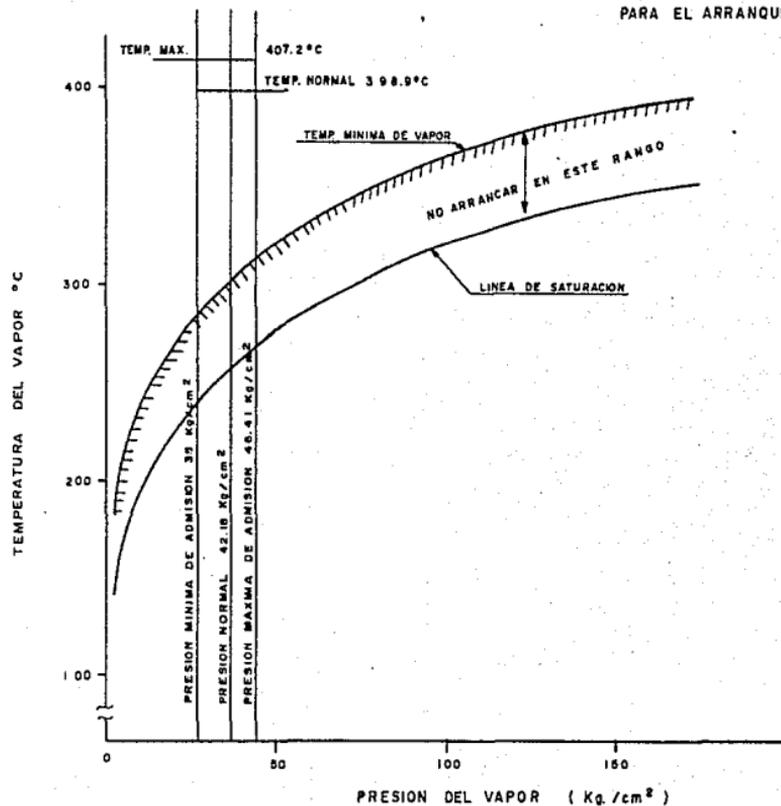
El procedimiento más general para poner en marcha el conjunto turbina-condensador de superficie es el siguiente: primero el sistema de circulación y condensación, luego el sistema de lubricación, calentamiento de válvulas y tuberías y finalmente la puesta en movimiento de la turbina.

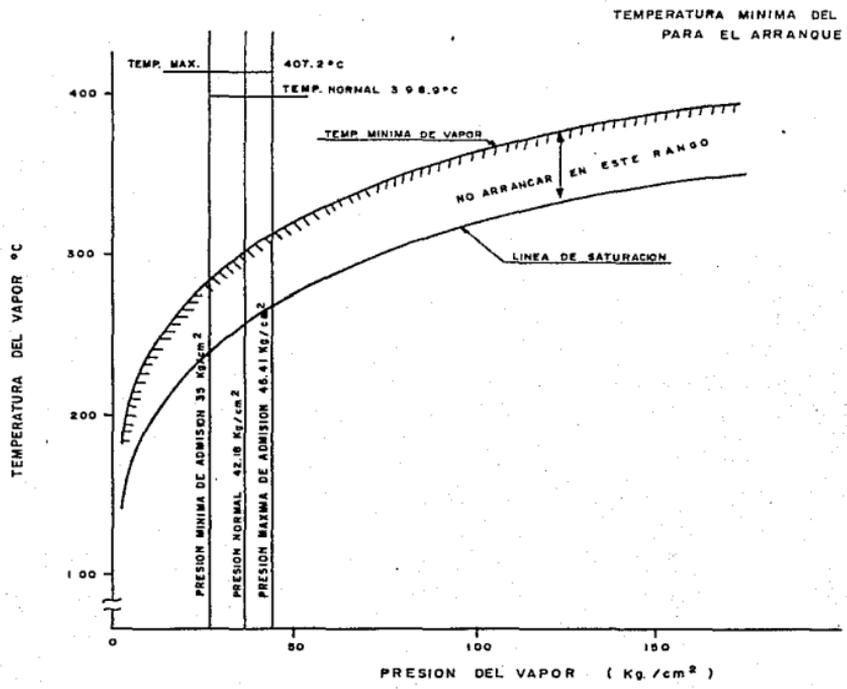
Procedimiento.-

- 1.- Asegúrese que los depósitos de aceite de lubricación de las bombas de condensado y circulación estén a su nivel correcto.
- 2.- Abra todas las válvulas del sistema de condensado, sistema de circulación y las purgas de condensado del cabezal, tubería de vapor, en la carcasa de la turbina y la válvula de vapor de sellos.
- 3.- Verifique que esté cerrada la válvula de alivio de descarga a la atmósfera y perfectamente sellada.
- 4.- Establezca la circulación de agua en el condensador, cerciorándose del funcionamiento de la bomba GA-206t, revisando el sistema general.
- 5.- Ponga en marcha la bomba de condensado GA-206t, debe tenerse cuidado de no bombear todo el condensado del condensador, recirculando a través del mismo o regulando la válvula de descarga de la bomba, de manera que siempre exista un sello de agua en el condensador, a fin de evitar que la bomba se quede sin agua en la succión.
- 6.- Póngase en operación el eyector de arranque, abriendo la válvula del cabezal del eyector y cierre las purgas de la carcasa que corresponden a los pasos que trabajan en vacío. Obsérvese el vacuómetro para cerciorarse de que empieza a hacer vacío y efectuar un vacío hasta - 400mm Hg y mantenerlo.

