



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**Escuela Nacional de Estudios Profesionales  
'ARAGON'**

**Proyecto de Instalación y Puesta en Marcha de  
la Turbina de Vapor del Laboratorio de Máquinas  
Térmicas de la E.N.E.P. ARAGON.**

**TRABAJO DE TESIS  
PARA LA CARRERA DE  
INGENIERIA MECANICA ELECTRICA**

**Realización:  
García Elizalde Juan Manuel**

**No. de Cuenta 7315150-2**

**Aesor de Tesis:  
Ing. Everardo Esquivel Sánchez  
Jefe del Laboratorio  
de Máquinas Térmicas**

**1985**



## **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:

	<u>Pág.</u>
I.-INTRODUCCION	1
II.-DESCRIPCION DEL EQUIPO	4
III.-PROYECTO DE INSTALACION DE SERVICIOS AUXILIARES DE LA TURBINA Y COSTO APROXIMADO.	31
IV.-PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE DE LA TURBINA	52
V.-ALTERNATIVAS DE PRACTICAS QUE SE PUEDEN REALIZAR EN LA TURBINA.	67
VI.-PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO	96
VII.-CONCLUSIONES	125
VIII.-BIBLIOGRAFIA	126

**I.-INTRODUCCION.**

INTRODUCCION.-Debido a la necesidad del laboratorio de máquinas térmicas de contar con material educativo que complemente la enseñanza teórica con la enseñanza práctica, se hizo necesaria la adquisición de equipo en el que se pudiera simular la producción de energía eléctrica a partir del vapor en forma similar a como se produce en las plantas termoeléctricas, las cuales generan la mayor parte de la energía eléctrica que se consume.

Se adquirió entonces una turbina de vapor, que es el tema de esta tesis, la cual funcionará en conjunto con el generador de vapor, la torre de enfriamiento y el recalentador del laboratorio. Actualmente este conjunto de dispositivos aún no se ha puesto en servicio y se pretende con este trabajo un manual que abarque desde la descripción del equipo, instalación, puesta en marcha y mantenimiento hasta la elaboración de una práctica que sirva como base para el laboratorio de máquinas térmicas y como complemento a las materias en donde se toca el tema de producción de energía a partir del vapor.

La finalidad de la "turbina de vapor" es hacer una trans

formación de energías, en donde la energía de entrada es vapor a alta presión y temperatura (energía calorífica), esta se transformará en energía cinética mediante una expansión en las toberas de la turbina, adquiriendo entonces el vapor una gran velocidad, en estas condiciones se hace incidir sobre los álabes curvos del rodete de la turbina, haciéndolo girar, es decir la energía cinética del vapor se transforma en energía mecánica de rotación, que se transmite a un generador de corriente directa, el cual es un dispositivo que convierte esta energía de movimiento en energía eléctrica.

El equipo denominado "Turbina de vapor", consta en realidad de una serie de dispositivos y entre sus principales elementos está la turbina de vapor propiamente dicha, el generador D.C., el condensador y una serie de instrumentos de medición para evaluar los parámetros que nos dan idea de la transformación de energía que se llevará a cabo.

## II.-DESCRIPCION DEL EQUIPO

### 2.1.-INTRODUCCION

### 2.2.-LISTA DE LAS PARTES COMPONENTES.

### 2.3.-EQUIPOS PRINCIPALES.

2.1.-INTRODUCCION.-Todos los componentes de la turbina de vapor del Laboratorio de máquinas térmicas están montados en acomodo compacto sobre un rígido bastidor el cual contiene las conexiones para vapor, agua y elementos eléctricos.

El equipo esta diseñado para operar en una posición perfectamente horizontal, la velocidad máxima a la que debe girar la flecha de la turbina es de 3000 r.p.m. , la potencia de la turbina se absorbe con un generador eléctrico de corriente directa el cual esta acoplado a la flecha de la turbina, este generador disipa su energía en un banco de resistencias eléctricas.

La instrumentación del generador incluye dinamómetro, amperímetro, voltímetro, tacómetro e interruptores para incrementar la carga eléctrica. El condensador esta armado horizontalmente igual que la turbina y complementa su funcionamiento con la bomba de vacío. La carcasa del condensador esta construida de acero y contiene tubos de aluminio-latón. El vapor después de atravesar la turbina pasa por los tubos del condensador. Dentro del condensador el vapor es condensado y extraído por medio de la bomba de vacío,



la cual lo descarga dentro del tanque de medición del condensado. Para medir el condensado el tanque está montado sobre una báscula.

Después de la medición del condensado este se pasa a un tanque de almacenamiento, para que después pueda ser descargado a un desagüe ó retornado al tanque de alimentación de la caldera, por medio de la bomba del condensado de retorno, formando así un ciclo cerrado.

2.2.-LISTA DE LAS PARTES COMPONENTES.-La siguiente lista se complementa con las figuras 1,2 y 3 ,las cuales muestran a la turbina de vapor desde diferentes angulos.

No.	NOMBRE	ESPECIFICACIONES
1.-	Turbina de vapor	Se encarga de transformar la energía cinética del vapor en trabajo mecánico.
2.-	Generador D.C.	Se encuentra acoplado directamente a la flecha de la turbina, se encarga de transformar la energía mecánica de la turbina en energía eléctrica.
3.-	Condensador	Se encuentra en la parte posterior del conjunto, se encarga de condensar el vapor que sale de la turbina.
4.-	Bomba de vacío	Se encarga de sacar el condensado del condensador y llevarlo al tanque de medición.
5.-	Escala de la báscula.	Mediante el balance del brazo de la báscula se obtiene el peso del lí-

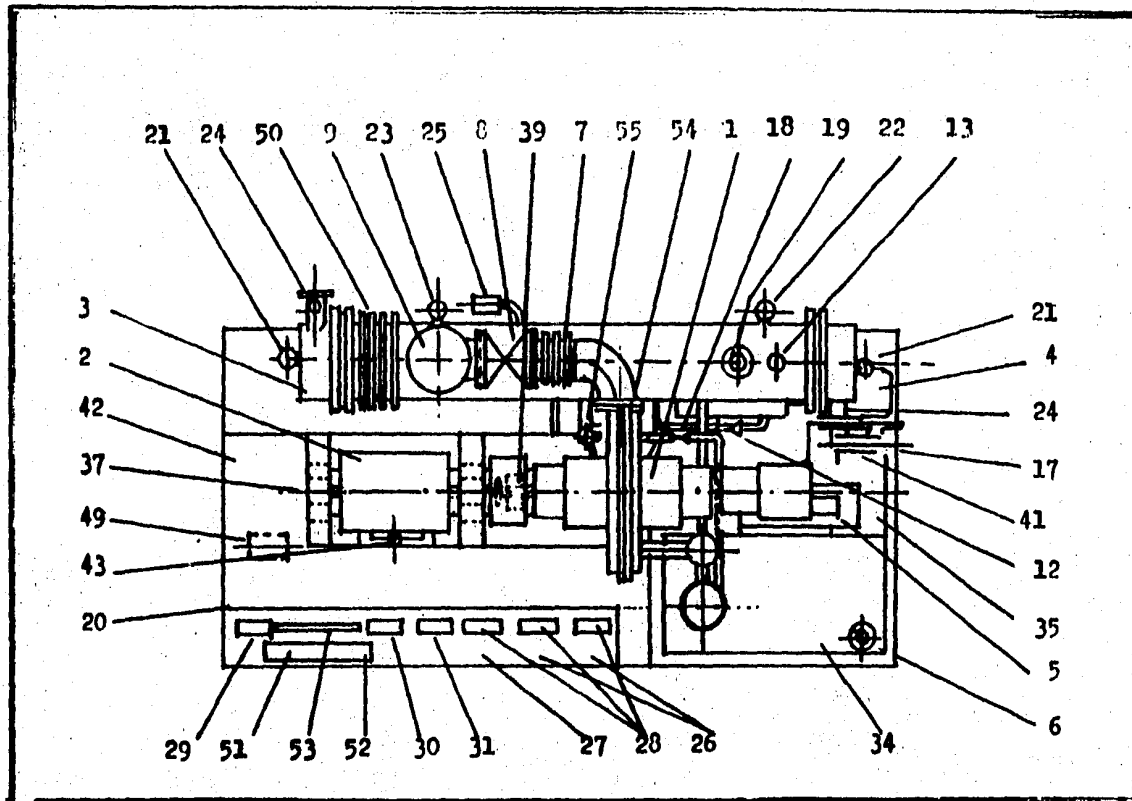


FIG.1.-VISTA SUPERIOR DE LA TURBINA DE VAPOR DEL LABORATORIO  
DE MAQUINAS TERMICAS.

L.IZQUIERDA

VISTA FRONTAL

L.DERECHA

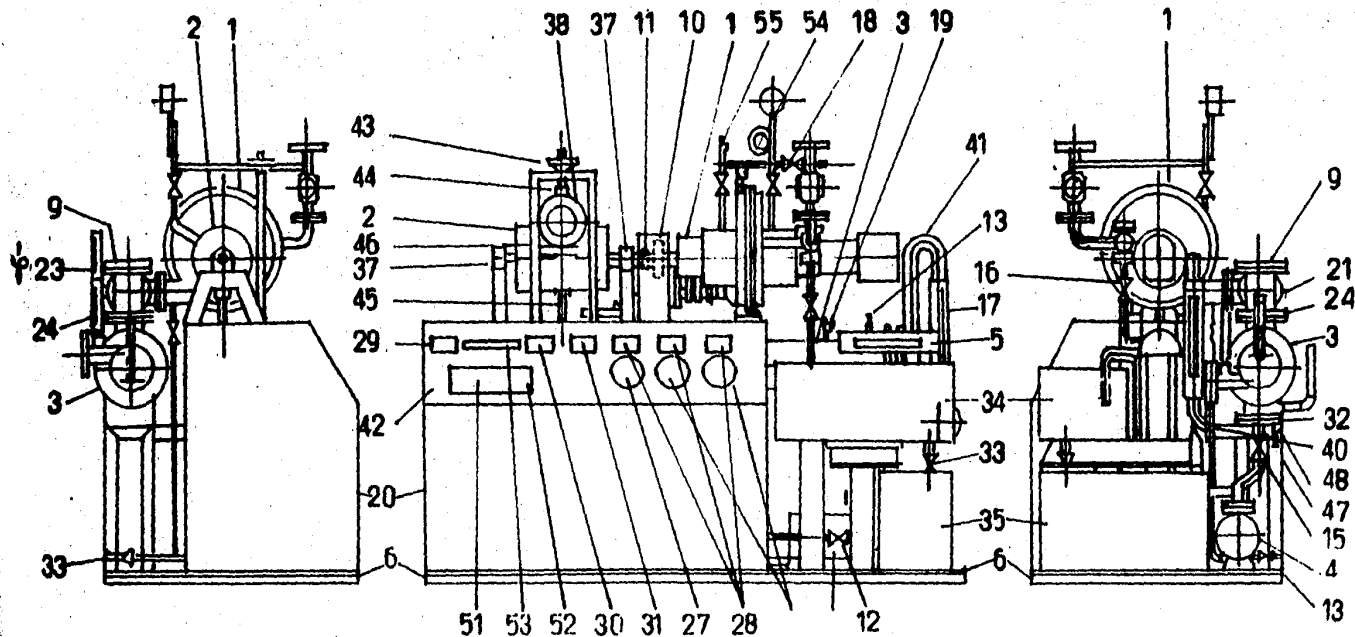


FIG.2.-VISTAS LATERALES Y FRONTAL DE LA TURBINA DE VAPOR DEL  
LABORATORIO DE MAQUINAS TERMICAS.

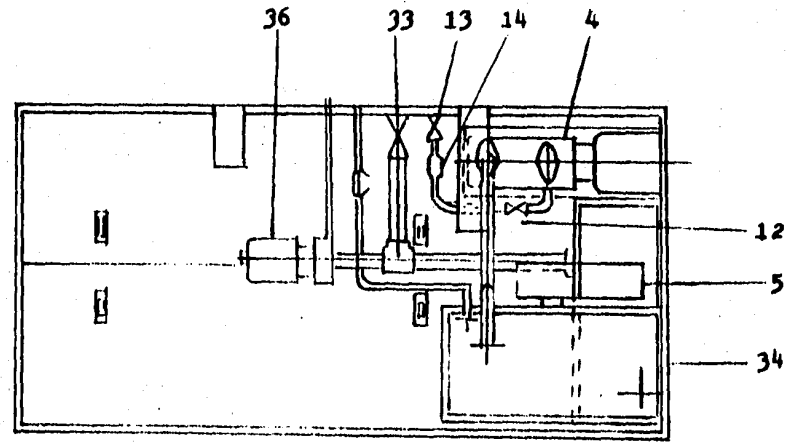
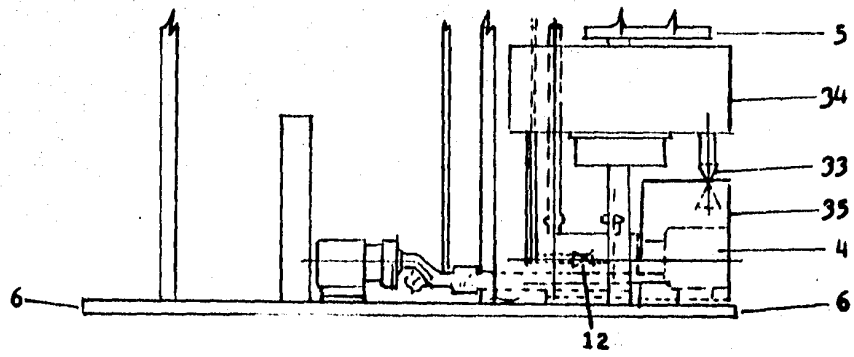


FIG.3.-VISTA FRONTAL Y ELEVADA DE LA BASE DE LA TURBINA DE VAPOR.

- quido condensado.
- 6.-Bastidor Se encarga de unir en forma rígida y compacta los elementos de que consta el equipo.
- 7.-Junta de expansión Se encuentra en la salida de vapor de la turbina y esta protegida con un aislante termico removible.
- 8.-Válvula Se encuentra después de la junta de expansión y sirve para cerrar ó abrir la línea de conducción de vapor de la turbina al condensador
- 9.-Conexion "T" Se encuentra en la entrada del vapor al condensador, también se encuentra protegida con un aislante termico removible.
- 10.-Acoplamiento de la flecha Se encarga de unir los ejes de la turbina y el generador, se encuentra oculto bajo el protector de la flecha.
- 11.-Dientes de acero del tacómetro Se encuentran apoyados en la flecha de la turbina, junto al acoplamiento, también están ocultos bajo el protector de la flecha.

- 12.-Válvula reguladora de flujo. Sirve para cerrar ó abrir la alimentación de agua de 9 lts/min que necesita la bomba de vacío para su funcionamiento.
- 13.-Válvula Se trata de la válvula para la liberación del aire del condensador.
- 14.-Medidor de agua Este medidor se encuentra en la alimentación de agua a la bomba de vacío.
- 15.-Válvula Se encarga de abrir ó cerrar la línea que va del condensador hacia la bomba de vacío.
- 16.-Válvula Se utiliza para purgar la línea de entrada del vapor.
- 17.-Rotámetro Mide el flujo del agua de enfriamiento, la cual entra al condensador.
- 18.-Válvula Se encuentra en la línea que va a las camisas de vapor de la turbina
- 19.-Válvula de seguridad. Se encuentra en la parte superior del condensador.
- 20.-Panel de instrumentos. Desde este tablero se pueden controlar los dispositivos auxiliares como bombas, ventilador etc. tam-

bién se pueden observar algunas lecturas estratégicas de presión y temperatura.

21.-Termómetros  
de 0 a 90°C

Se trata de dos termómetros colocados a los lados del condensador y que registran la temperatura del agua de enfriamiento en los pasos intermedios del condensador.

22.-Termómetro  
de 0 a 150°C

Registra la temperatura del condensado a la salida del condensador

23.-Termómetro  
de 0 a 150°C

Mide la temperatura del vapor a la entrada del condensador.

24.-Termómetros  
de 0 a 90°C

Son dos termómetros que miden la temperatura del agua de enfriamiento en la entrada y en la salida del condensador

25.-Manovacúmetro

Mide la presión en el condensador

26.-Manómetros  
de 0 a 16 bars.

Se trata de dos manómetros cuyas caratulas de lectura se encuentran en el panel de instrumentos, registran la presión del vapor en la línea de entrada y en la entrada



- a las toberas.
- 27.-Manovacúmetro  
de -1 a 4 bars
- 28.-Termómetros  
de 0 a 250°C
- 29.-Voltímetro  
de 0 a 300 Volts
- 30.-Amperímetro  
de 0 a 10 amp.
- 31.-Tacómetro  
de 0 a 4000 r.p.m.
- 32.-Cámara de con-  
densado
- Se localiza su lectura en el panel de instrumentos y registra la presión del vapor a la salida de la turbina.
- Son tres termómetros cuyas caratulas se encuentran en el panel de instrumentos, registran la temperatura a la entrada de la turbina, a la entrada de las toberas y en la salida de la turbina.
- Se encuentra en el panel de instrumentos y registra el voltaje que entrega el generador D.C.
- Se localiza en el panel de instrumentos y detecta el valor de la corriente eléctrica que entrega el generador D.C.
- Se encuentra en el panel de instrumentos y registra la velocidad angular a la que gira la turbina
- Es parte del condensador y se encuentra en la línea que va hacia la

bomba de vacío.

33.-Válvulas esféricas.

Son dos válvulas que abren ó cierran completamente, una sirve para sacar el condensado del tanque de medición y pasarlo al tanque colector, y la otra para drenar el condensado fuera del tanque colector.

34.-Tanque de medición de condensado

Esta montado sobre una báscula con el propósito de medir el peso del condensado.

35.-Tanque colector del condensado.

En este tanque se almacena el condensado para drenarlo fuera de la unidad ó bombearlo al tanque de alimentación de agua del generador de vapor.

36.-Bomba de retorno del condensado.

Por medio de esta bomba el condensado puede retornarse al generador de vapor formando así un ciclo.

37.-Bloque de alineación.

Se encarga de sostener y mantener alineado al generador D.C. y a la turbina de vapor.

38.-Medidor del Par

Mide el par a que está sometido el generador D.C.

- 39.-Protector de la flecha Encierra el acoplamiento de la flecha y los dientes de acero del taquímetro, sirve como medio de protección.
- 40.-Codo 90° Es la conexión que sirve para introducir el agua de enfriamiento que necesita el condensador.
- 41.-Vuelta de 180° Se encuentra en la línea de entrada del agua de enfriamiento, entre el condensador y el rotámetro.
- 42.-Banco de resistencias eléctricas. Está en la parte interna del equipo oculto por el panel de instrumentos, este banco de resistencias se encarga de disipar en forma de calor la energía eléctrica que suministra el generador D.C.
- 43.-Ajuste del dinamómetro. Sirve para bajar ó subir el dinamómetro que mide el par del generador D.C.
- 44.-Mecanismo de rosca para ajuste del dinamómetro. Es un tornillo que al girar cambia la posición del medidor del torque dinamómetro.

- 45.-Palanca para limitar el giro del generador D.C. Por medio de esta palanca se evita que el generador D.C. gire.
- 46.-Varca para ajuste. Indica la posición correcta del generador para ajustar el dinamómetro que mide el par.
- 47.-Válvula en ángulo. Al abrir esta válvula se drena el agua que queda en el condensador
- 48.-Conexión para manguera. Sirve para colocar una manguera que saque el agua del condensador.
- 49.-Unidad de extracción. Por medio de esta unidad se extrae el aire que se calienta por la acción de las resistencias eléctricas.
- 50.-Fuelles del condensador. Sirve para compensar las dilataciones que tiene el condensador debido a los cambios de temperatura.
- 51.-Interruptores de carga eléctrica. Se trata de cinco interruptores que sirven para poner en funcionamiento las resistencias eléctricas.
- 52.-Reóstato Se utiliza para variar el voltaje de la carga eléctrica aplicada.

- 53.-Interruptores para las bombas Controlan el encendido y el apagado de la bomba del condensado de retorno y de la bomba de vacío, se localizan en el panel de instrumentos.
- 54.-Válvula centinela. Se encuentra en la parte superior de la turbina y su funcionamiento señala la existencia de una sobrepresión.
- 55.-Válvula centinela. Al funcionar indica una sobrepresión en la línea que va hacia las camisas de vapor.

## 2.3.-EQUIPOS PRINCIPALES:

### TURBINA DE VAPOR

El modelo de la turbina del laboratorio de máquinas térmicas tiene una etapa simple de impulso con dos hileras de álabes rotatorios ó etapas de velocidad y una hilera de álabes estacionarios entre las dos hileras de álabes rotatorios, como parte integral posee un freno de aro, el cual actúa cuando existe una sobrevelocidad.

Cuenta con una válvula centinela la cuál avisa de un exceso de presión en la carcaza de la turbina, esta condición puede deberse a que una válvula este cerrada en la línea de salida del vapor, es importante tener en cuenta que esta válvula no esta en condiciones de corregir la sobrepresión.

Después de entrar el vapor en la turbina éste pasa a través de una serie de toberas, las cuales son controladas por válvulas manuales que pueden permitir ó obstruir el paso del vapor.

El vapor fluye a través de las toberas expandiéndose y obteniendo una gran velocidad con la cuál incide en la primera hilera de álabes rotatorios, en seguida pasa por la hilera de álabes estacionarios y estos redirigen el vapor contra la segunda hilera de álabes rotatorios.

Para la lubricación de la turbina se debe usar aceite de excelente calidad y con una viscosidad aproximada de 300 SSU para operar a una temperatura de 38°C .Se debe agregar aceite a través de las entradas para lubricante hasta que se observe que este llegue a la marca calibrada, un bajo nivel de aceite puede causar inapropiada lubricación y un alto nivel, sobrecalentamiento.

La turbina operará más eficientemente cuando la presión sea máxima, esto ocurre cuando hay un número reducido de toberas abiertas.

Existe un mecanismo regulador de velocidad para la turbina, se trata de un regulador hidromecánico el cual tiene una capacidad de trabajo máximo de 13.5 J , este opera con una caída de velocidad para estabilizar el control.

El regulador requiere aceite para el sistema hidromecánico,aproximadamente 2 lts. ,este aceite debe tener un mínimo de viscosidad de 100 CSU y operar a 65°C.

La velocidad de la turbina se puede ajustar mediante el tornillo que se localiza en el extremo del regulador de velocidad,girando este tornillo en el sentido de las manecillas se incrementa la velocidad y en el sentido contrario decae.

La turbina cuenta con un mecanismo que opera cuando la velocidad de esta excede un 25% la velocidad de diseño que es de 3000 r.p.m. .Este mecanismo dispone de un dispositivo sensor de la velocidad de la flecha,cuando este registra más de un 25% de sobrevelocidad cierra la línea de suministro de vapor a la entrada de la turbina.

Para detalles de la turbina consultar las figs.4,5 y 6 las cuales muestran puntos de vista importantes y las dimensiones de las toberas y los álabes.



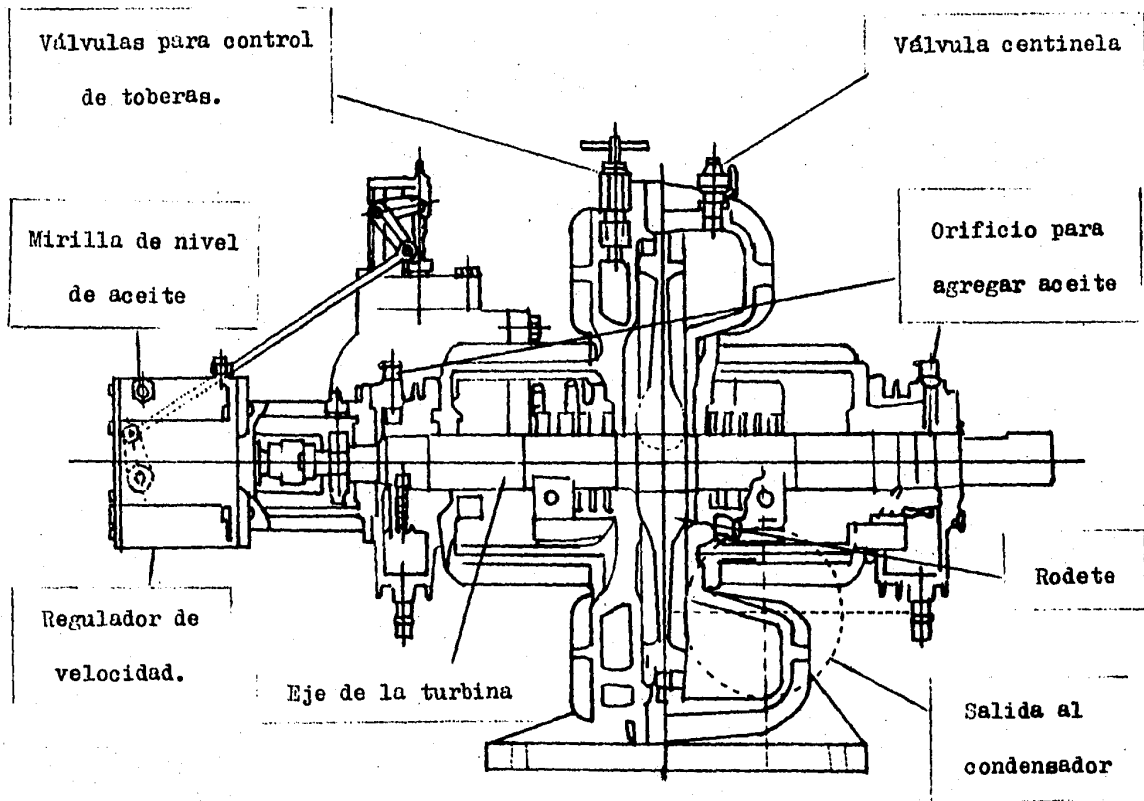


FIG. 4 .-VISTA POSTERIOR DE LA TURBINA DE VAJOR.

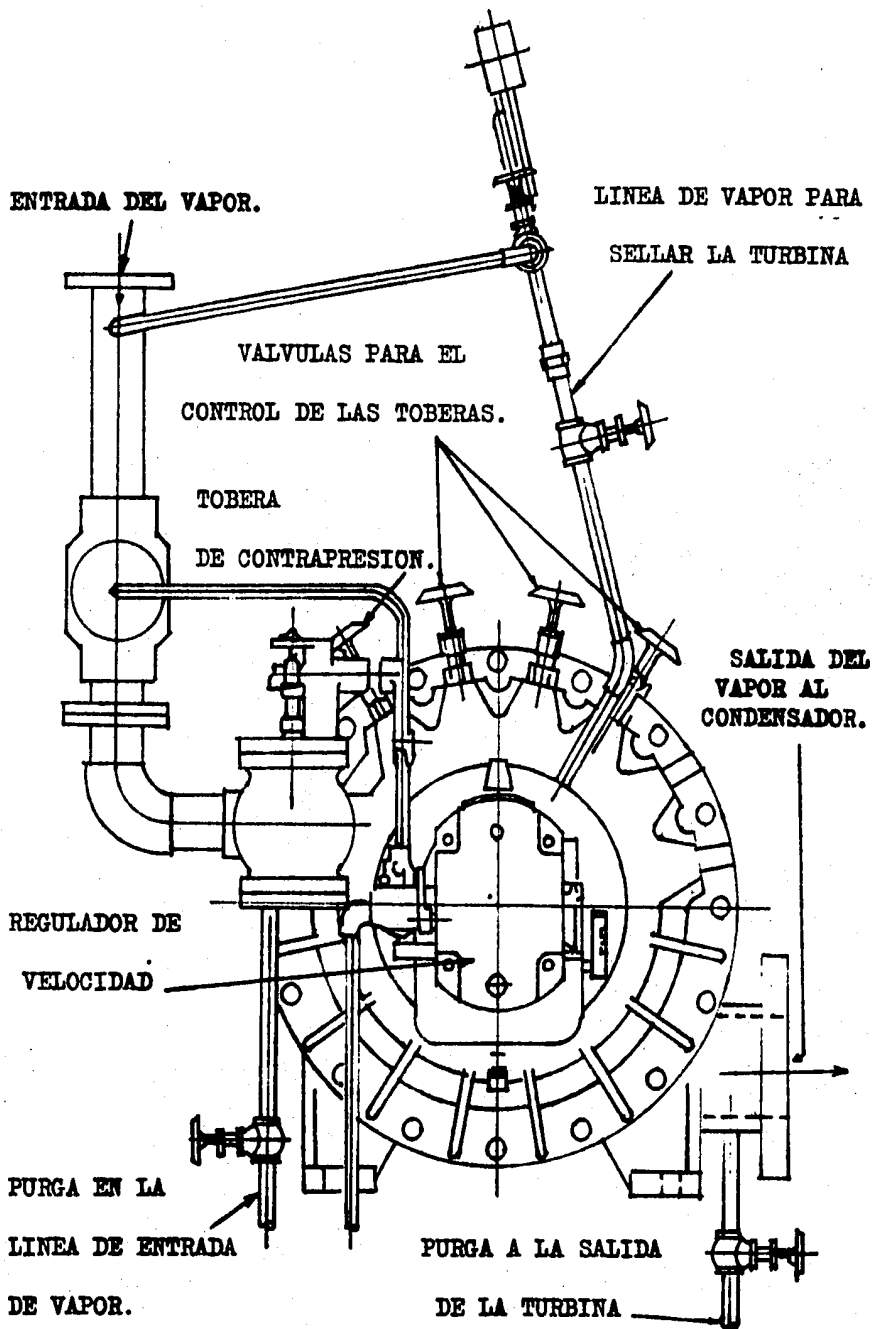
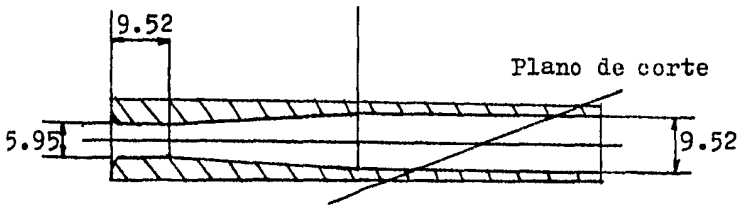
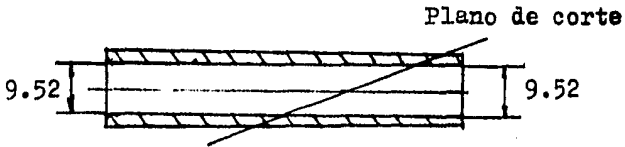


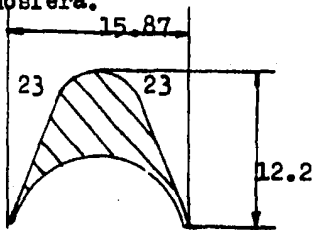
FIG.5 .-VISTA LATERAL DE LA TURBINA DE VAPOR.



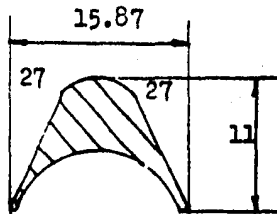
Dimensiones en mm de las tres toberas que se utilizan en condiciones normales de descarga (con condensador ).



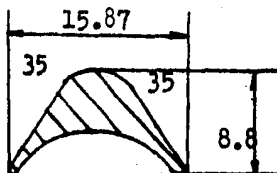
Tobera que se utiliza en condiciones de contrapresión ó descarga a la atmósfera.



Alabe de la primera hilera, móvil.



Alabe fijo de la segunda hilera.



Alabe móvil de la tercera hilera.

FIG. 6 .--DIMENSIONES DE LAS TOBERAS Y LOS ALABES.

## CONDENSADOR

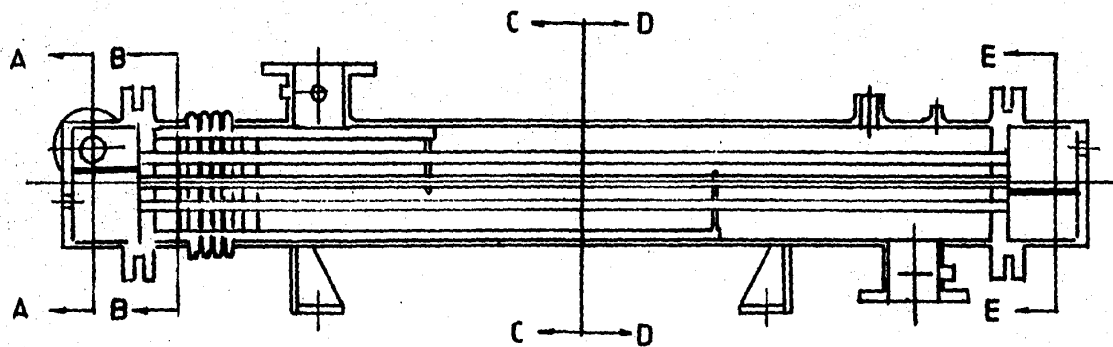
Este dispositivo se utiliza para condensar el vapor que sale de la turbina, este hecho tiene los siguientes propósitos fundamentales:

a).-Disminuir la presión de salida de la turbina, con lo cual se obtiene una mejor eficiencia.

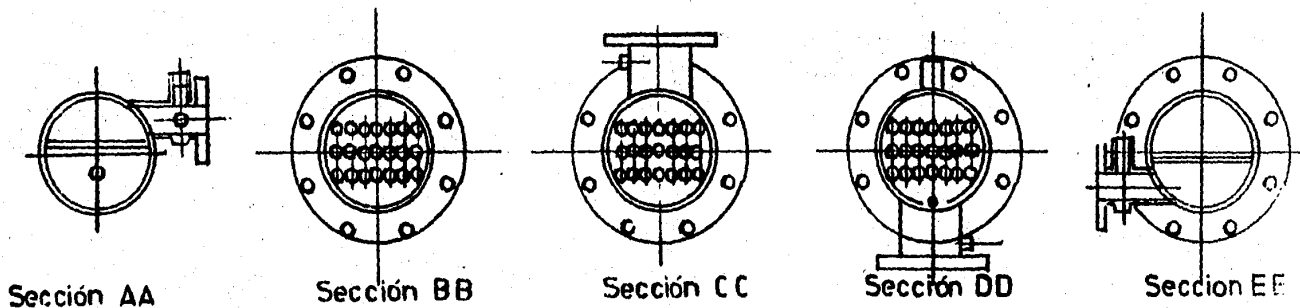
b).-Poder circular el condensado nuevamente al tanque de alimentación de la caldera.

El condensador que integra el equipo es un condensador de superficie, dentro de la carcasa existen hileras compactas de tubos por los cuales circula el agua de enfriamiento y el vapor a condensar solo entra en contacto con la superficie fría exterior de los tubos. El agua de enfriamiento recorre tres veces la longitud del condensador por lo que se trata de un condensador de tres pasos.

Para observar los detalles del condensador referirse a la fig. 7 .



Vista frontal



**FIG. 7 .-DETALLES DEL CONDENSADOR QUE UTILIZA LA TURBINA DE VAPOR  
DEL LABORATORIO DE MAQUINAS TERMICAS.**

## BOMBA DE VACIO

El condensador complementa su funcionamiento con la bomba de vacío, el cual evacúa el condensado y elimina el aire y los gases no condensables. Se trata de una bomba de vacío del tipo hidrocéntrico, esta bomba requiere para su funcionamiento un flujo de agua de 9 lts/min. Consiste de un impulsor que gira en una posición excéntrica con respecto a la carcasa de la bomba, los álabes del impulsor forman una serie de cavidades, al encender la bomba el agua forma un anillo líquido por acción de la fuerza centrífuga, debido a la excentricidad del impulsor las cavidades toman del puerto de entrada el condensado y los gases, el gas se comprime dentro de las cavidades y es conducido al puerto de descarga en donde sale junto con el condensado y parte del agua de servicio.

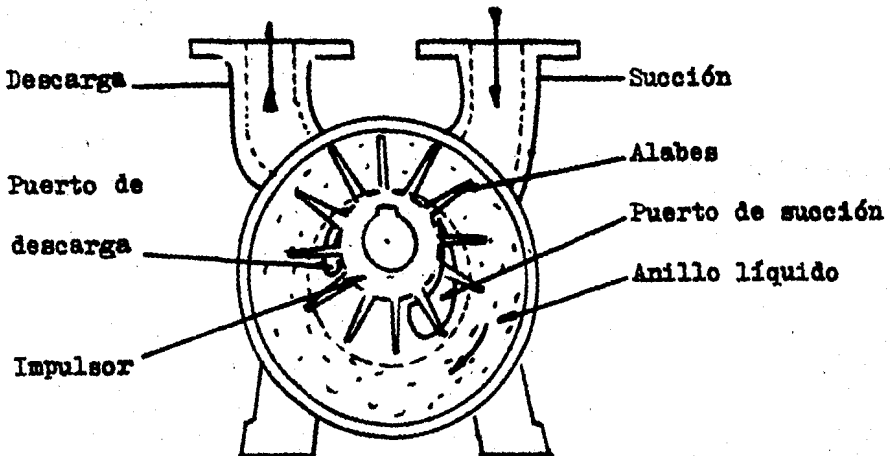


FIG. 8 .-PRINCIPIO DE OPERACION DE LA BOMBA DE VACIO.