- 7.- Póngase en marcha la bomba auxiliar de lubricación y cerciorese de que circule aceite por los cojinetes a la presión adecuada.
- 8.- Póngase en servicio el torna-flecha, seguir el siguiente procedimiento:
- a).- Energizar el motor del torna-flecha.
  - b).- Verificar que la turbina esté libre, girándola con el dispositivo manual.
  - c).- Abrir la válvula de aceite de lubricación al torna-flecha.
  - d).- Dejar fuera el tornillo para poder enganchar el torna-flecha con el rotor de la turbina.
  - e).- Verificar en el tablero local la indicación del dispositivo de rotación en operación.
  - f).- Arrancar el motor y verificar que el giro de la turbina sea en la posición normal.
- 9.- Después de abrir las purgas de las válvulas de corte rápido y de la línea de vapor de sellos y confirmar que las líneas estén sin condensado; cerrarlas y cheque que la temperatura del vapor esté dentro del rango de operación como lo muestra la gráfica No. 1.
- 10.- Después de confirmar que el vapor tiene la temperatura y presión dentro del rango de operación restablezca la palanca de las válvulas de regulación en el sentido de las manecillas del reloj para abrirlas.
- a) Verificar que la presión de aceite primario de gobierno llegue a  $0.8 \text{ Kg/cm}^2$  aproximadamente.
  - b) Que encienda la luz indicadora de la solenoide.
  - c) Oprimir el botón de arranque y que prenda el de listo para arrancar.
  - d) Soltar la palanca.
- 11.- Engatillar la palanca de la válvula de corte rápido.

TEMPERATURA MINIMA DEL VAPOR  
PARA EL ARRANQUE

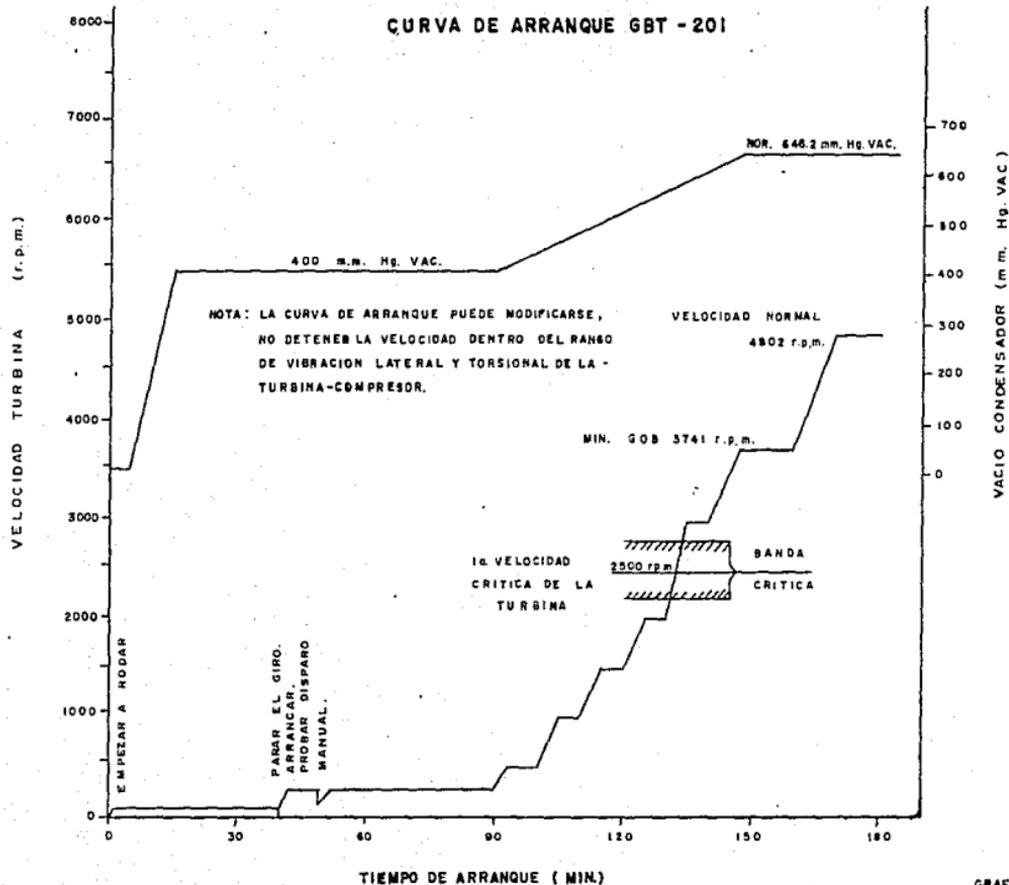




GRAFICA No. 1

- 12.- Abra la válvula de corte rápido gradualmente. Cuando la unidad arranque y empiece a rodar, cerrar la válvula de corte rápido y dejar que la unidad gire por inercia.  
Usar el detector de sonidos y confirmar que no hay ningún ruido anormal interno; si todo está correcto, abrir la válvula de corte rápido nuevamente y mantener una velocidad de 250 a 300 rpm.
- 13.- Confirmar que todo el sistema este trabajando correctamente y en buenas condiciones.
- 14.- Empuje el botón de disparo después de quitar el giro.  
Confirmar lo siguiente:
- a).- Que la válvula de corte rápido cierre completamente
  - b).- Que las válvulas de regulación cierren completamente.
  - c).- Que la velocidad de la turbina empiece a bajar.
- 15.- Volver a restablecer la palanca y engatillar la palanca de acuerdo al procedimiento antes descrito en la válvula de corte rápido.
- 16.- Abrir la válvula de corte rápido nuevamente y continuar el arranque arriba de 250 r.p.m. de acuerdo a la gráfica No. 2, verificar la expansión de la carcasa con un medidor (ésta tiene que ser uniforme).
- 17.- Incrementar la velocidad de acuerdo a la gráfica de arranque, poner atención a los siguientes puntos:
- a).- Pasar la banda de velocidad crítica tan rápido como sea posible y no detenerse en este rango.
  - b).- Observar la temperatura en las chumaceras y controlar la temperatura del aceite a 45°C.
  - c).- Confirmar que la expansión de la carcasa sea simétrica.
  - d).- Verificar vibración.
  - e).- Verificar que no tenga ruido anormal.
  - f).- Verificar que la temperatura del vapor exhausto no pase de 150°C.