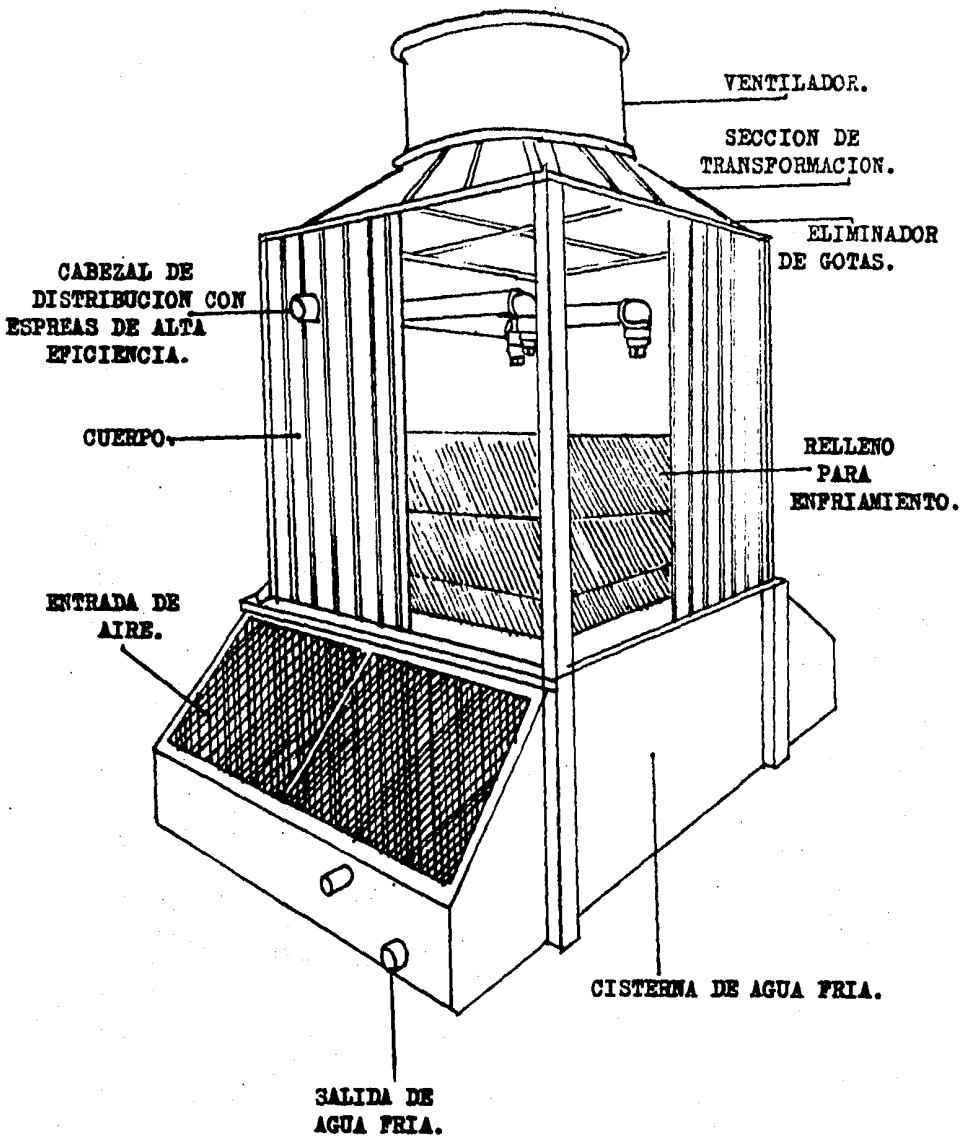
## GENERADOR DE VAPOR Y RECALENTADOR.

Estos dos equipos colocados en serie se encargarán de proporcionar el vapor en las condiciones de presión y temperatura que se requieren para el funcionamiento de la turbina, que son: Presión = 10 bars y Temperatura = 238 C ( vapor recalentado). El agua de alimentación de la caldera es tratada y el recalentador funciona a base de resistencias eléctricas.

## TORRE DE ENFRIAMIENTO.

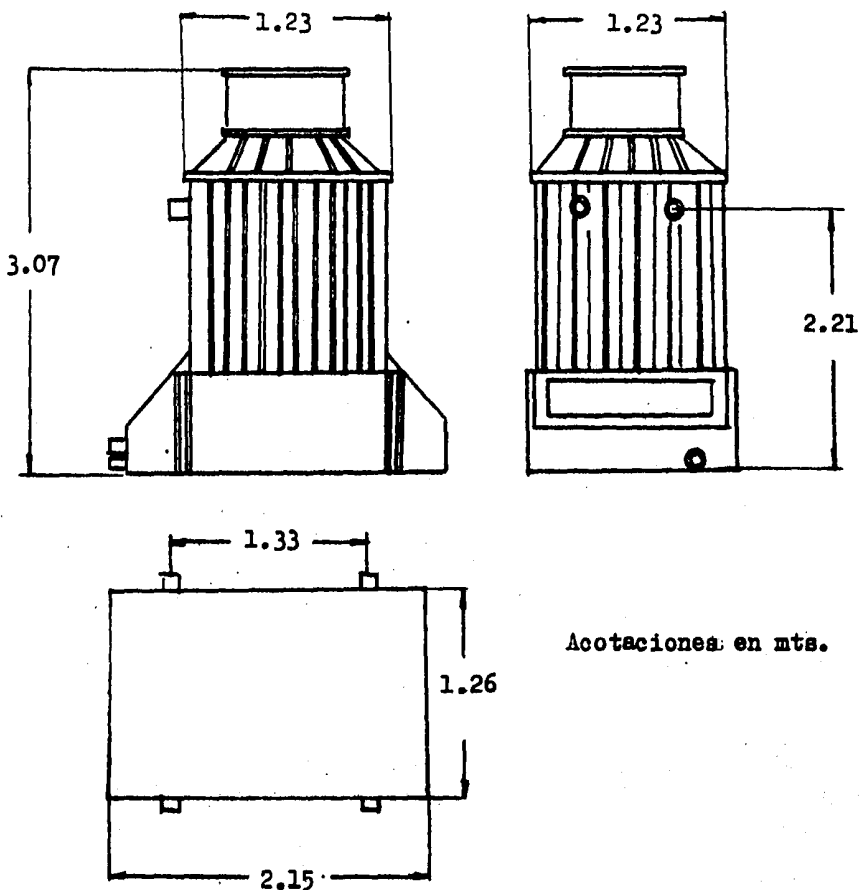
Este dispositivo se utiliza para enfriar el agua caliente que sale del condensador, después de haber sido utilizada por este para condensar el vapor, con el objeto de volver a utilizar el agua como medio de enfriamiento.

Una torre de enfriamiento enfría el agua por medio del contacto con el aire y por evaporación de una parte del agua, el aire puede circular por circulación natural ó forzada, en el equipo del laboratorio la circulación es forzada por medio de un ventilador. El agua se hace salpicar al caer de una bandeja a otra de la torre, ver fig. 9 y 10.



**FIG. 9 .-VISTA ISOMETRICA DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO  
DEL LABORATORIO DE MAQUINAS TERMICAS.**





Acotaciones en mts.

- Volumen de agua en el tanque = 650 lts.
- Peso de la torre sin tanque = 310 kgs.
- Peso total en operación = 1120 kgs.
- Peso de la cisterna = 160 kgs.

FIG.10.-DIMENSIONES DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.

III.-PROYECTO DE INSTALACION DE SERVICIOS AUXILIARES  
DE LA TURBINA Y COSTO APROXIMADO.

3.1.-PROYECTO DE INSTALACION DE SERVICIOS AUXI-  
LIARES DE LA TURBINA.

3.2.-CALCULO DE LA POTENCIA NECESARIA PARA LA  
BOMBA DEL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO.

3.3.-COSTO APROXIMADO DE LA INSTALACION.

3.1.-PROYECTO DE INSTALACION DE SERVICIOS AUXILIARES DE LA TURBINA.-Los servicios que se requieren para el funcionamiento del equipo son:

a).-Sistema de vapor.

b).-Sistema de agua de enfriamiento.

El sistema de vapor se encuentra totalmente instalado y en condiciones de ser utilizado,por lo que éste capítulo trata en escencia del sistema de agua de enfriamiento.

El sistema de agua de enfriamiento es un circuito de agua que entra al condensador y recorre interiormente los tubos de este con el propósito de absorber parte de la energía calorífica del vapor que está en contacto con la superficie externa de los tubos,provocando de esta manera la condensación del vapor.

Después de recorrer tres veces la longitud del condensador ( el condensador es de tres pasos ),el agua de enfriamiento sale con un incremento de temperatura el cual - depende del caudal de agua de enfriamiento y de las condiciones del vapor que sale de la turbina.

Para disipar el calor que el agua de enfriamiento absorbe en el condensador, se llevará ésta a la torre de enfriamiento que fue adquirida por el laboratorio con el propósito de reutilizar dicha agua.

Las dimensiones de la torre de enfriamiento así como las partes de la misma se muestran en detalle en las figs. 9 y 10 .

Después de pasar por la torre de enfriamiento el agua se almacena en la "cisterna de agua fría", la cual es parte integral de la torre, para luego pasar a una cisterna de mayores dimensiones, ya que como se demuestra en el siguiente cálculo el agua de enfriamiento tendría un tiempo de permanencia muy pequeño en la cisterna de agua fría:

De las dimensiones que aparecen en la figura 10 se sabe que la cisterna tiene una capacidad de  $.65 \text{ m}^3$ , entonces si el caudal de agua que necesita el condensador es de  $19 \text{ m}^3/\text{hr}$ .

( flujo dado por el fabricante ) tenemos:

$$\frac{19 \text{ m}^3}{1 \text{ hr.}} = \frac{.65 \text{ m}^3}{t}$$

donde  $t$  = tiempo de permanencia [ hrs. ]

despejando  $t = .0342 \text{ hrs} = 2 \text{ min } 3 \text{ seg.}$

Con lo cual se demuestra la necesidad de una cisterna auxiliar en la cual el agua tenga un tiempo de permanencia mayor y que además sirva para compensar las pérdidas de masa que se producen al saturar el aire que pasa por la torre, para encontrar las dimensiones de dicha cisterna se tomarán en cuenta los siguientes parámetros:

• Que el tiempo de permanencia del agua de enfriamiento sea de 15 min.

• Y que la tubería que forma el circuito de agua que va al condensador ( aprox. 60 m de largo y 2 " de diámetro interior ) se encuentre saturada de líquido.

Para resolver el primer punto el volumen deberá ser:

$$\left( \frac{19 \text{ m}^3}{1 \text{ hr.}} \right) (.25 \text{ hrs.}) = 4.75 \text{ m}^3$$

Para el segundo punto el volumen deberá ser:

$$\frac{\pi ( .0508 \text{ m } )^2}{4} ( 60 \text{ m } ) = .121 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el volumen total:

$$V_{\text{total}} = ( 4.75 + .121 ) \text{ m}^3 = 4.87 \text{ m}^3 \approx 5 \text{ m}^3$$

Si se piensa en una cisterna de forma cúbica, cada arista de dicha cisterna medirá:

$$L = \sqrt[3]{5 \text{ m}^3} = 1.7 \text{ mts.}$$

Además para que la cisterna siempre tenga el nivel que se requiere, el suministro de agua se puede hacer automático mediante una válvula accionada por un flotador, éste suministro deberá ser directamente de la tubería que viene de la planta de tratamiento de agua.

En la siguiente figura se muestra en forma esquematizada la manera en que se eslabonarán los principales elementos del sistema de agua de enfriamiento:

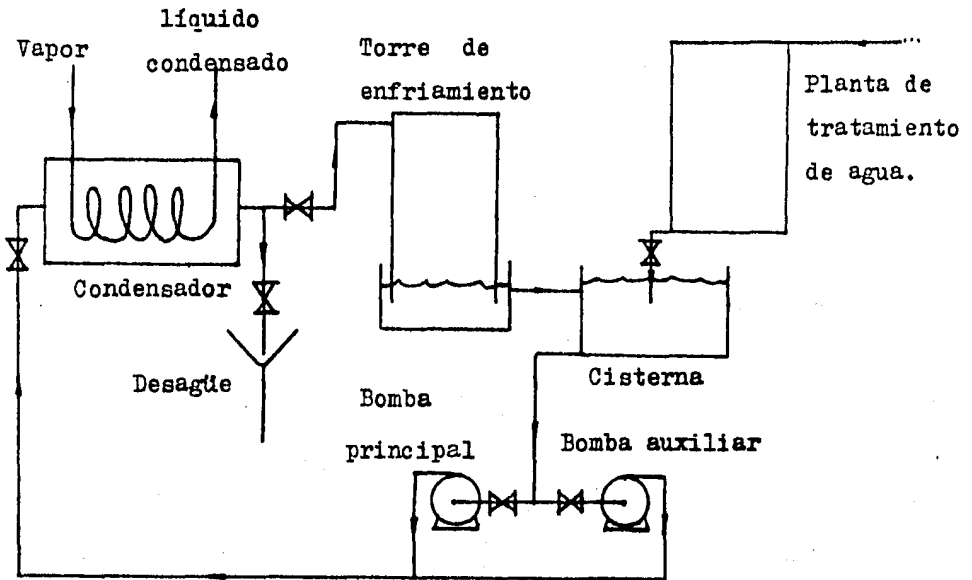
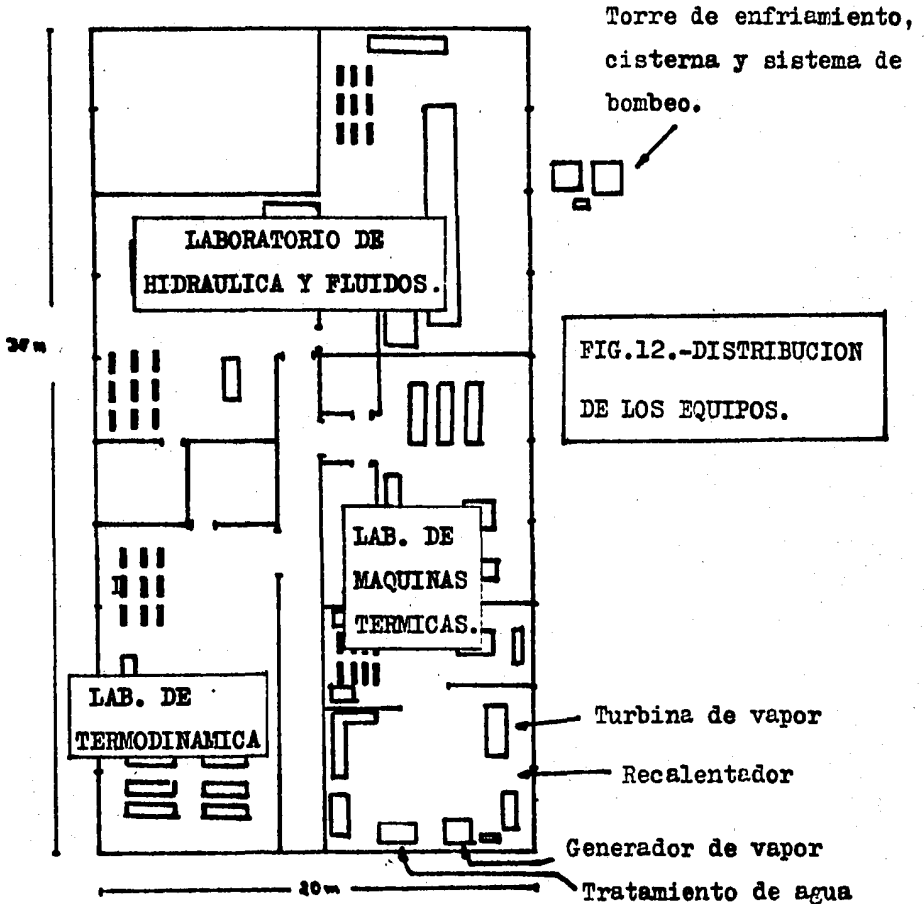


FIG.11.-ESQUEMA DEL RECORRIDO DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO.

En donde todas las válvulas deberán ser de compuerta excepto la salida del condensador que deberá ser de globo y servirá para regular el flujo de agua. Como se observa en la figura anterior el sistema de bombeo consta de dos bombas en paralelo, solo se utilizará una sola a la vez, dejando la otra para el caso en el cual la bomba principal se encontrará en reparación.

Debido a la distribución que tienen los equipos del laboratorio de máquinas térmicas, a las condiciones en las

cuales debe funcionar la torre de enfriamiento y a las construcciones cercanas al edificio, la ubicación que se le dio a la torre de enfriamiento y a la turbina de vapor es la que se muestra en la siguiente figura:



Tomando en cuenta las figuras 11 y 12 , las líneas



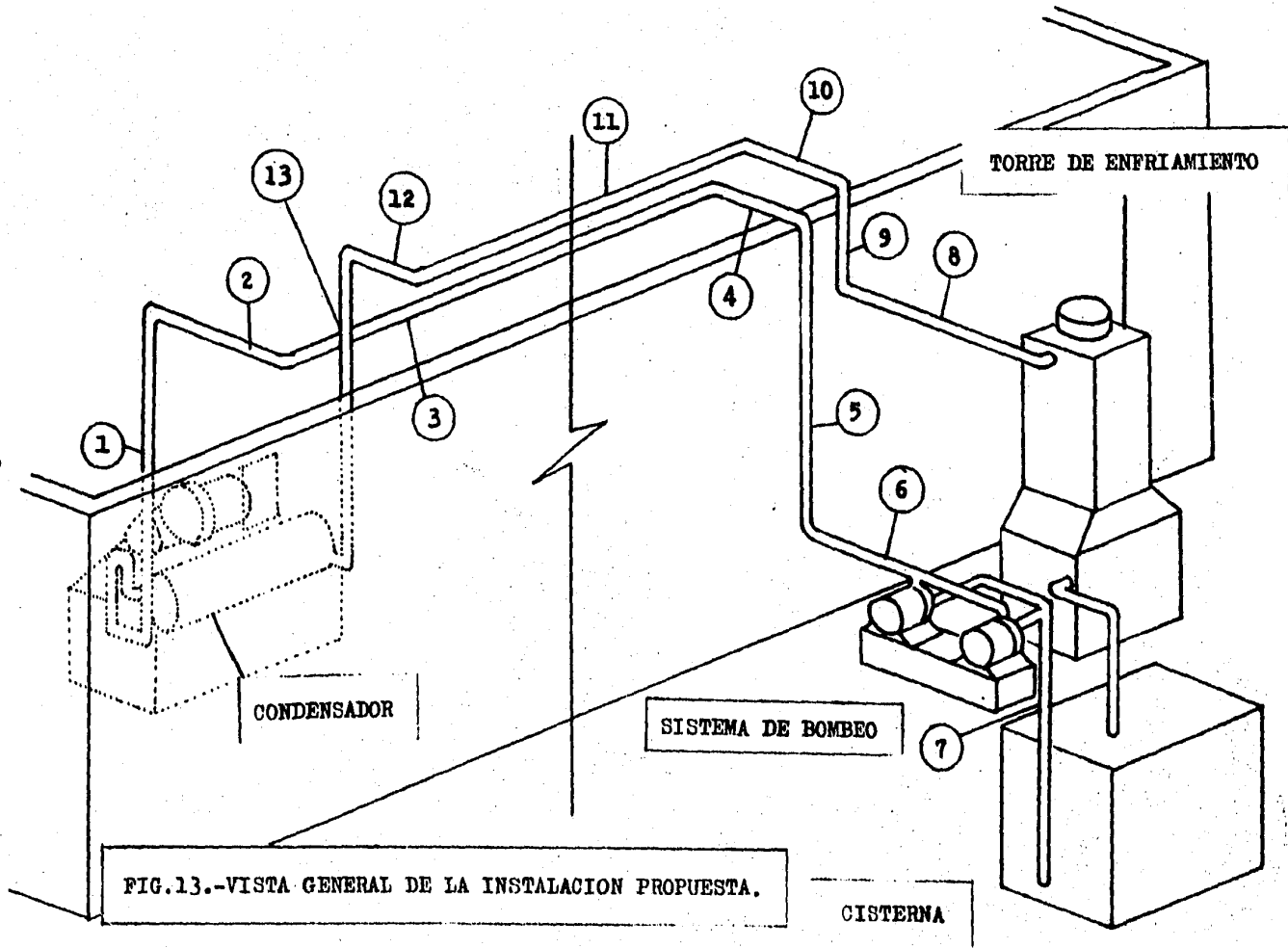


FIG.13.-VISTA GENERAL DE LA INSTALACION PROPUESTA.

CISTERNA

TORRE DE ENFRIAMIENTO

SISTEMA DE BOMBEO

CONDENSADOR

de tubería que ya existen en el laboratorio, el hecho de que en la parte posterior del equipo se leen algunas lecturas de presión y temperatura ( por lo que las líneas del sistema de agua de enfriamiento no deben interferir el paso del personal ) y de acuerdo con las dimensiones de la turbina el diseño que se propone es el de la figura 13 , en la cual los tramos de tubería aparecen numerados, en seguida aparecen estos mismos números acompañados de sus dimensiones reales.

No. tramo	Longitud [m]
1	2.17
2	1.6
3	21.9
4	.6
5	2.35
6	1.5
7	.4
8	1.2
9	.85
10	.6
11	20
12	1.18
13	2
Longitud total = 56.35 m	

Las características de la tubería del sistema de agua de enfriamiento deberán ser las siguientes:

Diámetro nominal = 2 pgs.

No. de cédula = 40

Peso de la tubería = 4.54 Kgs/m

Peso de la tubería con agua = 6.7 Kgs/m

Este diámetro de tubería fue seleccionado debido a que corresponde a la entrada de agua del condensador, sin embargo la salida de agua de enfriamiento del condensador y la entrada a la torre de enfriamiento son de 2 y 3 pgs. respectivamente, por lo que deberán ensamblarse las reducciones - apropiadas.

3.2.-Cálculo de la potencia necesaria para la bomba del sistema de agua de enfriamiento.-Para encontrar la potencia necesaria primero debemos encontrar las pérdidas de carga - que tiene el sistema debido a la longitud de la tubería, en seguida calcular las pérdidas de carga por causa de los accesorios, sumar estas pérdidas y calcular la potencia tomando en cuenta la eficiencia de la bomba.

a).-Cálculo de la pérdida de carga por fricción debida a la longitud de la tubería.-En esta parte nos valdremos de la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2 g}$$

donde :  $f$  = factor de fricción

$L$  = longitud de la tubería = 56.35 m

$D$  = diámetro interior de la tubería = .0525m

$V$  = velocidad promedio  $\left[ \frac{m}{seg} \right]$

$g$  = aceleración de la gravedad =  $9.81 \frac{m}{seg^2}$

$h$  = pérdida de carga por longitud  $[m]$

calculemos las incógnitas  $V$  y  $f$

a.1.).-Cálculo de la velocidad aplicando la ecuación de continuidad:

$$Q = \int v \Delta$$

donde:

$$Q = \text{Gasto} = 19 \frac{\text{m}^3}{\text{hr.}} = 5.27 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$\rho = \text{Densidad del flujo} = 1000 \frac{\text{Kgm}}{\text{m}^3}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (.0525 \text{ m})^2}{4} = 2.16 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Despejando la velocidad y substituyendo datos:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{5.277 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{seg}}{2.16 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 2.443 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

a.2.).-Calculo del factor de fricción  $f$  .-Este calculo implica encontrar el número de Reynolds  $R$  , el valor de la rugosidad relativa  $\frac{\epsilon}{D}$  y con estos datos entrar al diagrama de Moody el cual se presenta en la fig. 14 .

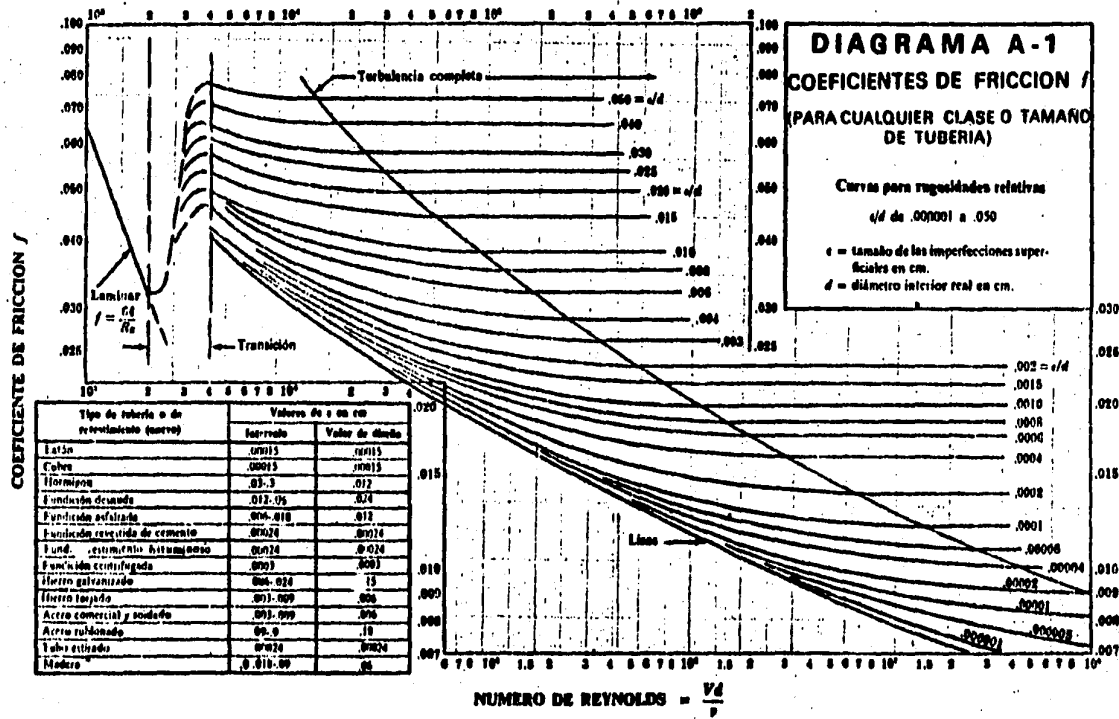
El número de Reynolds está definido por la siguiente ecuación:

$$R = \frac{V D}{\nu}$$

donde:

$\nu$  = viscosidad cinemática del agua la cual tiene un valor constante de  $= 1.13 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{seg}}$

substituyendo datos :



**FIG.14.-DIAGRAMA DE MOODY.**

-43-

$$R = \frac{(2.443 \text{ m / seg}) (.0525 \text{ m})}{1.13 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{seg}} = 113502.2$$

$$R \approx 1.1 \times 10^5 \Rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

Por lo tanto nos tendremos que valer del diagrama de Moody.

Ahora encontraremos la rugosidad relativa  $\frac{\epsilon}{D}$

donde :

$$\epsilon = \text{tamaño de las imperfecciones [cm]}$$

$$D = \text{diámetro interior} = 5.25 \text{ cm}$$

En el diagrama de moody aparece adjunta una tabla de valores de  $\epsilon$  , en donde se observa que para una tubería de acero comercial soldado :

$$\epsilon = .006 \text{ cm}$$

Entonces la rugosidad relativa es de :

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{.006 \text{ cm}}{5.25 \text{ cm}} = 1.142 \times 10^{-3}$$

Con los valores de  $\frac{\epsilon}{D}$  , R y con la ayuda del diagrama de Moody se encuentra el factor de fricción f el cual tiene

un valor de :

$$f = .03$$

Substituyendo los resultados obtenidos en la ecuación de D'arcy - Weisbach :

$$h_f = .03 \frac{(56.35 \text{ m}) (2.443 \text{ m/seg})^2}{(.0525 \text{ m}) 2 (9.81 \text{ m/seg}^2)}$$

$$h_f = 9.79 \text{ m}$$

b).-Calculo de la perdida de carga por fricción debida a los accesorios.-Se utilizará la siguiente fórmula:

$$h_e = K \frac{v^2}{2g}$$

donde:

$$h_e = \text{Pérdidas de carga por accesorios} \quad [ \text{m} ]$$

K = ctte. para cada accesorio.

Los valores de K para cada accesorio se encuentran resumidos en la siguiente tabla la cual fue extraída del libro "Mecánica de fluidos" de Victor L. Streeter :



PERDIDAS POR ACCESORIOS	
ACCESORIO	K
Válvula de globo	10
Válvula de ángulo	5
Válvula de retención	2.5
Válvula de compuerta	.19
Codo en "V"	2.2
Conexión "T" standard	1.8
Codo 90° standard	.9
Codo 90° radio medio	.75
Codo 90° radio largo	.6
De deposito a tubería	.5
De tubería a deposito	1

Haciendo un recuento de los accesorios (para lo cual nos hemos valido de las figs. 11 y 13 ) se tiene que :

No.	ACCESORIO	K	(No.)(K)
2	Válvula de compuerta	.19	.38
1	Válvula de globo	10	10
18	Codo 90° standard	.9	3.42
5	De deposito a tubería	.5	2.5
5	De tubería a deposito	1	5
$\Sigma$ K No. =			21.3

Substituyendo datos en la fórmula para pérdidas de carga por accesorios :

$$h_e = ( 21.3 ) \frac{ ( 2.443 \text{ m/seg} )^3 }{ 2 ( 9.81 \text{ m/seg}^2 )}$$

$$h_e = 6.47 \text{ m}$$

c).-Sumando las pérdidas de carga por longitud de tubería  $h_f$  más las pérdidas de carga debidas a los accesorios  $h_e$  se encuentran las pérdidas de carga totales  $H$  ó sea :

$$H = h_f + h_e$$

Substituyendo :

$$H = 9.79 \text{ m} + 6.47 \text{ m}$$

$$H = 16.26 \text{ m}$$

d).-Cálculo de la potencia .-Se utilizará la siguiente fórmula :

$$P = \omega Q H$$

donde:

$$P = \text{Potencia} \left[ \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{seg}} \right]$$

$$\omega = \text{Peso específico del agua} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Substituyendo:

$$P = (1000 \text{ Kgm/m}^3)(5.277 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg})(16.26\text{m})$$

$$P = 85.8 \frac{\text{Kgm} \cdot \text{m}}{\text{seg}}$$

Sin embargo se debe de transformar este valor a unidades de potencia mas conocidas comercialmente:

$$P = \left[ 85.8 \frac{\text{Kgm} \cdot \text{m}}{\text{seg}} \right] \left[ \frac{1 \text{ KW seg}}{102 \text{ Kg} \cdot \text{m}} \right] = .841 \text{ KW}$$

$$P = \left[ .841 \text{ KW} \right] \left[ 1.341 \frac{\text{H.P.}}{\text{KW}} \right] = 1.12 \text{ H.P.}$$

Este valor representa la potencia que la bomba necesita suministrarle al fluido ( potencia hidráulica ).

El rendimiento mecánico de una bomba  $C_m$  está definido por la relación entre la potencia hidráulica y la potencia al freno que desarrolla la bomba;

$$C_m = \frac{\text{Potencia hidráulica}}{\text{Potencia al freno}}$$

Suponiendo  $C_m = 80\%$  y tomando el valor comercial inmediato superior de potencia:

$$\text{Potencia al freno} = (1.12 \text{ H.P.}) \left( \frac{1}{.8} \right)$$

$$\text{Potencia al freno} = 1.4 \text{ H.P.} \approx 2 \text{ H.P.}$$

3.3.-COSTO APROXIMADO DE LA INSTALACION.-La siguiente estimación del costo se refiere al costo de los materiales y la mano de obra principalmente:

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
1.-Tubería de 2" de diámetro nominal y cedula 40 de acero galvanizado.	60 m	3400 \$/m	\$204000
2.-Válvula de compuerta en bronce, roscada para tubería de 2" de diámetro nominal (125 lb)	4	23502\$/pza.	\$94008
3.-Válvula de globo en bronce, roscada - para tubería de 2" de diámetro nominal (presión 125 lb.).	1	28467\$/pza.	\$28467

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
4.-Válvula de retención (pichancha) de bronce roscada para tubería de 2"	1 pza	47959 \$/pza	\$47959
5.-Bomba de 2 H.P. con diámetro de succión y descarga de 2",impulsor de fierro,motor contra goteo.	2 pzas	132250\$/pza.	\$264500
6.-Codo 90° roscado para tubería de 2" de diámetro nominal en acero galvanizado radio estandar.	18 pzas	2783 \$/pza	\$54094
7.-Coples roscados para tubería de 2" de diámetro nominal	8 pzas	3450 \$/pza	\$27600

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
8.-Reduccion de 3" a 2" para tubería - roscada.	2	2780 \$/pza	\$5560
9.-Brida para tubería de 2" de diámetro nominal roscada	2	5267 \$/pza	\$10534
10.-Soportes para tubería hechos en perfil de ángulo - de 2" X 2"	10	1600 \$/pza.	\$16000
11.-Mano de obra para el armado y anclaje de la tubería	6 personas durante 10 días.	1800 \$/8 hr	\$108000
12.-Cisterna	1	\$80000	\$80000

Costo final aproximado .....\$940722.00

27-Mayo-85

**IV.-PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE DE LA TURBINA.**

**4.1.-AVISOS Y PRECAUCIONES.**

**4.2.-PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE DE LA TURBINA.**

**4.3.-PROCEDIMIENTO PARA DETENER EL EQUIPO.**

4.1.-AVISOS Y PRECAUCIONES.-La turbina de vapor puede contener vapor a más de 240°C de temperatura y con una presión de 10 bars. por lo tanto deberá tenerse cuidado de no tocar las superficies expuestas de metal durante la operación .Las descargas de energía eléctrica pueden llegar a ser fatales por lo que se deberá revisar cuidadosamente que ninguna cubierta del sistema eléctrico haya sido removida ó extraída,asegurarse de que toda conexión a tierra haya sido hecha correctamente.

El personal que tenga a su cargo el equipo se deberá asegurar que este se encuentre en condiciones seguras de mantenimiento y reparación.

Antea de arrancar el equipo se deberá revisar el nivel de aceite en la turbina y en el regulador de velocidad, si el nivel es bajo se deberá agregar el aceite hasta que el nivel coincida con la marca calibrada.Los tipos de aceite que se requieren para la turbina y el regulador de velocidad se especifican en la sección en la que se describe al equipo.

Se debera girar con la mano la flecha de la turbina



y la de las bombas a fin de asegurarse que estas giran libremente.

En general todas las válvulas deberán estar ó completamente abiertas ó completamente cerradas a menos que se especifique lo contrario. Se debe estar seguro de que este circulando agua fresca en el condensador antes de que el vapor sea admitido por la turbina.

Por último se deberá tener presente que las válvulas centinelas de la turbina, las cuales señalan una condición de sobrepresión, sólo están diseñadas para advertir esta condición, más no para corregirla.

4.2.-PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE DE LA TURBINA.-Las válvulas a las que se refiere esta sección están detalladas en las figuras 15,16 y 17 ,las cuales muestran desde diferentes ángulos las posiciones de estas.Para poner en funcionamiento el equipo se deberá seguir la siguiente secuencia:

a).-Poner en funcionamiento el generador de vapor.

b).-Cerrar las válvulas V1 y V2,las cuales están en la línea de suministro de vapor.

c).-Verificar que haya suficiente agua en la cisterna de la torre de enfriamiento.

d).-Abrir todas las válvulas que forman el circuito del sistema de agua de enfriamiento.

e).-Asegurarse que se induzca la circulación del agua de enfriamiento mediante el cebado adecuado de la bomba del sistema de agua de enfriamiento,encender esta bomba y accionar el interruptor eléctrico para poner en funcionamiento del ventilador de la torre de enfriamiento.

f).-Controlar el flujo de agua que atraviesa el condensador cerrando lentamente la válvula de globo V4,la cual se encuentra en la salida para agua de enfriamiento del condensador.

g).-Abrir la válvula V5 para purgar el agua conden-

sada en la línea de entrada del vapor.

h).-Abrir completamente la válvula V6 la cuál es la salida de vapor de la turbina.

i).-Abrir la válvula V7 para purgar el agua condensada en la línea de salida del vapor en la turbina.

j).-Abrir la válvula V8 la cuál libera el aire que se encuentre en el condensador.

k).-Abrir la válvula V9 para purgar el condensador, esta se encuentra junto a la línea condensador-bomba de vacío.

l).-Sacar el agua del tanque de medición de condensado por medio de la válvula V10 y verificar la calibración de la báscula adjunta.

m).-Sacar el agua del tanque del condensado por medio de la válvula V11.

n).-Cerrar las válvulas V12, V13 y V14 las cuales sellan con vapor el prensaestopas de la turbina.

o).-Cerrar la válvula V15 la cuál esta entre el condensador y la bomba de vacío.

p).-Asegurarse que todos los interruptores de carga eléctrica que se encuentran en el panel de controles estén apagados.