### CURVA DE ARRANQUE GBT - 201



- 18.- Al final del arranque elevar el vacío abriendo la válvula del vapor del eyector de arranque (ver gráfica no. 2).
- 19.- Durante el aumento de velocidad, la presión de vapor en la línea de escape se incrementará. Tratar de cerrar la válvula de vapor de sellos, en caso de que la presión de la línea de vapor de sellos sea más baja que la presión atmosférica, abra esta válvula.
- 20.- Cerrar las siguientes válvulas en esta etapa:
  - a).- Purga y venteo de la línea de vapor principal.
  - b).- Purga de la válvula de corte rápido.
  - c).- Purga de la línea de vapor de escape.
- 21.- Cuando la velocidad adquiriera la mínima de gobierno empiece a controlar la velocidad de la unidad con el control local. Confirmar que todo el sistema esté operando constantemente y que el control manual de tablero esté en la posición mínima.
- 22.- Como la válvula de corte rápido está completamente abierta, son ahora las válvulas de regulación las que controlan la velocidad. Regresar media vuelta el volante de la válvula de corte rápido, para evitar que se pegue por calentamiento.
- 23.- Cerrar la purga para limpieza de la cámara.
- 24.- Introducir una señal de aire de 0.2 Kg/cm<sup>2</sup> al gobernador y observe la velocidad. Si esta es más alta que el vapor determinado, ajustar el control manual a su mínima velocidad.
- 25.- Incrementar la señal de presión de aire gradualmente como sea posible para evitar cambios bruscos en la carga. Llevar la máquina al disparo por sobrevelocidad.

- Procedimiento de paro:

- 1.- Disminuir la velocidad a la mínima de gobierno.
- 2.- Antes de parar la máquina abrir el suministro de vapor de sellos.

- llos con el fin de que no entre aire al condensador.
- 3.- Disparar la unidad por medio del dispositivo manual o por señal del tablero local o del control. Verificar que la válvula de corte cierre completamente.
  - 4.- Abra las siguientes válvulas:
    - a).- Purga de la línea de vapor de escape.
    - b).- Purga de la válvula de corte rápido.
  - 5.- Parar el condensador principal y el sistema de vacío.
  - 6.- Parar el suministro de vapor a sellos, cuando la presión sea menor que la atmosférica para evitar la entrada de partículas extrañas a la carcasa.
  - 7.- Cuando la unidad esté completamente parada, arrancar el toronaflecha de acuerdo al procedimiento antes descrito y mantenerlo operando durante 2 horas, después pararlo, no cortar el suministro de aceite de lubricante a las chumaceras, hasta permitir el enfriamiento adecuado, girar el rotor periódicamente a intervalos de 30 minutos por más de 2 horas.
  - 8.- Cierre completamente la válvula de vapor principal.
  - 9.- Abrir la purga de la línea de vapor principal y la purga de la válvula de corte rápido.
  - 10.- Pare el gland condensar.
  - 11.- Cerrar Válvulas a eyectores y abrir purgas.
  - 12.- Cerrar las siguientes válvulas:
    - a).- Purga de la línea de vapor principal.
    - b).- Purga de la válvula de corte rápido.
    - c).- De la línea de vapor de escape, después de verificar que han sido purgadas correctamente.

**CAPITULO V.- DISPOSITIVOS DE PROTECCION**

### -Protección por sobrevelocidad.-

Toda turbina deberá tener mínimo dos métodos independientes de protegerla contra sobrevelocidad. El gobernador de velocidad ordinariamente actúa como uno de los métodos. Este es diseñado no solamente para controlar la velocidad, sino también para eliminar velocidad de la turbina en caso de una violenta pérdida de carga.

El disparo de emergencia actúa como un segundo e independiente sistema para limitar excesiva sobrevelocidad. Este dispositivo es diseñado para actuar a velocidades más altas que podría permitir el gobernador de velocidad por lo que este dispositivo solamente operará en caso de una falla del gobernador de velocidad.

El disparo de emergencia puede ser:

- a) Mecánico
- b) Eléctrico

**Sistema Mecánico.**— Está constituido por un perno cargado mediante un resorte el cual se encuentra montado en la flecha de la turbina.

Cuando su ajuste es excedido el perno vence la fuerza del resorte proyectándose hacia afuera actuando un sistema de palancas que ocasionan que la válvula de corte cierre bloqueando el flujo de vapor hacia la turbina. Este sistema es adecuado para turbinas de baja capacidad donde las fuerzas envueltas son pequeñas y las distancias requeridas por los mecanismos son cortas, ya que comienzan a ser inoperantes cuando las fuerzas de fricción y de inercia son considerables.

En las turbinas de mediana y gran capacidad, el sistema mecánico de disparo es de hecho mecánico-hidráulico. La acción primaria de este sistema es básicamente la misma. Al presentarse la sobrevelocidad el perno vencerá la fuerza del resorte proyectándose hacia afuera accionando la válvula hidráulica de disparo, drenando el aceite y ocasionando el cierre inmediato de la válvula de corte.

Una vez que el sistema es operado, el resorte mantendrá la válvula hidráulica de disparo abierta hasta que la válvula de restablecimiento sea actuada, obligando al pistón de la válvula hidráulica de disparo a cerrar, creando nuevamente presión en el sistema, lo que permite restablecer la válvula de corte para iniciar nuevamente la operación de la turbina.

Existe un orificio entre la válvula de restablecimiento y la válvula hidráulica de disparo, con el objeto de asegurar que una vez que la válvula de restablecimiento ha sido cerrada no quede presión en la línea la cual, ocasionaría que el pistón de la válvula hidráulica de disparo quedase trabado.

Sistema Eléctrico.- Este sistema difiere del mecánico en que las funciones del perno y de la válvula hidráulica de disparo son efectuadas eléctricamente. Las otras partes pueden ser las mismas.

En el sistema eléctrico, la velocidad es detectada por un sensor magnético colocado en la proximidad de una rueda dentada montada sobre la flecha de la turbina. El sensor magnético genera un voltaje y su frecuencia es una función de la velocidad y del número de dientes de la rueda dentada. El tacómetro convierte la porción alterna de esta señal de entrada en un voltaje análogo de corriente directa, el cuál es proporcional a la velocidad. Este voltaje es comparado con otro de referencia (ajuste) regulable desde una fuente y al ser excedido actúa un contacto operando la válvula solenoide para drenar el aceite y cerrar la válvula de corte. Una vez que el sistema es operado, permanecerá en esta posición hasta que el botón de restablecimiento sea accionado y una determinada velocidad alcanzada.

El sistema de protección contra sobrevelocidad de la turbina GB-201T combina los sistemas mecánico-hidráulico y el eléctrico; esto con el fin de que si existe alguna falla en cualquiera de los dos sistemas,

actúa el otro, además estos son calibrados con los mismos rangos de operación.

#### Protección por baja presión de aceite de lubricación.-

El sistema de circulación de aceite debe mantenerse a una presión y temperatura determinadas.

Hay un manómetro en la descarga de la bomba de aceite y otro en la salida del filtro, si este último registra una presión inferior al primero, es indicación que el filtro se está tapando con partículas sólidas o emulsión de aceite.

En este momento sonará una alarma por baja presión de aceite y lo primero que se debe de hacer es accionar la válvula de transferencia para permitir el cambio de un juego a otro de filtros y de un juego de enfriador a otro.

Además existen manómetros indicando la presión de aceite al gobernador y a las chumaceras, como la presión al sistema hidráulico del gobernador debe ser mayor que la presión de aceite a las chumaceras, -- existen válvulas de alivio que regulan la presión en ambos circuitos.

Las chumaceras están equipadas con termómetros para indicar la temperatura del aceite a la salida de estas.

Además la turbina GE-201T está equipada con alarma y sistema de disparo por baja presión de aceite de lubricación.

#### Protección por alta vibración.

Una vibración mecánica, "es el movimiento de una partícula o de un cuerpo que oscila alrededor de una posición de equilibrio".

Las inspecciones regulares de vibración tienen como fin el descubrimiento del problema en sus primeras etapas, el intervalo entre inspecciones debe ser suficientemente corto para que permita que la gravedad del problema sea detectado a tiempo.

Las máquinas de alta velocidad como la turbina de vapor GE-201T, a

menudo requieren revisiones tomando en cuenta su tamaño, caballaje, velocidad y la importancia de su mantenimiento en la planta.

Una vez detectados los problemas, y diagnosticados en su etapa inicial su corrección puede ser programada para cuando más convenga al departamento de mantenimiento.

La causa de vibración es una fuerza que cambia su dirección y las características que resultan serán determinadas por el modo en que se generen las fuerzas, esto es porque cada fenómeno que causa vibración tiene características propias.

La vibración tiene dos características:

- 1.- La frecuencia (número de vibraciones o movimientos en un periodo de tiempo dado).
- 2.- La amplitud (la distancia que la flecha o las chumaceras se mueven).

Una vibración completa es un ciclo, por lo tanto, la frecuencia se expresa en ciclos por minuto o por segundo.

La amplitud se mide en mils, donde un mil equivale a una milésima de pulgada.

La amplitud se mide en tres direcciones, una axial y dos radiales.

En operación normal, la amplitud de vibración es baja, un aumento en la amplitud indica una conducción anormal que debe ser corregida y puede deberse a que la flecha está desbalanceada.

Una flecha deformada puede tener más peso de un lado que de otro, y al girar, la fuerza centrífuga empuja más del lado más pesado aumentando la amplitud de vibración.

Otra causa del incremento en amplitud de vibración puede ser el desalineamiento de la turbina con respecto al compresor.

Cuando un rotor tiene quebrado un álabe se produce un desequilibrio en peso y también puede causar una amplitud de vibración excesiva.

Las chumaceras restringen los movimientos axiales y radiales; si eg

tas estan gastadas, la tolerancia respecto a la flecha aumenta y causa vibración.

La turbina GB-201T se encuentra provista de probadores y analizadores (roximitora), que generan señales eléctricas que son proporcionales a la distancia entre los probadores y el eje.

Se cuenta con monitores que convierten la señal eléctrica senoidal a una señal de nivel de vibración en una escala lineal, esta señal pasa a través de una plantilla conectora que se encuentra en la parte posterior del registrador de salida, indicando como se dijo anteriormente el desplazamiento en milésimas de pulgada, si existe un nivel de vibración excedido en base a los datos permitidos, sonará una alarma (alerta-peligro).

La velocidad máxima de la vibración puede calcularse si se conoce el desplazamiento de pico a pico y la frecuencia de vibración, de la siguiente manera:

$$V_{\text{máx}} = 52.3 D \left( \frac{F}{1000} \right) \times 10^3$$

Siendo:

$V_{\text{máx}}$  = Velocidad de vibración en pulgadas por segundo pico a pico

D = Desplazamiento de pico a pico en milésimos (1 mil = 0.001").

F = Frecuencia expresada en ciclos por minuto (CPM).

**CAPITULO VI.-- ASPECTOS IMPORTANTES EN LA OPERACION DE LA  
TURBINA**

### Presión excesiva en la carcasa.-

Para que el vapor fluya a través de la turbina debe existir una diferencia de presión entre la entrada y salida.