q).-Cerrar las válvulas que permiten el paso de va-

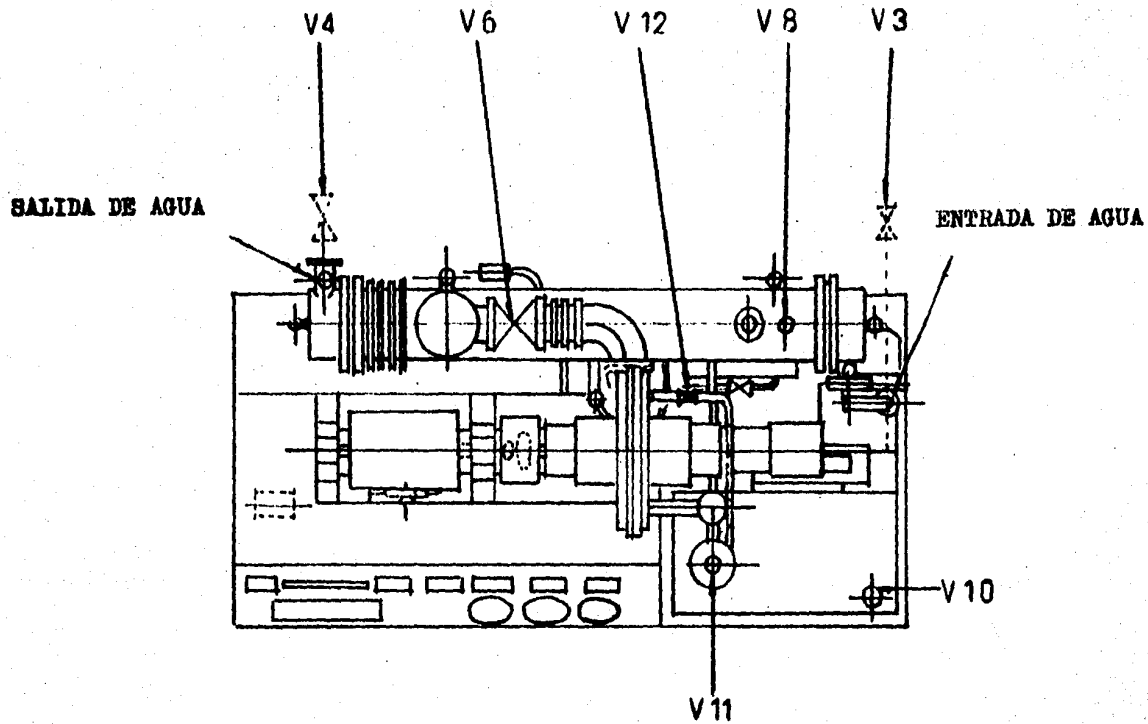


FIG.15.-VISTA ELEVADA MOSTRANDO LA POSICION DE LAS VALVULAS

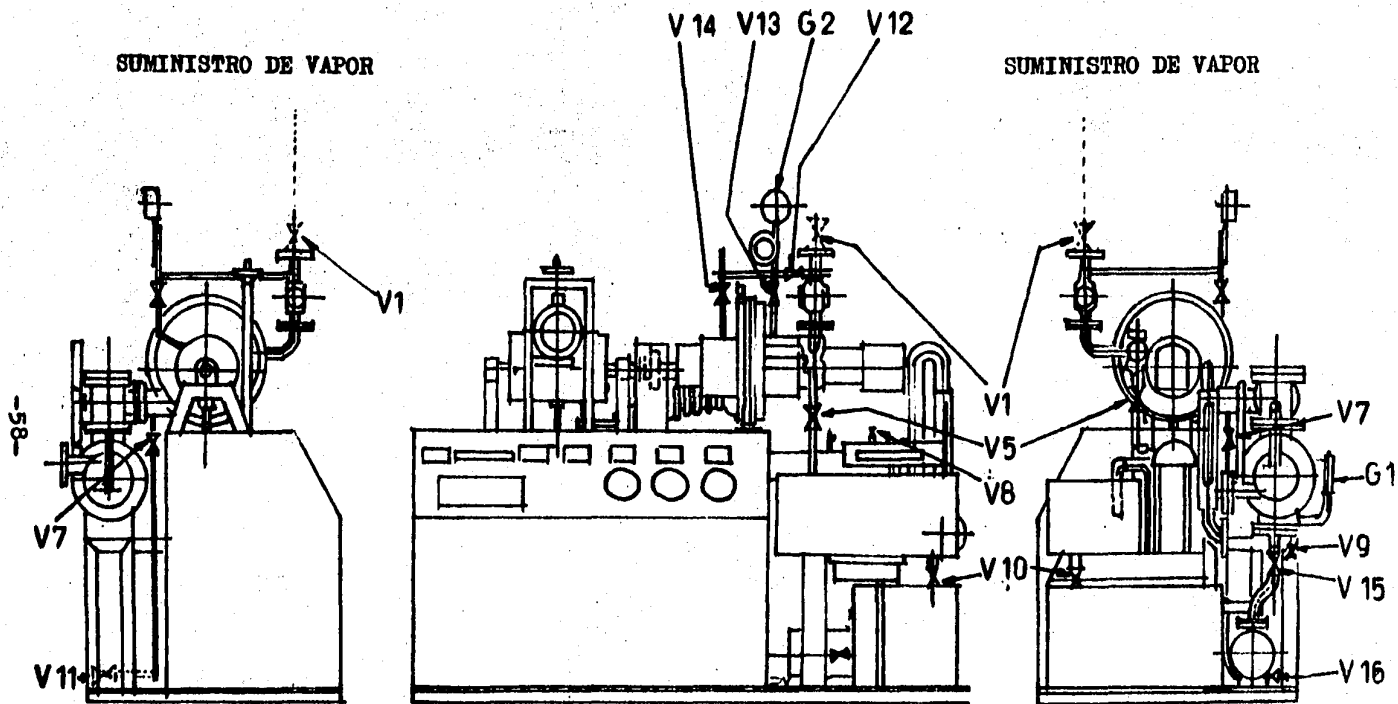


FIG.16.--VISTAS LATERALES Y FRONTALES MOSTRANDO LA POSICION DE LAS VALVULAS.

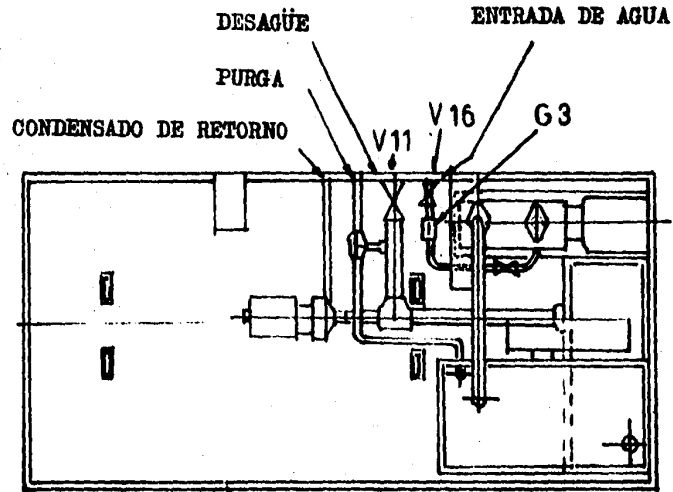
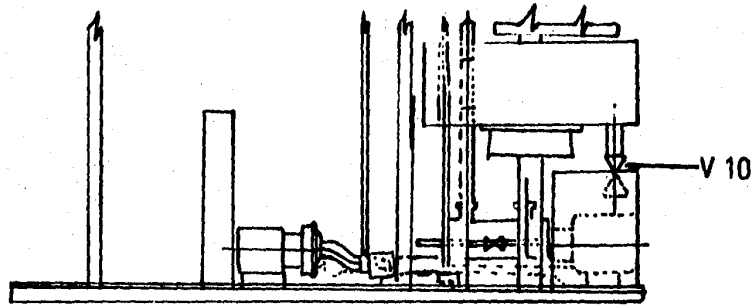


FIG.17.-POSICION DE LAS VALVULAS EN LA BASE DE LA TURBINA.

por a través de las toberas.

r).-Checar que el nivel de aceite en la turbina llegue hasta la marca calibrada.

s).-Asegurarse de que la palanca horizontal del gatillo de seguridad esté embragado. El gatillo de seguridad se dispara cuando la velocidad de la turbina excede un 25% la velocidad normal, este actúa cerrando el suministro de vapor para protección de los elementos móviles de la turbina de vapor.

t).-Abrir la válvula V2 la cual se encuentra en la línea de suministro de vapor, antes del recalentador, y lentamente abrir la válvula V1 para permitir que una pequeña cantidad de vapor entre a la turbina, esto se hace para asegurarse que la turbina se caliente.

u).-Cerrar la entrada de vapor a la turbina por medio de la válvula V1.

v).-Calibrar en cero el dinamómetro que mide la fuerza del par que recibe el generador D.C.

x).-Abrir lentamente la válvula V1 y permitir que la turbina gire, girar de regreso la válvula V1 para que la turbina se pare, pero dejando que el vapor pase silenciosamente a través de la turbina y el condensador y se descargue

en el desagüe del condensador abriendo la válvula V9.

y).-Conectar la corriente eléctrica exterior girando el interruptor eléctrico hasta la posición de encendido.

z).-Poner a funcionar el ventilador de enfriamiento el cual se encarga de circular aire sobre las cargas resistivas, este ventilador debe funcionar antes de que algún otro elemento eléctrico lo haga por ejemplo las bombas.

aa).-Abrir el suministro de agua para la bomba de vacío por medio de la válvula V16, el caudal suministrado debe ser de 9 lta/min.

bb).-Presionar el botón de encendido de la bomba de vacío el cual se encuentra en el panel de controles del equipo. Se deberá tener cuidado de que la bomba no llegue a ser tapada con agua, el tiempo entre abrir el suministro de agua y la presión sobre el botón de encendido debe ser mínimo. No presionar el botón antes de que el agua sea admitida.

cc).-Abrir la línea que va del condensador a la bomba de vacío por medio de la válvula V15.

dd).-Cerrar el desagüe del condensador con la válvula V9.

ee).-Cerrar la válvula V8 de liberación de aire del condensador.



ff).-Cerrar la válvula V7, así como la válvula V5.

gg).-Abrir completamente la entrada de vapor a la turbina por medio de la válvula V1. La turbina comenzará a elevar su velocidad, el regulador deberá controlar la velocidad de la turbina entre 3000 y 3300 r.p.m. .Gire el tornillo del regulador para ajustar la velocidad, este se localiza al final del regulador, en sentido inverso a las manecillas del reloj para aminorar la velocidad ó en el sentido de las manecillas para incrementar la velocidad. La correcta velocidad de la turbina es de 3000 r.p.m. .Si el regulador no esta asumiendo el control de velocidad apagar el sistema y consultar la sección sobre las posibles causas de falla del regulador de velocidad.

hh).-Lentamente abrir la válvula V12 hasta que aproximadamente el manómetro G2 indique una presión de 2 bars.

ii).-Abrir las válvulas V13 y V14 para que el aire que esta en el prensaestopas escape junto con vapor.

jj).-Permitir que la turbina gire sin carga para lograr condiciones estables en todo el sistema.

kk).-Para agregar carga a la turbina se acciona un interruptor de carga eléctrica hasta la posición de encendido , estos interruptores se encuentran en el panel de instrumen-

tos. Ajustar el voltaje girando la perilla del reóstato y reajustar la velocidad de la turbina a 3000 r.p.m. , en cada incremento de carga emplear el mismo procedimiento - hasta que todos los interruptores de carga eléctrica estén en la posición de encendido. Al ir incrementando la carga se deberán ir abriendo las válvulas que permiten el paso de vapor a través de las toberas para que pueda entrar más vapor. La turbina tiene 3 toberas para condiciones de vacío en la descarga, es decir, cuando se hace uso del condensador y 1 tobera para condiciones de contra-presión, es decir cuando la turbina descarga a la presión atmosférica.

11).-Variaciones de contra-presión pueden ser conseguidas abriendo la válvula V8 para romper el vacío del condensador y también cerrando parcialmente el escape de vapor de la turbina con la válvula V6, esta válvula nunca deberá estar completamente cerrada cuando esté funcionando la turbina.

mm).-Para medir el vapor usado por la turbina en una prueba se deberá cerrar la entrada de agua que alimenta a la bomba de vacío (el condensado extraído es suficiente para formar el anillo líquido ) y medir el agua colectada en el tanque de medición por unidad de tiempo, alternativamente se

puede tomar una nota del flujo de agua que requiere la bomba de vacío con el medidor G3 en el comienzo y final de la prueba y restar este flujo del condensado total. Abrir la válvula V10 para descargar el tanque de medición.

nn).-Para descargar el condensado al tanque alimentador de la caldera se deberá cerrar la válvula V11 y presionar el botón de encendido de la bomba del condensado de retorno el cual se encuentra en el panel de controles. Asegurarse que la bomba no esté girando en seco sin agua presente en el tanque.

#### 4.3.-PROCEDIMIENTO PARA DETENER EL EQUIPO:

a).-Colocar todos los interruptores de carga en posición de apagado e ir ajustando el regulador de velocidad para que la turbina no incremente su velocidad.

b).-Cerrar el suministro de vapor por medio de la válvula V1. Alternativamente liberar la palanca horizontal del gatillo de seguridad, entonces cerrar V1.

c).-Cerrar el suministro de agua a la bomba de vacío con la válvula V16

d).-Abrir el desagüe del condensador por medio de la válvula V9.

e).-Presionar el botón de apagado de la bomba de vacío.

f).-Cerrar la línea que va del condensador a la bomba de vacío con la válvula V15.

g).-Abrir la liberación de aire del condensador con válvula V8.

h).-Abrir las válvulas de purga V7 y V5.

i).-Abrir todas las válvulas de las toberas.

j).-Presionar el botón de apagado de la bomba del condensado de retorno. Tener cuidado de no introducir aire

dentro de la bomba.

k).-Cuando el banco de elementos resistivos este frío se deberá presionar el botón de apagado del ventilador que enfría el banco de resistencias eléctricas.

l).-Abrir la válvula V11 para sacar los residuos de agua del tanque de condensado.

m).-Cuando todo residuo de calor haya sido absorbido por el agua de enfriamiento que atraviesa el condensador se deberá apagar la bomba que impulsa este fluido.

n).-Cerrar las válvulas V3 y V4 las cuales están en la entrada y en la salida del agua de enfriamiento del condensador.

o).-Apagar el ventilador de la torre de enfriamiento.

p).-Apagar el generador de vapor.

q).-Desconectar la energía eléctrica exterior.

V.-ALTERNATIVAS DE PRACTICAS QUE SE PUEDEN REALIZAR  
EN LA TURBINA.

5.1.-PRACTICA DE LA TURBINA DE VAPOR PARA EL LABO-  
RATORIO DE MAQUINAS TERMICAS.

## 5.1.-PRACTICA DE LA TURBINA DE VAPOR PARA EL LABORATORIO DE MAQUINAS TERMICAS:

### 1.-OBJETIVOS DE LA PRACTICA.

a).-Introducir al alumno al campo de las turbinas de vapor, estudiando sus partes fundamentales y los principios termodinámicos que las rigen.

b).-Analizar el comportamiento de una turbina bajo diferentes condiciones de carga, graficando sus curvas características y calculando sus eficiencias.

### 2.-GENERALIDADES.

Las turbinas de vapor deben su importancia al hecho de que en la actualidad la mayor parte de la energía eléctrica que se consume se genera en las plantas termoeléctricas, las cuales funcionan bajo el principio del ciclo Rankine, para llevar a cabo este ciclo se necesitan 4 elementos principalmente: Caldera, Turbina, Condensador y Bomba, de estos elementos uno de los mas importantes es la turbina de vapor.

La turbina de vapor es una máquina para producir

trabajo relativamente nueva, pues solo a principios de este siglo fué cuando empezó a tener uso comercial, es una máquina de alta velocidad en relación con las máquinas de movimiento alternativo. Las capacidades desde 100 000 KW hasta 450 000 KW y más se alcanzan en la práctica con turbinas de vapor, pero están fuera de las posibilidades de cualquier clase de máquina de movimiento alternativo. Sin embargo también las pequeñas turbinas son muy comunes, especialmente cuando su alta velocidad de rotación es ventajosa, como en la impulsión de bombas rotatorias de alta velocidad. Además se utilizan turbinas grandes y pequeñas con reducciones de velocidad por engranajes para condiciones en que las velocidades han de ser más bajas.

Inicialmente se desarrollaron las turbinas de eje vertical por abarcar menos espacio, pero posteriormente las turbinas horizontales fueron las que predominaron.

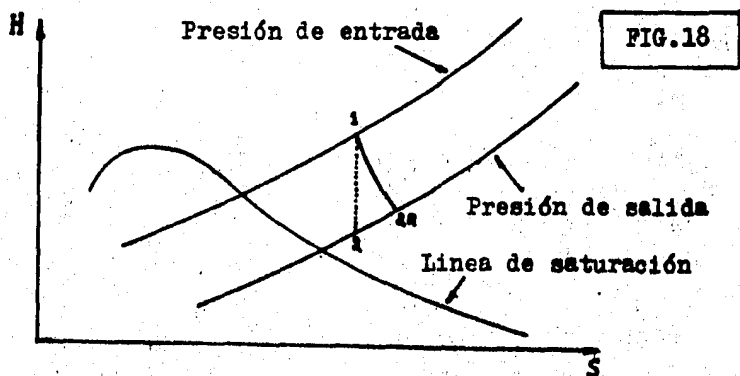
### 3.-PRINCIPIO DE OPERACION DE LA TURBINA DE VAPOR:

Una turbina es un dispositivo usado para extraer trabajo de un vapor a alta presión hasta una baja presión.



El vapor es acelerado en una serie de toberas fijas adquiriendo una gran energía cinética a expensas de un decremento en la entalpía. La alta velocidad del vapor descargandose desde las toberas cambia de dirección al chocar con los álabes móviles los cuales están fijos al rotor y la fuerza ejercida sobre los álabes es directamente proporcional al cambio en la cantidad de movimiento de el vapor. Por consiguiente trabajo útil es producido en la flecha de la turbina.

La velocidad del flujo de vapor al atravesar la turbina es muy alta y por lo tanto el proceso debe considerarse adiabático, sin embargo debido a la fricción del vapor con los álabes y las toberas el proceso es irreversible y de aquí que no sea isentrópico. El máximo trabajo que podría ser obtenido en la flecha debería ser el producido por un proceso de expansión isentrópica ó sea un proceso reversible y adiabático tal como se muestra en el siguiente diagrama H-S :



En donde el vapor al entrar a la tobera es mostrado por el punto 1 y el estado real del vapor a la salida de la turbina es mostrado por el punto 2R, ahora bien, considerando una expansión isoentrópica del vapor hasta la presión de salida el estado final sería el mostrado por el punto 2. La caída de entalpía real está dada por la curva 1-2R y la caída de entalpía isoentrópica está dada por la línea punteada 1-2.

#### 4.-COMPORTAMIENTO DE LAS TURBINAS.

La cantidad de energía que el vapor tiene disponible para ser convertida en trabajo depende de la presión y la temperatura iniciales y la manera en que el vapor se expande hasta llegar a la presión de salida de la turbina.

Teóricamente la curva de expansión del vapor representado en un diagrama de Mollier es una línea vertical - pues se considera un proceso adiabático ( s-cte. ); en realidad se trata de un proceso politrópico que se asemeja al adiabático pero que prácticamente nunca llega a serlo.

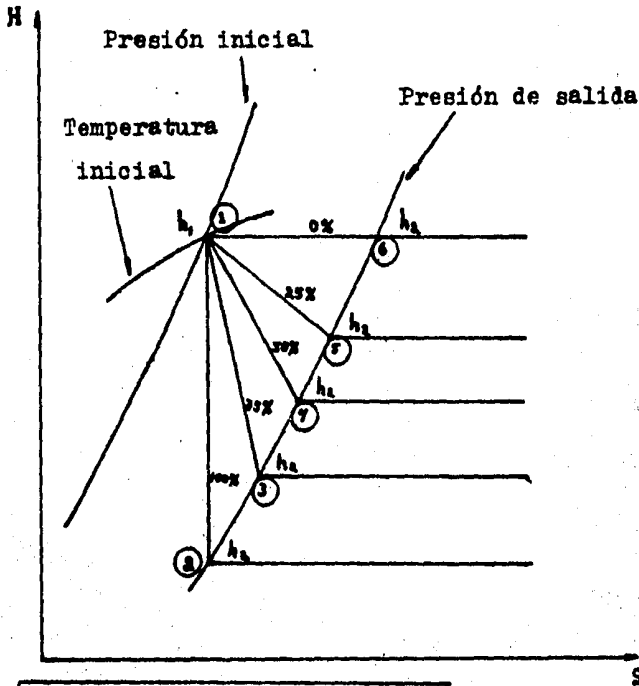


FIG.19.\_CURVAS DE EXPANSION.

En la figura anterior se representan varias curvas de expansión, el proceso 1-2 representa una expansión ideal en la cual la eficiencia sería del 100 %, el proceso de 1-6 representa una expansión isentálpica, la cual se debe obtener al expandir el vapor desde la presión inicial hasta la presión final sin realizar ningún trabajo, este tipo de expansión es el que se realiza en los calorímetros de estrangulación, la eficiencia de esta expansión sería del 0%, también se pueden observar curvas de expansión con diver-

sos valores de eficiencia.

Las curvas de expansión varían con la carga de la turbina como se muestra en la siguiente figura, en la cual se representan las curvas de expansión a varias cargas diferentes. Cuando la válvula de control estrangula la presión decrece isocentálpicamente por lo cual la entalpía de salida aumenta y la energía total aprovechada disminuye.