Durante el arranque de la turbina, la descarga de la misma debe abrirse antes que la entrada de vapor, pues de lo contrario se romperá la carcasa debido a la excesiva presión.

Ya que la turbina cuenta con una válvula de seguridad en la descarga, ésta debe ser revisada después de que releve para asegurarse que se sella bien pues de lo contrario se estará tirando vapor a la atmósfera.

Además cuenta con una válvula centinela, la cual al ser oída debe inmediatamente cerrarse el vapor a la turbina, para evitar algún daño a la misma.

### Aislamiento térmico.-

El aislamiento térmico evita las pérdidas de calor de la turbina y protege al operador de posibles quemaduras, por lo tanto, debe mantenerse en óptimas condiciones, para cumplir satisfactoriamente su función.

### Condensación del vapor.-

La temperatura del vapor de descarga de la turbina es menor que la del vapor de entrada, mientras más caliente entre habrá más posibilidades que el vapor de descarga vaya más seco.

Debido a que la turbina GE-201T está provista de un condensador de superficie, tiene muy baja temperatura de descarga y normalmente se condensa algo de vapor en las últimas etapas, por lo que están diseñadas para que no sufran erosión los últimos pasos.

Pero si el vapor de entrada baja de temperatura se condensará algo de éste en los primeros pasos y como no están diseñados para trabajar con algo de condensado sufrirán seria erosión en poco tiempo.

Por otro lado, en los periodos de parada la turbina se enfría y al-

go de condensado se acumula en los puntos bajos de las líneas de vapor que no puede ser arrastrado por el vapor de baja velocidad que se utiliza en el calentamiento de la turbina, pero en el momento en que la turbina se acelere a su velocidad de trabajo, el vapor aumenta de velocidad y arrastrará el condensado el cual provoca un golpe de ariete contra las toberas y contra los álabes corriéndose el peligro de romperlos.

Para evitar ésto es necesario abrir las purgas que se encuentran en los puntos bajos de la carcasa de la turbina, para poder purgar el condensado antes de arrancar la turbina.

#### Efectos del calentamiento o enfriamiento desiguales.-

El vapor entra a la turbina a temperatura relativamente alta, al arrancar la turbina después de un largo período de estar parada, está fría y los componentes metálicos se expanden rápidamente al incidirles el vapor.

Durante la arrancada de la turbina GB-201T el condensador de superficie debe ponerse en operación antes de admitir vapor a la turbina, --- con esto se logra mantener la temperatura en la descarga relativamente baja, que es como está diseñada para trabajar, pues si la temperatura aumenta arriba de la de diseño, los birlos de las bridas de la carcasa se aflojarán y permitirán fugas cuando la temperatura vuelva a lo normal.

Durante la arrancada el rotor de la turbina alcanza la temperatura de trabajo más rápidamente que la carcasa; por lo tanto, se dilata más que ésta. Puesto que los diafragmas de interetapa están fijos a la carcasa al expandirse el rotor más que la carcasa, puede existir un rozamiento entre el rotor y los diafragmas.

Durante el arranque de la turbina GB-201T el flujo de vapor a través de ella debe ser lo suficientemente bajo para permitir que el rotor y la carcasa se expandan juntos, para no tener el riesgo de que el rotor

roca los diafragmas.

#### Deformación de la flecha.-

Conforme el vapor pase a través de la turbina, el rotor debe girar muy lentamente, pues si el rotor no gira el vapor calienta en mayor grado únicamente medio rotor; el cual se dilata más que la otra, provocando una deformación en la flecha.

Esta deformación es mayor cuanto mayor sea la temperatura dentro de la turbina.

Al operar la turbina a bajas velocidades, durante el periodo de arranque aseguramos un calentamiento uniforme y evitamos que la flecha se deforme.

Cuando se opera una turbina con la flecha deformada, el giro provoca una excentricidad de cargas en las chumaceras y produce vibración de la máquina, deterioro en las chumaceras y es posible que el rotor roce los diafragmas.

#### Fugas por las cajas de empaques.-

En el arranque la tolerancia entre la flecha y los empaques es mayor que lo normal y puede existir algo de fuga, conforme la flecha se calienta ésta se expansionará y la tolerancia será reducida.

Si la empaquetadura está muy desgastada, la fuga no disminuirá al calentarse la turbina; además las conexiones de salida a veces están tapadas o las válvulas cerradas, causando que el vapor se escape de la carcasa a la atmósfera.

Como ya se indicó anteriormente la caja de empaques en la descarga de la turbina GB-201T. está sellada con vapor; si existe vapor de sello en exceso el eyector de la caja de empaques no podrá eliminarlo y algo de vapor escapará a la atmósfera como fuga.

Por otro lado si el vapor de sello es puesto antes que la turbina esté girando, este vapor calentará la flecha y el rotor más de un lado

que del otro causando deformación en la flecha.

#### Velocidad crítica.-

Si una lámina de acero es jalada y soltada como en la figura 25, élla va a vibrar a una determinada frecuencia denominada frecuencia natural, que depende en parte de la longitud de la lámina y de la flexibilidad de ésta.

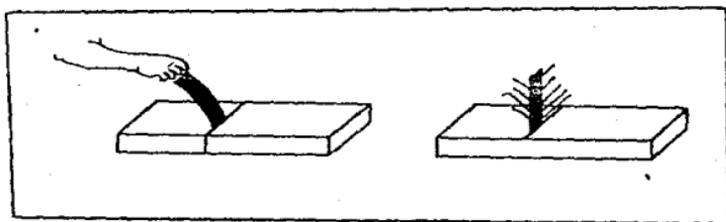


FIG. 25. FRECUENCIA NATURAL Y LA VELOCIDAD CRITICA ASPECTOS COMUNES.

Al igual que una lámina, una flecha tiende a vibrar a su frecuencia natural, entre mayor sea la flecha su frecuencia natural será menor.

Cuando una flecha gira, ésta vibra a la misma frecuencia que la velocidad a la que gira.

Cuando una flecha gira a la misma velocidad que el valor de su frecuencia natural, se dice que está girando a la velocidad crítica.

A velocidades mayores, la frecuencia de vibración es diferente a la frecuencia natural, siendo por consiguiente que la amplitud a velocidades diferentes a la crítica es normalmente pequeña.

Pero en la velocidad crítica ésta amplitud de vibración es muy grande y puede destruir la turbina o dañar sus chumaceras.

La turbina GB-201T es o pertenece al tipo de turbinas de flecha flexible, ya que se debe pasar una velocidad crítica (2800rpm.) antes de alcanzar su velocidad de trabajo (4500rpm.).

Si una flecha no pasa una velocidad crítica, o sea, que su veloci-

dad de trabajo está por abajo de la velocidad crítica se dice que es una turbina de flecha rígida.

#### Depósitos en los álabes.-

Si el vapor que entra a la turbina llegase a contener sólidos arrastrados desde la caldera o de las tuberías, este material puede conectarse en los álabes formando depósitos y si el depósito es lo suficientemente grande, la forma de los álabes cambia, y el espacio por el que pasa el vapor se reduce.

Esta reducción en el flujo causa un represionamiento en un extremo del rotor y produce un incremento en la carga axial, desgastando la chumacera axial.

Por otra parte, como los depósitos no son uniformes desbalancean el rotor y causan vibración en la turbina.

#### Agua en el sistema de lubricación.-

El agua corroe las superficies ferrosas, o se combina con algún producto químico y se vuelve altamente corrosivo.

Además con el aceite forma emulsiones que pueden tapar un filtro de aceite o formar espuma.

Esta espuma no lubrica adecuadamente y puede causar pérdida de succión de la bomba de aceite o un disparo de la turbina al entrar al sistema hidráulico del gobernador o al sistema de disparo de la turbina.

**CAPITULO VII.- CAUSAS PRINCIPALES DE FALLA**

## Diseño: \*\*\*\*\*

Dinámicas.- En turbinas de vapor con los requerimientos de: flexibilidad de operación, altas potencias y elevadas velocidades de rotación, como las que se dan en la turbina GE-20LT de la Planta de Etileno de C.P. Morelos, impuestas por las demandas existentes, podemos afirmar, sin el menor de exagerar, que el aspecto Dinámico significa uno de los mayores retos con los que se enfrenta el diseñador de turbinas. El hecho de tener problemas de este tipo, imputables al diseño, refundan el principio de un equipo de características inestables de operación que frecuentemente limitan la capacidad productiva de la planta, además están sujetos a desgastes prematuros y fallas repentinas; en elementos como álabes y chumaceras así como, por consecuencia piezas estacionarias como: sellos cajas, etc. La forma de evitar esto es recurrir, en lo posible a disminuir el uso de turbinas cuyos diseños no estén suficientemente probados para aplicaciones similares a los requeridos; en caso de esto no ser posible bien sea por las particularidades de un proceso o por cuestión económica y tener que usar turbinas prototipo, estas deberán ser especificadas cuidadosamente así como exigir un número de estudios dinámicos, que si bien son costosos se justifican a la larga por aumento de confiabilidad.

Esfuerzos axiales.- Una de las fallas de consecuencia más desastrosas, y prácticamente sin manifestaciones externas, a que se encuentra expuesta la maquinaria rotatoria de alta velocidad es que los esfuerzos axiales excedan los de capacidad de carga de la chumacera. Las fallas de una chumacera axial, según está prácticamente demostrado, puede suceder en un lapso de tiempo inferior a tres segundos y sin que se manifieste como incremento en la temperatura del aceite de lubricación de retorno, parámetro que antes se consideraba definitivo. Se sugiere, que en el diseño se

limite la carga unitaria para la condición más desfavorable, en chumaceras de empuje a  $300 \text{ lb/in}^2$ ; equipar las turbinas de las características de la GB-201T de la planta de Etileno del C.P. Morelos, con sistemas de disparo automático por excesivo desplazamiento axial; usar chumaceras - axiales del tipo basculante ( Kingsbury ) y empleo de sensores de carga temperatura del metal babbit en las zapatas de las chumaceras.

Sistemas auxiliares.- Gran parte de los problemas que se presentan en la operación son causados por la deficiente especificación y calidad de los sistemas auxiliares, así podemos encontrar:

- Sistemas de lubricación deficientes en su concepción bien en cuanto a: operabilidad, filtración, sistemas de disipación de calor, etc.
- Sistemas de regulación que no cumplen con los requerimientos de compatibilidad demandados a la unidad.
- Sistemas de protección que no protegen a la unidad con los requerimientos mínimos o lo complican por exceso.
- Sistemas de sellado, en que su limitado diseño nos impide una operación simple de la unidad, bien por que fuga demasiado contaminado el aceite o por permitir la entrada del aire al condensador de superficie.
- Sistemas de vacío con diseños apegados a situaciones ideales de operación, donde pequeñas entradas de aire o ensuciamientos del condensador nos disminuyen la eficiencia de la turbina con incrementos notables de la demanda de vapor.

Las recomendaciones son obvias, baste comentar que el mejorar la calidad de los mismos, esto generalmente significa aumentar su capacidad no tendrá una incidencia mayor en el costo de una unidad accionada por turbina.

Tuberías de vapor.- La existencia de dilataciones térmicas no compensadas y/o falta de flexibilidad de una tubería de vapor puede llegar a ser la causante de esfuerzos adicionales sobre la boquilla de la máquina los

que frecuentemente son causas de desalineamiento y ocasionalmente pueden llegar a provocar fracturas.