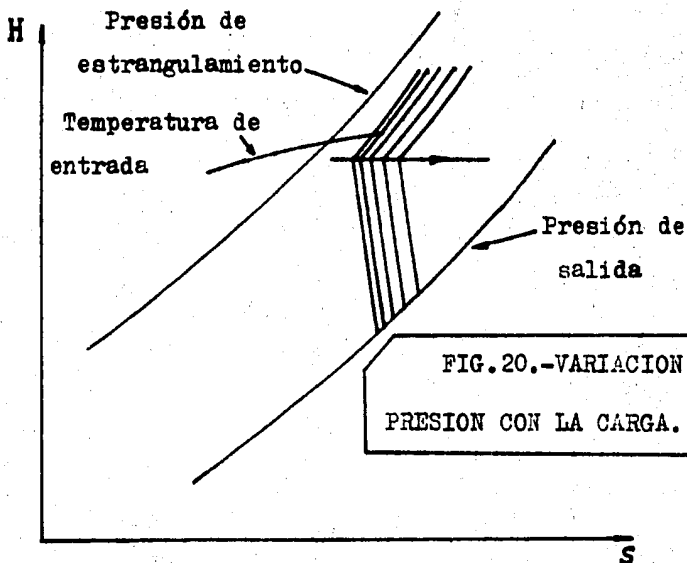


FIG. 20.-VARIACION DE LA PRESION CON LA CARGA.

### 5.-CLASIFICACION DE LAS TURBINAS DE VAPOR.

- |                          |   |                         |   |        |
|--------------------------|---|-------------------------|---|--------|
| Turbinas<br>de<br>vapor. | { | • De acción ó impulsión | { | Curtis |
|                          |   |                         |   | Rateau |
|                          |   | • Reacción              |   |        |
|                          |   | • De combinación.       |   |        |

5.1.-Las turbinas de acción ó impulsión pueden ser de velocidad ( ó Curtis ) y de presión ( ó de Rateau ) , en las turbinas de velocidad toda la caída de presión ocurre en la tobera, la velocidad del vapor es máxima al salir de la tobera y disminuye al pasar a través de los álabes móviles, por regla general las toberas no se extienden por completo alrededor de la periferia de las turbinas de acción ó impulso, por tanto en un instante particular el vapor no actúa sobre todas las paletas, una representación esquemática de una turbina con dos pasos de velocidad se muestra en la siguiente figura:

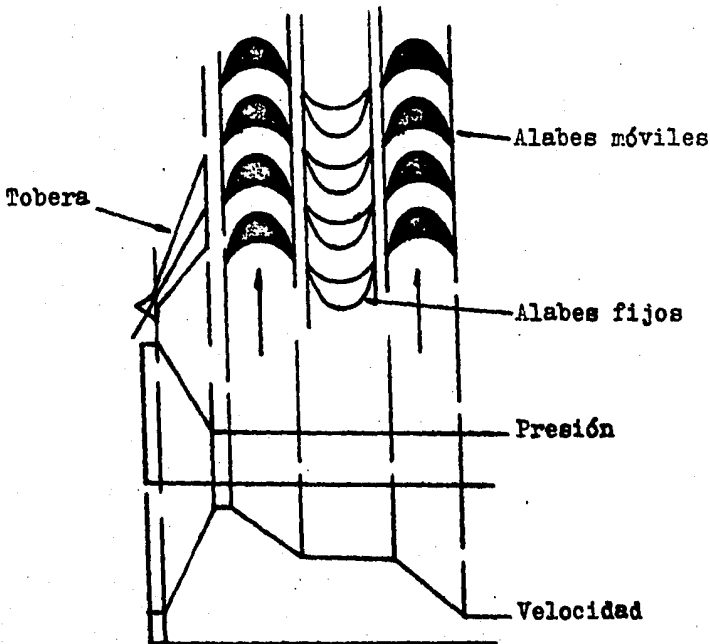


FIG.21.-TURBINA DE ACCION CON PASOS DE VELOCIDAD.

En las turbinas de acción con pasos de presión (Rateau) ver fig. 22 el vapor se expande por etapas, hay un grupo de toberas para cada expansión y una hilera de álabes para cada grupo, la velocidad resultante del vapor es suficientemente baja para ser absorbida por una velocidad razonable del rodete. Este proceso se repite tantas veces como sea necesario para expandir el vapor completamente.

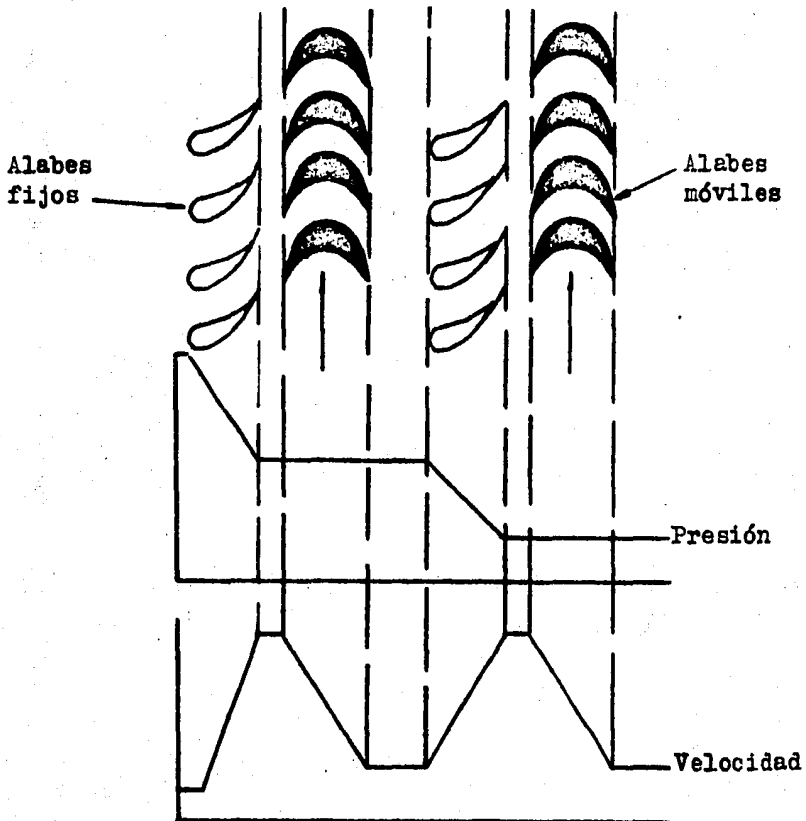


FIG.22.-TURBINA DE ACCION CON PASOS DE PRESION.

5.2.-En las turbinas de reacción teóricas la expansión del vapor tiene lugar en los álabes. Las turbinas designadas comúnmente como turbinas de reacción emplean los dos principios fundamentales, es decir de acción y de reacción.

En la fig. 23 se representa esquemáticamente una turbina de reacción. El vapor entra por la izquierda y atraviesa un grupo de álabes fijos, en los cuales tiene lugar cierta caída de presión.

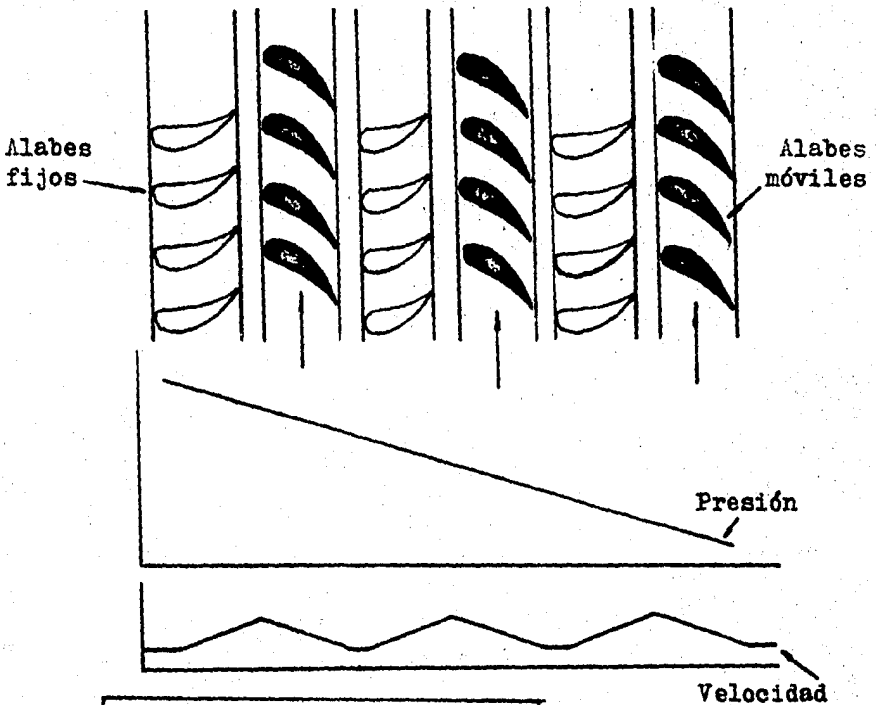


FIG. 23.-TURBINA DE REACCION.

Al pasar por el grupo siguiente de álabes los cuales son móviles se produce una nueva caída de presión. La velocidad adquirida en los álabes fijos y asimismo la producida en los álabes móviles es absorbida por éstos. Este proceso se repite tantas veces como sea necesario para expansionar el vapor completamente. En las turbinas de reacción el vapor se admite alrededor de toda la periferia, una práctica llamada admisión completa, de otro modo habría una fuga excesiva hacia las áreas de menor presión desde las zonas entre paletas que están llenas de vapor. En la figura anterior se representa una turbina con tres etapas ó saltos de reacción, la forma de lágrima de las paletas de reacción que se indican, es ahora común, excepto en las etapas de presión más bajas.

5.3.-Turbinas de combinación.-En vista de que las patentes básicas han desaparecido, es común que los fabricantes usen combinaciones de ideas de impulso y de reacción en turbinas medias y grandes. La primera etapa en algunas turbinas grandes es una etapa de Curtis. En general, las etapas subsiguientes pueden ser de reacción ó de Rateau.



6.-LA TURBINA DE VAPOR DEL LABORATORIO DE MAQUINAS TERMICAS.-Es una unidad compacta de dispositivos integrada por la turbina de vapor propiamente dicha, un condensador, un generador D.C. y todos los instrumentos necesarios para determinar las eficiencias de la turbina.

El equipo esta diseñado para realizar un ciclo Rankine con recalentamiento, la turbina cuenta con una serie de toberas ( 3 toberas se utilizan en condiciones normales de descarga, es decir utilizando el condensador y una tobera para el caso en que la descarga de la turbina se hiciera a la atmósfera directamente sin utilizar el condensador. ) , dos hileras de álabes móviles y una hilera de álabes fijos entre las dos hileras de álabes móviles, es decir , es una turbina con dos pasos de velocidad ó dos etapas Curtis.

La potencia que se obtiene en el eje de la turbina es absorbida por un generador eléctrico de corriente continua el cual a su vez disipa la energía en un banco de resistencias eléctricas ( que son la carga de la turbina ) , las cuales son enfriadas por un ventilador que hace circular aire a través de ellas, los instrumentos para determinar la

energía eléctrica producida son amperímetro, voltímetro , indicador de la velocidad de rotación e interruptores de las resistencias eléctricas para incrementar ó disminuir la carga de la turbina.

El condensador es usado para crear una región de baja presión (Vacío ) dentro de la cual el vapor pueda ser expandido. El vapor va condensandose al atravesar el cuerpo del condensador en cuyo interior se encuentran un gran número de tubos llevando dentro de ellos el flujo de agua de enfriamiento transversalmente a el flujo de vapor.

La turbina cuenta con un freno de arco interior el cual actúa automáticamente cuando existe una sobrevelocidad ( con lo cual ésta se limita ) , en la parte superior de la turbina se encuentra una válvula centinela la cual en condiciones de sobrepresión emite un sonido agudo, esta condición puede deberse a que una válvula esté cerrada en la línea de salida del vapor, es importante tener en cuenta que ésta - válvula no está diseñada para corregir la sobrepresión.

La velocidad de la turbina es controlada mediante -

el regulador de velocidad el cual abre ó cierra la válvula de estrangulación según se requiera para obtener una velocidad constante , el regulador es un mecanismo hidromecánico con capacidad de respuesta rápida, debido a su diseño simple el regulador está prácticamente libre de mantenimiento y solo se debe tener cuidado de que el nivel de aceite del regulador coincida con la marca calibrada.

La velocidad de la turbina se puede ajustar mediante el tornillo localizado en el extremo del regulador, el cual sólo requiere un ligero torque para girar, un giro en el sentido de las manecillas de un reloj incrementa la velocidad y en sentido contrario decrece.

El paso del vapor a través de las toberas es controlado mediante las válvulas que se localizan en la parte superior de la turbina , estas válvulas nunca deben estar parcialmente abiertas, estas deben estar ó completamente abiertas ó completamente cerradas.

El principal mecanismo de seguridad de la turbina se denomina gatillo de seguridad , el cual se dispara y cierra

la línea del vapor de entrada cuando la turbina excede su velocidad de operación en un 25%

CONDICIONES DE OPERACION DE LA TURBINA.

Velocidad	3000 r.p.m.
Presión del vapor de entrada.	10 bars
Temperatura del vapor a la entrada.	238 °C
Presión del vapor a la salida de la turbina.	500 mm de Hg. VAC.

**7.-EQUIPOS AUXILIARES DE LA TURBINA.-**

**Generador de vapor.-**Se encarga de suministrar vapor saturado a una presión de 10 bars manométricos.

**Recalentador eléctrico.-**Se encarga de elevar la temperatura del vapor que sale de la caldera a 238°C.

**Bomba de circulación.-**Proporciona la energía para -

que circule el agua de enfriamiento necesaria para efectuar la condensación en el condensador, éste flujo debe ser de 140 lts/min.

**Torre de enfriamiento.**-Enfría el agua utilizada en el condensador mediante el contacto con el aire, el siguiente diagrama muestra la disposición esquemática de los equipos referidos:

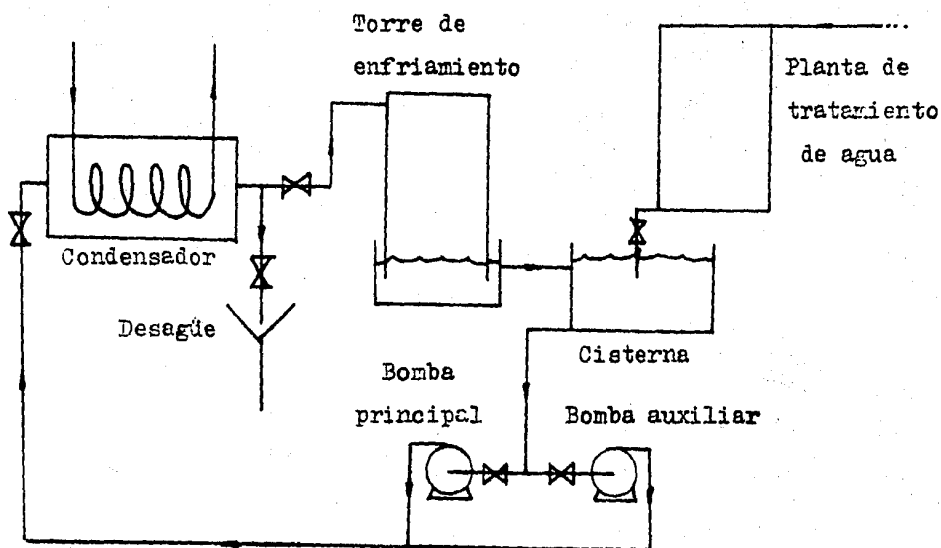


FIG.24.-RECORRIDO DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO.

8.-LECTURAS QUE DEBEN TOMARSE PARA LA REALIZACION

DE LA PRACTICA:

SIMBOLO	UNIDADES	DESCRIPCION
$P_1$	bars.abs.	Presión del vapor en la línea principal
$T_1$	°C	Temperatura del vapor en la línea principal.
$P_T$	bars.abs.	Presión de entrada en las toberas.
$T_T$	°C	Temperatura en las toberas.
$P_2$	bars.abs.	Presión del vapor a la salida de la turbina.
$T_2$	°C	Temperatura del vapor a la salida de la turbina.
N	r.p.m.	Velocidad angular de la turbina.
F	Nt.	Fuerza en el dinamómetro.
C	KW	Carga eléctrica aplicada.
$\dot{m}_{a.c}$	Kgs/seg	Flujo de agua de enfriamiento
W	Kgs.	Peso de líquido condensado.
t	seg.	Tiempo de recolección del condensado.
$T_3$	°C	Temperatura del condensado.
$T_4$	°C	Temperatura del agua de enfriamiento a la entrada del condensador.
$T_5$	°C	Temperatura del agua de enfriamiento a la salida del condensador.

SIMBOLO	UNIDADES	DESCRIPCION
n	-	Número de toberas abiertas.
$\dot{m}_{a.v.}$	Kgs/seg	Flujo de agua a la bomba de vacío
V	volts.	Voltaje generado.
I	amps.	Corriente eléctrica generada.

Las lecturas anteriores se deberán realizar con las siguientes presiones absolutas de entrada en las toberas: 3, 4.5, 5, 6 y 7.5 bars., es importante remarcar que antes de tomar cualquier lectura se debe verificar que el sistema se encuentre en condiciones de flujo estable y estado estable.

9.-SECUENCIA DE CALCULOS.-Se harán en tres etapas principales que son:

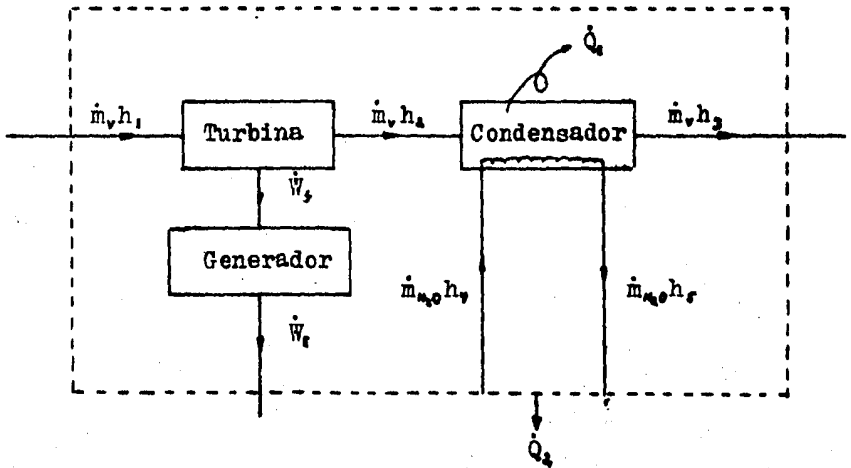
Entalpías, calores y potencias.