#### Fabricación.-

Originado por el notable incremento de la demanda de equipos industriales los fabricantes han tenido que sacrificar la calidad para aumentar volúmenes de producción. Razón por la que se propone que:

La adquisición de los equipos sea de acuerdo con las especificaciones más convenientes.

El usuario deberá tener una participación activa y determinante en las "Juntas de Coordinación" y las "Pruebas de Fábrica", donde debe concurrir con su personal más experimentado, sin definitivamente relegar esta responsabilidad a terceros.

#### Instalación.-

Nivelación.- Aunque frecuentemente se exagera la importancia de este aspecto, es conveniente el tener las recomendaciones del fabricante al respecto, ya que ocasionalmente puede ser fuente de esfuerzos axiales adicionales.

Alineación.- Situación que estadísticamente está considerada como la segunda causa de vibraciones, origina daños en chumaceras y acoplamientos. Debe recabarse del fabricante su recomendación al respecto, vigilar sea cumplida por el montador y en caso de anomalías en la operación normal - que tengan estas fuentes recurrir a algún sistema que nos permita hacer "Verificaciones en caliente".

Cimentación.- En el caso de unidades donde motriz como conducido sean de principio de operación dinámico, las exigencias de la cimentación no son tan estrictas como para otros equipos con esfuerzos transmisibles repetitivos, pero aún así se debe ser muy precavido para diseñar una cimentación que reúna las características de ser: independiente para no recibir vibraciones parásitas; rígida para no estar sujeta ni a deformaciones ni

a asentamiento y dinámicamente compatible para evitar resonancias estructurales.

Ensamble.- Es posible que uno de los problemas posteriores que se presenten en el equipo y que se pretenden atribuir a fallas de muy diversas fuentes, sean en realidad causados por el descuido inicial de esta fase.

Es definitivamente necesario que se cuente con: la información pertinente, personal calificado y supervisión muy estrecha del usuario para disminuir errores y detectar las fallas que pudieran presentarse en esta etapa; situación que trae un conocimiento detallado del equipo.

Tuberías de vapor.- Deberá tenerse el cuidado de una vez terminada su fabricación el eliminar toda la suciedad con especial atención a las partículas metálicas; el no atender este aspecto, o creer que es suficiente con colocar coladoras de la línea de admisión, es equivocado; a que en el primer caso se corren riesgos de obstrucciones y desgaste prematuras en el interior de la turbina y en segundo término el colador puede llegar a obstruirse por la cantidad de material, romperse y entrar en la turbina con daños muy severos a sus componentes. Es necesario antes de poner en operación una instalación de vapor, que los cabezales y ramales sean exclusivamente soplados, abiertos a la atmósfera, con flujos de vapor que excedan de dos a tres veces la velocidad normal; para cerciorarse de la correcta limpieza de magníficos resultados colocar en los extremos de los cabezales, y de cada ramal, una "placa testigo" de cobre reconocido misma que nos indicará, por ausencia de impactos, cuando ya se ha logrado la limpieza requerida.

Sistema de lubricación.- Además de efectuar los ajustes correspondientes deberá tenerse un cuidado muy especial, antes de ponerlo en operación, de su cuidadosa limpieza. El hecho de tener partículas metálicas arrastradas por el aceite rudundará en perjuicio de chumaceras y daños en los sensibles elementos que integran el sistema de regulación de velocidad.

Para evitar esto es necesario dar una esmerada limpieza que consiste en la eliminación de toda clase de residuos y partículas, principalmente las metálicas y que se inicia con un lavado químico del mismo, preferentemente de tipo circulatorio, el pasivado, limpieza de enfriadores y filtros, para posteriormente, ensamblar y circular lo máximo posible de flujo de aceite a través de él, metiéndolo a ciclos de calentamiento y enfriamiento alternativamente, e instalación de mallas muy finas en los retornos para capturar todo tipo de impureza. El tiempo requerido para dar por aceptado un sistema de lubricación en una máquina grande como la GR-201T es de dos a tres meses y esto es sin interrumpir la circulación de aceite.

Protecciones.- Por ser la función de éstas el evitar fallas mayores al equipo, sus conexiones, calibraciones y secuencias deberán ser de óptima calidad y probadas repetidamente hasta asegurar su operabilidad.

Pruebas de campo.- Entendiendo como objetivo de estas el asegurar la previa confiabilidad requerida por el equipo, deberán programarse cuidadosamente estableciendo secuencias de los pasos a seguir y los datos a registrar.

Utilización.- Operativas y mantenimiento.- Si admitimos que todos los puntos anteriores expuestos han sido o son satisfactoriamente resueltos, definitivamente el descuido de recomendaciones sencillas, como en todas las maquinarias es la causa de la mayoría, de las fallas que se presentan o se pueden presentar en la turbina, así por mencionar algunas:

Operativas.-

- Vibraciones excesivas por descuidar el tiempo requerido para recalentamiento del rotor y carcasa.
- Golpes de ariete y ocasionalmente rotura de la carcasa por no haber eliminado el condensado correctamente antes de la puesta en marcha.
- Fallas mayores por haber cancelado o inutilizado algunos de los sistemas

de protección, como una consecuencia de considerarlos innecesarios o inoperantes.

-Daños en chumaceras por permitir que el equipo opere con excesivas fugas de vapor que contaminan y degradan el aceite.

Así sucesivamente podríamos continuar mencionando diversas causas que pueden ser atribuidas a la ignorancia o negligencia de cumplir con procedimientos que prácticamente no representan ningún problema.

Mantenimiento.- A este respecto ya quedó previamente establecido cuales son los puntos de vista, filosofías y técnicas a seguir que recomendamos.

Vapor.- (Pureza): No siendo el objeto de esta presentación el discutir - con detalle el "Tratamiento de Aguas para Generación de Vapor" queremos poner de manifiesto como el descuido, o mala interpretación de la economía, llega a ocasionar daños muy severos en las turbinas de vapor.