Eficiencias de la turbina

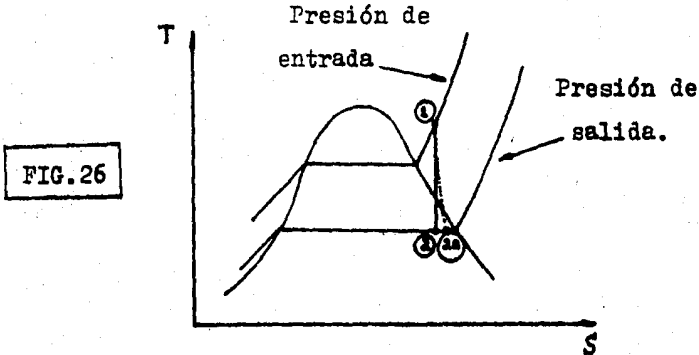
Gráficas ó curvas de funcionamiento

9.1.-Entalpías, calores y potencias.-Para visualizar la relación que existe entre estos parámetros nos auxiliaremos del siguiente diagrama:

FIG. 25.-ENTALPIAS, CALORES, y POTENCIAS



a).-La entalpia  $h_1$ , que corresponde a la entalpia del vapor en la linea principal se calcula con la  $P_1$  y la  $T_1$  y con las tablas de vapor de agua sobrecalentado, este estado se representa mediante el punto 1 en el siguiente diagrama temperatura-entropia:



b).-La entalpia  $h_2$ , que es la entalpia del vapor a la salida de la turbina suponiendo que hubo una expansión



isoentrópica se calcula calculando primero la entropía del vapor en el punto 1 ( ver fig. anterior ), considerando que  $s_1 = s_2$  se aplica la siguiente fórmula:

$$s_1 = s_2 = s_{f,2} + X_2 s_{g,2}$$

En donde  $s_{f,2}$  y  $s_{g,2}$  se toman de las tablas de saturación del vapor con la presión absoluta del condensador y se despeja  $X_2$  que es la calidad en el punto 2, conociendo este valor se aplica la siguiente ecuación para encontrar la entalpía en el punto 2 .

$$h_2 = h_{f,2} + X_2 h_{g,2}$$

En donde  $h_{f,2}$  y  $h_{g,2}$  se toman de las tablas de saturación con la presión absoluta del condensador.

c).-La entalpía  $h_3$  es la entalpía que tiene el condensado al salir del condensador, por tratarse de agua en estado líquido ésta entalpía se puede calcular de la siguiente manera:

$$h_3 = C_{p_{H_2O}} T_3 \left[ \frac{\text{KJ}}{\text{Kgm}} \right]$$

$$\text{donde: } C_{p_{H_2O}} = 4.186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kgm} \cdot ^\circ\text{C}}$$

d).- La entalpía  $h_v$  corresponde a la entalpía del agua de enfriamiento en el momento de entrar al condensador y se conoce aplicando la siguiente fórmula:

$$h_v = C_{P_{H_2O}} T_v \quad \left[ \frac{KJ}{Kgm} \right]$$

e).- En forma similar la entalpía  $h_s$ , que es la entalpía del agua de enfriamiento a la salida del condensador:

$$h_s = C_{P_{H_2O}} T_s \quad \left[ \frac{KJ}{Kgm} \right]$$

f).- La potencia al freno  $\dot{W}_f$ , es la potencia en el eje de la turbina y se define mediante la siguiente expresión

$$\dot{W}_f = \frac{\zeta \cdot \omega}{10^3} \quad [KW]$$

donde:

$$\omega = \frac{2 \pi N}{60} \quad \left[ \frac{rad}{seg} \right]$$

$$\zeta = \text{Par reaccionante} = .185 F \quad [N-m]$$

g).- Potencia eléctrica  $\dot{W}_e$ , es la potencia producida por el generador eléctrico D.C.

$$\dot{W}_e = \frac{V I}{10^3} \quad [KW]$$

h).-Flujo másico de vapor  $\dot{m}_v$ , se mide indirectamente aplicando la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_v = \frac{W}{t} \quad \left[ \frac{\text{Kgm}}{\text{seg}} \right]$$

i).-Calor perdido en el condensador  $\dot{Q}_1$ .-Mediante un balance de energía en el condensador y considerando que la expansión del vapor en la turbina es isoentrópica se tiene que :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{La caída de entalpía} \\ \text{del vapor al atravesar} \\ \text{el condensador} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{El incremento de} \\ \text{entalpía del agua} \\ \text{de enfriamiento} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Calor perdido} \\ \text{en el con-} \\ \text{densador.} \end{array} \right\}$$

ó sea que:

$$\dot{m}_v (h_3 - h_2) = \dot{m}_{H_2O} (h_5 - h_4) + \dot{Q}_1$$

despejando:

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_v (h_3 - h_2) + \dot{m}_{H_2O} (h_4 - h_5) \quad [\text{KW}]$$

j).-  $\dot{Q}_2$  Calor retirado por el agua de enfriamiento:

$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_{H_2O} C_{p_{H_2O}} (T_5 - T_4) \quad [\text{KW}]$$

k).-La entalpía  $h_{aa}$  la cual es  $\neq h_a$  debido a que en la realidad no es isoentrópico el proceso de expansión en la turbina ( de 1 a 2 ), sino que se tiene una ligera desviación como aparece en el siguiente diagrama T-s :

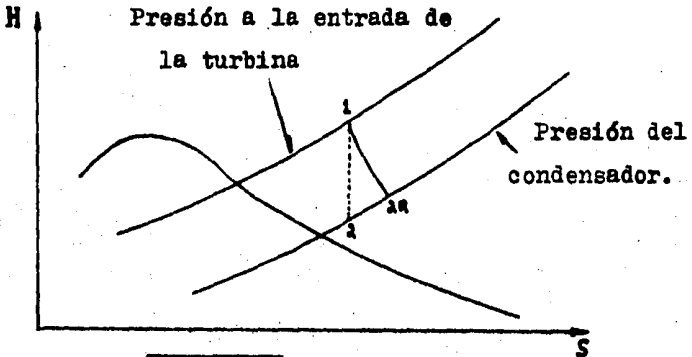


FIG.27

Por lo tanto para conocer la entalpía  $h_{aa}$  nos auxiliaremos del siguiente balance de energía:

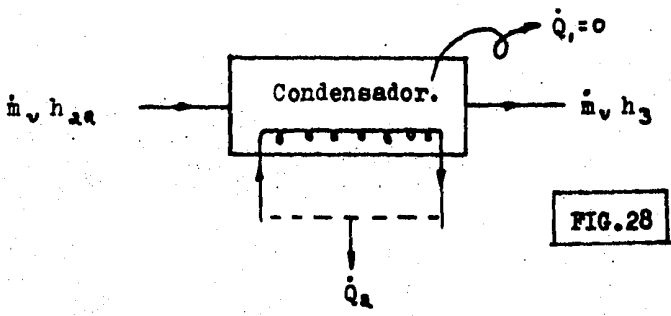


FIG.28

Considerando adiabático el condensador  $\dot{Q}_1 = 0$

$$\dot{m}_v h_{2a} = \dot{Q}_2 + \dot{m}_v h_3$$

Despejando queda:

$$h_{2a} = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{m}_v} + h_3 \quad \left[ \frac{\text{KJ}}{\text{Kgm}} \right]$$

1).-Consumo específico de vapor

$$\text{s.e.c.} = 3600 \frac{\dot{m}_v}{\dot{W}_f} \quad \left[ \frac{\text{Kgm}}{\text{KW hr}} \right]$$

9.2.-EFICIENCIAS DE LA TURBINA :

a).-La eficiencia isoentrópica  $\eta_s$  se calcula mediante la siguiente fórmula :

$$\eta_s = \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_2}$$

b).-Eficiencia térmica del ciclo :

$$\eta_{TH} = \frac{\dot{W}_f}{h_1 - h_3}$$

c).-Eficiencia Rankine :

$$\eta_{\text{rankine}} = \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_3}$$

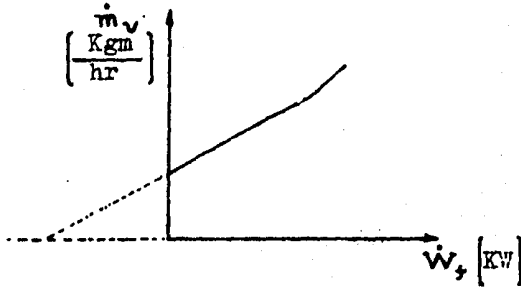
d).-Eficiencia mecánica :

$$\eta_{\text{mecánica}} = \frac{\dot{W}_t}{h_1 - h_{2R}}$$

9.3.-CURVAS DE OPERACION :

a).-Línea Willans.-La línea Willans se construye teniendo como ejes coordenados al  $\dot{m}_v$  en Kgs/hrs. y la  $\dot{W}_t$  en KW. para esta prueba se mantienen constantes la presión y la temperatura del vapor a la entrada de la turbina, la presión en el condensador y la velocidad angular de la turbina tomando lecturas para 4 diferentes cargas. La gráfica debe mostrar una proporcionalidad lineal entre la potencia y el flujo de vapor. Tres puntos son importantes de notar :El punto de máxima eficiencia después del cual la línea cambia de pendiente también el punto en el que la línea corta al eje de las ordenadas y que corresponde al valor de flujo de vapor necesario para que la turbina gire a la velocidad de trabajo sin tener carga y por último el punto en que la línea corta al eje de las abscisas y que nos da el valor absoluto de la potencia perdida en los rozamientos :

FIG.29.-LINEA WILLANS.



b).-Curva de consumo específico de vapor.-Se utilizan como ejes coordenados al consumo específico de vapor s.s.c. en kgs/KW-Hr. ( que es el flujo de vapor correspondiente para producir una unidad de potencia ) y la potencia desarrollada en el eje de la turbina  $\dot{W}_t$  en KW. El perfil de la curva es tal que a un mínimo consumo específico de vapor corresponde la máxima eficiencia.

s.s.c.  
 $\left[ \frac{Kgm}{KW hr} \right]$

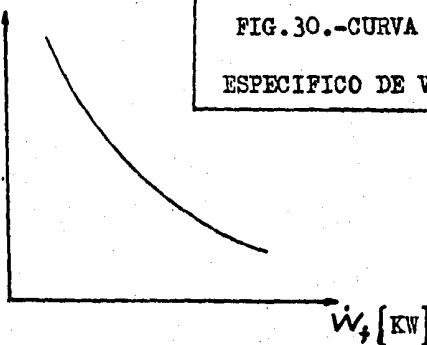
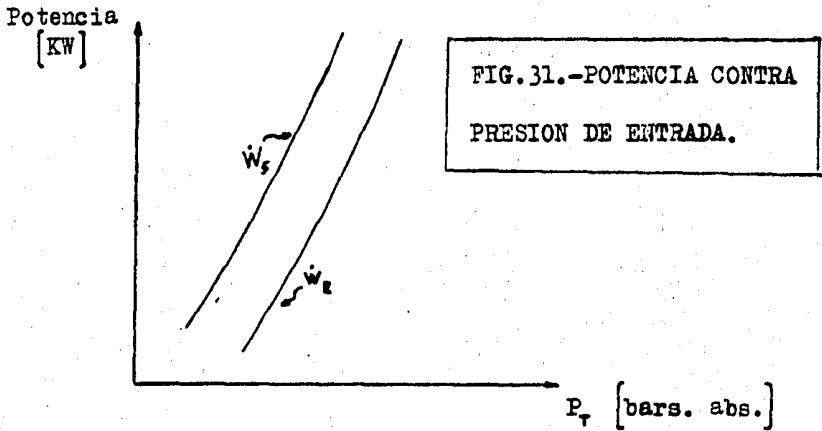


FIG.30.-CURVA DE CONSUMO ESPECIFICO DE VAPOR.

c).-Variación de las potencias con la presión del

vapor a la entrada de las toberas.-En un mismo diagrama se grafican : La potencia al freno  $\dot{W}_f$  y la potencia eléctrica  $\dot{W}_e$  producida por el generador D.C. contra la presión del vapor a la entrada de las toberas:



d).-Gráfica de eficiencia térmica contra presión de entrada.-Esta gráfica mostrará como se incrementa la eficiencia térmica al ir aumentando la presión del vapor al entrar a las toberas.La eficiencia de la unidad será incuestionablemente baja, sin embargo , esto es exactamente lo que se debe esperar de una pequeña unidad en donde las fuerzas de fricción son grandes con la potencia obtenida,no obstante el procedimiento de cálculo de la práctica es idéntico al - que se seguiría con una unidad mucho más grande:



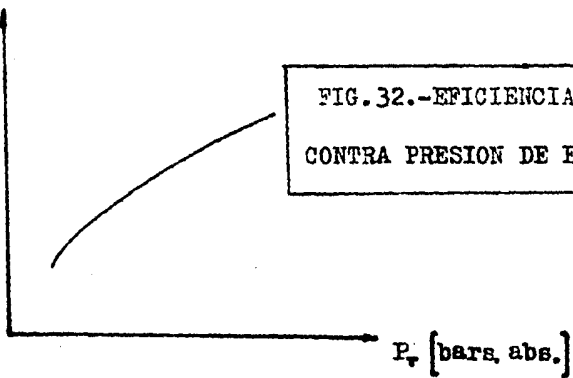
$\eta_T$ 

FIG. 32.-EFICIENCIA TERMICA  
CONTRA PRESION DE ENTRADA.

10.-TABLA DE LECTURAS:

SIMBOLO	UNIDADES	1	2	3	4
$P_1$	bars abs				
$T_1$	C				
$P_T$	bars abs				
$T_T$	C				
$P_2$	bars abs				
$T_2$	C				
N	r.p.m.				
F	Nt				
C	KW				
$\dot{m}_{a.e.}$	Kgm/seg				
W	Kgm				
t	seg				
$T_3$	C				
$T_v$	C				
$T_s$	C				
n	-				
$\dot{m}_{a.v.}$	Kgm/seg				
V	volts				
I	amp.				

11.-TABLA DE RESULTADOS.

SIMBOLO	UNIDADES	1	2	3	4
$h_1$	KJ/Kgm				
$h_2$	"				
$h_3$	"				
$h_4$	"				
$h_5$	"				
$\dot{W}_f$	KW				
$\dot{W}_R$	"				
$\dot{m}_v$	Kgm/seg				
$\dot{Q}_1$	KW				
$\dot{Q}_2$	KW				
$h_{1R}$	KJ/Kgm				
S.S.C.	Kgm/KW hr				
$\eta_s$	-				
$\eta_{TH}$	-				
$\eta_{Rankine}$	-				
$\eta_{Mecánica}$	-				

**VI.-PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO.**

**6.1.-MANTENIMIENTO GENERAL.**

**6.2.-MANTENIMIENTO DE LA TURBINA.**

**6.3.-MANTENIMIENTO DEL GENERADOR.**

6.1.-MANTENIMIENTO GENERAL.-Como regla general el equipo se deberá conservar en condiciones de perfecto estado de limpieza y lubricación en una habitación seca y despejada.

Este capítulo trata únicamente las principales causas por las cuales el equipo puede llegar a operar insatisfactoriamente. Para alguna falla que no este prevenida por esta sección se deberá consultar el instructivo original de la turbina, el cual trata los temas de desmantelamiento y reposición de partes para la turbina y el generador eléctrico, los cuales son los elementos más complejos y que requieren una atención especial.

El tema trata de el tipo de mantenimiento sencillo que puede ser seguido por un personal no necesariamente especializado y en el cual se combinan tanto el mantenimiento preventivo como el mantenimiento correctivo.

Se deberá mantener el equipo alejado en lo posible de la humedad ya que esta puede llegar a causar corrosión y afectar la precisión de los instrumentos.

El conjunto esta diseñado para operar sin necesidad de muchos cuidados especiales, excepto una lubricación esmerada y se debe esperar una larga vida de operación.

Se deberá tener el cuidado de utilizar los lubricantes apropiados para la turbina y su mecanismo regulador de velocidad, los cuales se especifican en seguida.

Turbina de vapor.-Se debe usar un aceite de excelente calidad y con una viscosidad aproximada de 300 SSU para operar a una temperatura de 38°C. ( Turbine Oil 88 de Quaker state ).

Regulador de velocidad.-El regulador requiere aproximadamente 2 lts. de aceite con una viscosidad de 100 SSU y que opere a una temperatura de 65°C.

6.2.-MANTENIMIENTO DE LA TURBINA.-La siguiente rutina de inspección y servicio esta basada en una aplicación industrial y varía convenientemente para tratar las condiciones que privan en un laboratorio.

MANTENIMIENTO DIARIO.-Checar el nivel de aceite en la turbina de vapor y en su mecanismo regulador de velocidad de acuerdo a las marcas calibradas que indican el nivel correcto.

MANTENIMIENTO SEMANAL.-Se deberá asegurar que el gatillo de seguridad esté operando apropiadamente. Para esto empujar hacia abajo la palanca horizontal (s-46), la cual se muestra en las figs. 33 y 34, con lo cual se abre la válvula piloto (s-63B), esto deberá cerrar la válvula (s-2), cortando el suministro de vapor, entonces la turbina bajará su velocidad lentamente hasta un nivel muy abajo de la velocidad de operación normal. Este proceso es automático cuando la turbina excede aproximadamente un 25% de su velocidad normal.

Para reajustar la palanca horizontal se empujará hacia arriba y se colocará sobre la punta inferior de la pa-

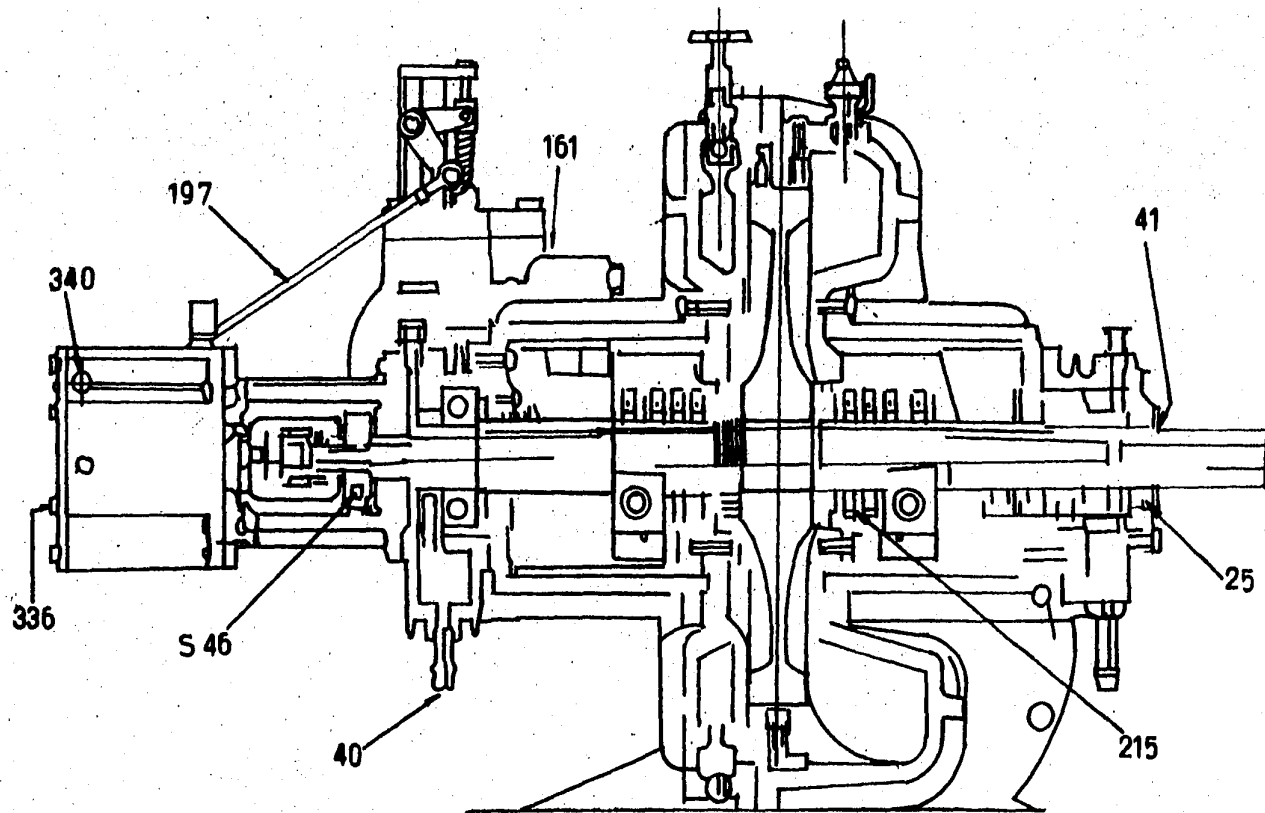


FIG. 33.-DETALLES DE LA TURBINA PARA SU MANTENIMIENTO.