Las impurezas contenidas por el vapor y perjudiciales directamente en la turbina, las cuales son más críticas conforme aumentan las condiciones del vapor y consecuentemente su capacidad de dilución o arrastre, son básicamente compuestas de sílice o cloro (silicatos y cloruros de: calcio, magnesio, sodio y potasio), causantes de orden de importancia - los siguientes problemas:

-Fracturas de álabes.- Originada por fatigas combinadas con corrosión, generalmente de las últimas hileras, donde existe condensación parcial.

-Daños a chumacera axial.- Debido a empujes excesivos por obstrucción de ruedas de álabes.

-Vibración.- Desbalanceos originados por la falta de uniformidad de los depósitos que se adhieren a los álabes.

-Erosión.- Básicamente causada por la sílice no disuelta y sus daños son observados con mayor claridad en las zonas de la turbina que reciben - "vapor sobrecalentado".

-Disminución de potencia.- Así como de eficiencia, causada por la altera

ción de los perfiles geométricos de toberas y álabos.

Para prevenir este tipo de problemas se requiere principalmente:

Un manómetro medidor de la presión en la primera etapa, el que nos servirá para detectar posibles obstrucciones dentro de la máquina.

-Protección por desplazamiento axial.- Para evitar daños mayores por súbita falla de la chumacera.

-Sensores de temperatura de chumacera axial embebidas en el metal. Con el mismo fin que el punto anterior.

-Estrangular periódicamente vapor de admisión.- con el fin de evitar atascamientos en las válvulas de vapor de admisión y regulación, comprobando así también la operabilidad de ambos sistemas.

Contenido de humedad.- Conocido por la sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) como "Inducción de Agua", es fuente de daños muy costosos, como son principalmente:

-Fallas de chumacera axial.- Un alto contenido de humedad, el vapor puede aumentar hasta 10 veces el empuje axial normal.

-Rupturas por choque térmico.- La entrada repentina de vapor húmedo puede ser origen de estas fallas.

-Fricciones Internas.- Causadas por la diferencia de expansiones-contracciones entre elementos rotatorios y estacionarios.

Es de suma importancia para disminuir en lo posible los riesgos y afrontar apropiadamente este tipo de eventualidades, al cumplir con estas recomendaciones:

-Temperatura.- Llevan un continuo y cuidadoso control de Agua de Alimentación a Calderas, Vapor vivo y condensado.

-Niveles.- Contar con alarmas audibles que nos indiquen cuando estos son altos.

-Operación estable de la caldera.- Observar que no haya bruscos cambios en las condiciones de operación como son: niveles, temperaturas, gasto

de gas combustibles, alimentación de agua, etc., porque esto puede ser sintoma de que existe "Inducción de Agua".

Fatiga y/o Desgaste.- Dentro de los elementos constitutivos de las turbinas existen algunos considerados como desgastables o piezas de sacrificio mismas que normalmente están sujetas a fricción (mecánica o abrasión) y que además de la función básica que tienen que cumplir están en tal forma diseñadas que una eventual falla en ellas evita daños a otros elementos de la turbina. En esta clasificación están partes como:

- Chumaceras radiales y axial.
- Sellos
- Retenes de lubricación
- Tapones y asiento de válvulas, etc.

Por ser vida útil limitada es conveniente que de estas y de otras partes que estén dentro de esta clasificación se tengan repuestos a la mano.

Aquí cabe hacer una excepción y una recomendación que consiste en cuando menos tener un rotor completo, ensamblado y balanceado; ya que aunque no entra en la clasificación expuesta su remota falla si puede implicar con tosas pérdidas consideradas "Repuestos de Seguridad" en que dada la importancia de la unidad mecánica que acciona y el tiempo improductivo que puede presentar una falla en ella las hace económicamente convenientes.

## CONCLUSIONES

Para tener éxito en cualquier tipo de actividad es necesario tener conocimiento de lo que se va a hacer, por lo cual, en trabajos como el presente ( Principios de operación y preparación mecánica para el arranque en vacío de la turbina de vapor CB-201T de la planta de Etileno del Complejo Petroquímico Morelos ), se debe tomar en cuenta la constitución y el funcionamiento de cada una de las partes que componen la máquina y al mismo tiempo tener conocimiento de la forma en que va a operar esta.

La preparación mecánica estricta en base a los parámetros expuestos por el fabricante, en cuanto a mantenimiento de limpieza interior, instalación, nivelación, alineación, ajuste de holguras en el interior de la máquina y operación adecuada bajo una buena supervisión, marcarán la pauta para que exista un funcionamiento adecuado de la turbina.

Es necesario tener una buena coordinación con los distintos departamentos que trabajan en la turbina ( Mecánica de piso, Obra Civil, Instrumentación y Control, Pruebas y arranques, y Operación ) ya que de esto depende que se arranque lo más rápidamente posible obteniéndose una operación adecuada garantizando con esto la producción de la planta de acuerdo a los programas de producción petroquímicos.

## BIBLIOGRAFIA

- MANUAL DEL FABRICANTE  
MITSUBISHI STEAM TURBINES ( GE-201T )
- TURBINAS DE VAPOR Y DE GAS  
LUCIEN Y VIVIER
- ENERGIA MEDIANTE VAPOR, AIRE O GAS  
W.H. SEVERNS.  
H.E. DEGLER  
J.C. MILPS
- STEAM TURBINES  
POWER SPECIAL REPORT
- COMPARACION ENTRE TURBINAS DE IMPULSO Y DE REACCION  
AEC-KANIS
- TERMODINAMICA  
VIRGIL MORING FAIRES
- RELIABLE OVERSPEED PROTECTION FOR STEAM TURBINES  
HYDROCARBON PROCESSING