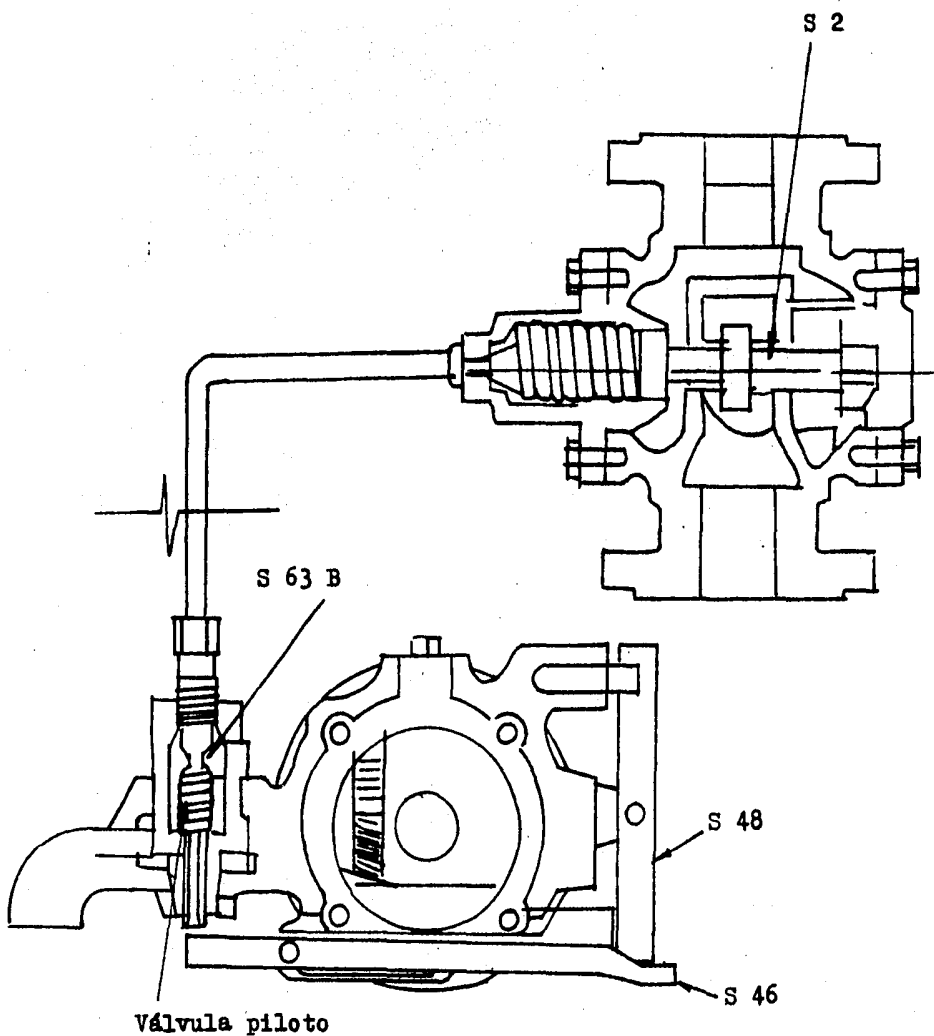


FIG. 34.-DETALLES DE MANTENIMIENTO DEL MECANISMO DE SOBREVELOCIDAD.



lanca vertical (s-48).

**MANTENIMIENTO MENSUAL.**-En condiciones de uso normal es recomendable que el aceite en los cojinetes sea cambiado cada mes, a menos que debido a severas condiciones de operación se requieran cambios más frecuentes.

Es importante estar seguros que el regulador de velocidad y la válvula de estrangulamiento estén en buenas condiciones de trabajo todo el tiempo, por lo menos una vez al mes la operación de estos componentes deberá ser chequeada disparando el gatillo de seguridad como se describió anteriormente ó estrangulando el suministro de vapor a la turbina. Cuando la turbina empiece a bajar su velocidad el regulador deberá mover inmediatamente la válvula de estrangulamiento que este mecanismo controla hacia una posición abierta, esto indicará que el regulador de velocidad esta respondiendo adecuadamente y que la válvula de estrangulación que controla el regulador es capaz de moverse libremente dentro de su alojamiento. Todas las partes móviles de la válvula de estrangulación son resistentes a la corrosión y deberán operar suavemente bajo condiciones normales de operación sin nin-

guna atención especial.

Las válvulas centinelas también deberán checarsse mensualmente, esto puede hacerse cerrando parcialmente una válvula en la línea de salida con lo cual se deberá incrementar la presión en la carcaza haciendo funcionar las - válvulas centinelas, las cuales se encargan de silbar para avisar que existe una sobrepresión en la turbina. La presión que se genere no deberá permitir que se exceda la colocación mostrada en las placas de las válvulas.

MANTENIMIENTO ANUAL.-El regulador de velocidad esta virtualmente libre de mantenimiento, siempre y cuando tenga aceite su sistema hidromecánico, ya que este se encarga de lubricar todas las partes móviles. Para asegurar una larga vida al regulador el aceite deberá ser cambiado anualmente, este cambio se hace abriendo el tapón (336) para drenar el aceite usado, luego se deberá limpiar la cavidad por inundación de un aceite limpio y claro, drenar este y agregar el aceite requerido. La siguiente sección esta hecha para usarse en el caso de que la turbina no opere satisfactoriamente:

PROBLEMAS QUE PUEDE PRESENTAR LA TURBINA.

PROBLEMA	POSIBLES CAUSAS	SOLUCIONES.
1.-Excesiva vibración ó ruido.	Desalineación	Desconectar el acoplamiento que transmite el movimiento de la turbina al generador eléctrico, hacer que gire la turbina sola, si esta trabaja suavemente entonces la causa es el desgaste del acoplamiento, reemplazarlo y verificar la alineación.
	Cojinetes desgastados.	Reemplazarlos.
	Acoplamiento entre la turbina y el generador desgastado.	Checar las condiciones del acoplamiento ya que este puede estar causando las vibraciones.
	Desbalanceo entre el generador y la turbina.	Balanceo.

PROBLEMA

POSIBLES CAUSAS

SOLUCIONES

Desbalanceo  
del rodete de  
álabes.

Checar el rodete de la turbina para ver si esta desbalanceado como resultado de alguna sobrevelocidad, también este puede ser causado debido a algunos residuos sólidos que se hayan depositado en el rodete, este deberá ser rebalanceado ó reemplazado.

Esfuerzos en  
la turbina.

Se deberá checar que la línea de vapor en la entrada y en la salida de la turbina este apropiadamente soportada para permitir la expansión debida al calor.

2.-Falla de los  
cojinetes.

Lubricación  
inapropiada.

Asegurarse de usar un lubricante apropiado para cojinetes. Checar el aceite periodicamente para estar seguros que se encuentra libre de agua y sedimentos.

Desalineación.

El desalineamiento es una de las causas comunes en la falla de los

PROBLEMA

POSIBLES CAUSAS

SOLUCIONES

		cojinetes, ver desalineación por vibración.
Mal ajuste de los cojinetes.		Los cojinetes de bolas deberán ajustar sobre la flecha de la turbina con una ligera presión. Un cojinete muy apretado puede causar desgaste, vibración y sobrecalentamiento. Se deberá reemplazar la flecha si esta se ha desgastado.
Excesivo empuje.		Asegurarse de que el acoplamiento esta limpio y que su instalación no causa un empuje axial.
Desbalanceo.		Ver desbalanceo por vibración, el desbalance puede causar excesivo desgaste en los cojinetes y una temprana falla de estos.
Oxidación.		La oxidación puede ocurrir en la superficie del cojinete debido a un inapropiado almacenamiento de la turbina, ó cuando esta se encuen

PROBLEMA	POSIBLES CAUSAS	SOLUCIONES.
3.-Excesivas filtraciones de vapor bajo los anillos de carbón(215).	Suciedad bajo los anillos.	tra fuera de servicio por un largo periodo de tiempo sin la apropiada atención
	Muestras en la flecha.	El vapor al filtrarse por los anillos de carbón puede acarrear basura la cual se deposita en los anillos.Remove los anillos y limpiarlos.
		La superficie de la flecha que queda bajo los anillos de carbón deberá ser lisa para prevenir escapes de vapor, en caso de sustitución de flecha esta deberá ser al cromo plateado duro. En caso de que las muestras sean de poca importancia se puede pulir la flecha.
	Desgaste ó ruptura de los anillos de carbón.	Reemplazar con nuevos anillos de carbón, cada anillo consta de tres partes, al sustituir los anillos se deberán reemplazar completos, no ajustar solo una pieza.

PROBLEMA	POSIBLES CAUSAS	SOLUCIONES
	Tubería para la salida del vapor taponeada.	Asegurarse que todo el condensado sale libremente,
4.-El aceite pasa escapandose a través de los anillos de cierre (40) y (41)	Alto nivel del aceite. Rayaduras ó asperezas de la superficie de la flecha que queda bajo los anillos. Arandela (25) demasiado apretada. Anillos de cierre mal instalados. Vibración de la flecha.	Bajar el nivel del aceite hasta la marca calibrada(340). Pulir la flecha bajo el anillo si es necesario e instalar un nuevo anillo de cierre. Pulir la flecha bajo el anillo si es necesario e instalar un nuevo anillo de cierre. Checar que el procedimiento de instalación sea apropiado. Ver todas las causas posibles de vibración.Instalar nuevos anillos de cierre si es necesario.

PROBLEMA	POSIBLES CAUSAS	SOLUCIONES
5.-Potencia insuficiente, la turbina no alcanza la velocidad requerida.	Demasiadas toberas cerradas.  Bajo nivel del aceite en el regulador.	Abrir alguna de las válvulas que controlan el paso del vapor a través de las toberas.  Agregar el aceite y checar el ajuste de velocidad.
	La presión del vapor de entrada es muy baja ó la salida es demasiado alta	Checar la presión del vapor en la entrada y en la salida de la turbina. Referirse a la placa de la turbina la cual nos da las condiciones del vapor para las cuales fue diseñado el equipo.
	Mucha carga.	Determinar la carga real que se requiere para manejar el equipo.
	La válvula de estrangulación no abre completamente.	Cerrar la válvula que suministra el vapor principal y desconectar la varilla articulada (197). La palanca de la válvula deberá moverse libremente hasta estar completamente cerrada ó completamente abierta.  En caso contrario desensamblar la



PROBLEMA

POSIBLES CAUSAS

SOLUCIONES.

válvula y liberar el mecanismo como se requiera.

La válvula piloto (fig.34) no abre apropiadamente.

Asegurarse que las palancas del gatillo de seguridad (S-46 y S-48 ) cierran apropiadamente. Asegurarse que no hay escapes en la válvula piloto, checar las condiciones del resorte de la válvula.

Toberas tapadas

Remover los tapones de las toberas y sus válvulas. Alumbrar con una luz clara a través de las toberas para ver si estas están tapadas, en caso necesario limpiar los conductos.

6.-Excesivo incremento de velocidad al amornar la carga.

La válvula de estrangulación no cierra completamente.

Ver la sección de potencia insuficiente debido a que la válvula de estrangulación no abre bien.

La válvula de estrangulación y el asiento de la válvula están cortados.

Remover estos elementos y checar si tienen algún corte ó desgaste, reemplazarlos si esto es necesario

PROBLEMA	POSIBLES CAUSAS	SOLUCIONES.
7.-Excesiva variación de la velocidad.	Inclinación del ajuste del regulador.	Una inclinación de la colocación interna deberá reducir las variaciones de velocidad.
	Lubricación del regulador.	Un bajo nivel de aceite en el regulador, aceite espumoso ó con basura pueden causar una mala operación del regulador. Drenar y llenar con el aceite apropiado.
	Fricción en el ensamble de la válvula de estrangulación.	Desensamblar la válvula e inspeccionar la libertad y suavidad de movimientos de todas las partes móviles. La válvula y los asientos deberán pulirse como se requiera con un esmeril muy fino, inspeccionar la presencia de materiales extraños.
	Fricción en la caja del prensaestopas.(161)	<p>Checar la libertad y suavidad de movimientos de la válvula de vapor a través de la caja prensaestopas.</p> <p>Si el empaque ha sido demasiado comprimido se deberá reemplazar.</p>

PROBLEMA	POSIBLES CAUSAS	SOLUCIONES
Carga ligera y una alta presión del vapor en la entrada.	Cambio brusco en la carga.	En algunos casos donde hay una gran reserva de energía disponible para la turbina y la presión del vapor de entrada es suficientemente alta, la tendencia a variaciones de velocidad se incrementa. Intentar operar la turbina abriendo las válvulas que controlan el paso de vapor a través de las toberas
3.-Encendido lento.	Potencia insuficiente.	El cambiar rápidamente la carga puede algunas veces causar fluctuaciones en el regulador.
9.-El regulador no funciona.	Al encender el equipo se presenta un alto par de arranque	Ver la sección de potencia insuficiente.
Movimientos res- tringidos de la válvula de es- trangulación.	Checar que todos los interruptores de carga estén en posición apagada.	Ver la sección: La válvula de estrangulación no abre completamente.

PROBLEMA

POSIBLES CAUSAS

SOLUCIONES.

No hay control del regulador en el encendido

Si en el encendido la velocidad se incrementa continuamente y el regulador no cierra la válvula de estrangulación, la bomba del regulador de velocidad puede estar instalada en dirección equivocada de rotación, ver fig. 35. Checar que se este usando el equipo en el rango indicado de velocidad. Si la rotación de la bomba parece ser el problema, remover el regulador y reemplazar con un regulador de la apropiada rotación.

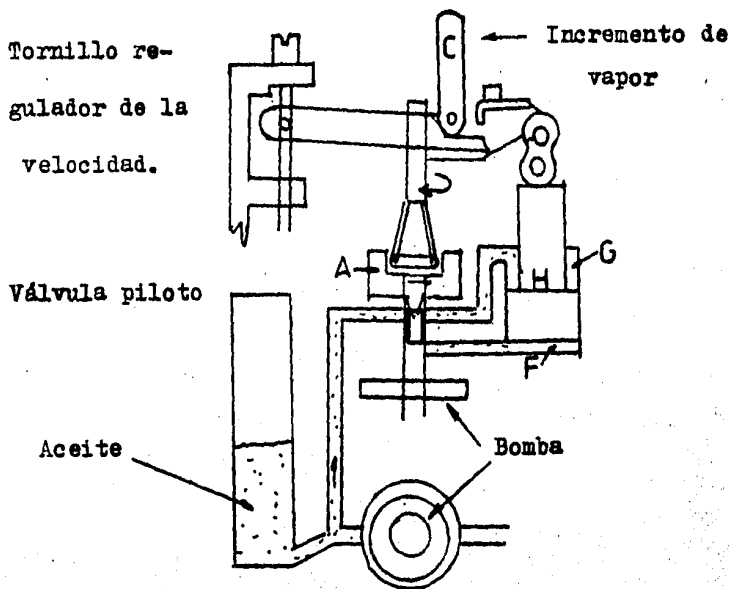
10.-Escapes de aceite en el regulador.

Los empaques no funcionan.

Apretar los componentes que apri-  
sionan los empaques para frenar -  
las filtraciones.

Vibración.

La vibración de la flecha de la turbina ó el acoplamiento que maneja al regulador pueden inducir filtraciones a el regulador, ver todas las causas posibles de vibración ó ruido, inspeccionar y -



Breve explicación del funcionamiento del regulador de velocidad.-Cuando decrece la carga de la turbina esto causa que aumente la velocidad de la turbina y los pesos A abren la válvula piloto y la presión del aceite pase a la cámara G empujando el pistón H hacia la cámara F, con esto se logra mover la palanca C que está directamente acoplada a la válvula de estrangulación cerrando parcialmente el suministro de vapor.

Cuando aumenta la carga de la turbina el pistón H sube y esto ocasiona que la palanca C incremente la salida del flujo de vapor en la válvula de estrangulación.

FIG.35.-FUNCIONAMIENTO ESQUEMATICO DEL REGULADOR DE VELOCIDAD.

PROBLEMA	POSIBLES CAUSAS	SOLUCIONES.
11.-El gatillo de seguridad se dispara con cambios de carga.	El gatillo de seguridad cierra operando la turbina a velocidad normal.	<p>apretar el acoplamiento.</p> <p>El gatillo de seguridad deberá accionar cuando se rebase la velocidad normal en un 25%.Ver todas las causas de excesivo incremento de velocidad cuando la carga amnora.</p>
	Ligera carga y alta presión del vapor de entrada.	Ver la sección de excesiva variación de velocidad cuando la carga es ligera y la presión del vapor en la entrada es alta.
12.-El gatillo de seguridad se dispara en velocidad normal.	Escapes en la válvula piloto	Asegurarse de que la válvula piloto(S63B) asienta completamente y que exista el espacio apropiado entre la válvula piloto y la palanca horizontal ver fig.34 ,reemplazar la válvula piloto si esto es necesario.
	Mal contacto de las palancas horizontal y vertical.	Reemplazar las palancas del gatillo de seguridad desgastadas.

PROBLEMA	POSIBLES CAUSAS	SOLUCIONES.
Vibración excesiva.	Suciedad en las válvulas del gatillo de seguridad.	Ver la sección sobre vibración.
13.-El gatillo de seguridad no acciona en una sobrevelocidad.	El resorte de la válvula está demasiado apretado.	Suciedad ó incrustaciones pueden bloquear el espacio entre las válvulas y su resorte. Esto puede bajar la presión del vapor permitiendo a la válvula cerrarse. Limpiar la válvula del gatillo de seguridad y su cápsula terminal con el resorte.
	La válvula del gatillo de seguridad es incapaz de cerrar	Acomodar la serie de tornillos de la válvula según se requiera. Un resorte diferente puede ser requerido
	Palanca horizontal desgastada.	Remover y limpiar la válvula del gatillo de seguridad.
		Reemplazar la palanca.

**6.3.-MANTENIMIENTO DEL GENERADOR.-**Los componentes internos del generador D.C. pueden estar energizados aún cuando no este girando, por lo cual se deberá desconectar toda clase de energía antes de intentar darle cualquier clase de mantenimiento.

En general se deben checar todas las tuercas, cerrojos y abrochadores para ver si están apretados, todas las tapas y protectores deben estar en su lugar y todas las conexiones eléctricas deberán estar firmes y seguras.

Se deberá conservar el interior del generador limpio y seco, libre de polvo, basura, aceite, corrosión y humedad. Tener el cuidado de que las ventilas estén siempre despejadas. Para limpiar al generador por dentro es preferible una aspiradora que un chorro de aire ya que este último puede introducir basura en el embobinado.

En cuanto a las escobillas se deberá checar periódicamente que se muevan libremente en sus soportes y que no haya desgaste, es decir que conserven las dimensiones especi-



ficadas, originales., reemplazar las escobillas rotas.

Toda acumulación de carbón ó basura alrededor de las escobillas deberá ser removida. Checar todos los aislamientos eléctricos.

Cuando el reemplazo de escobillas sea necesario, las nuevas escobillas pueden ser agregadas al conmutador aplicando una presión normal al resorte y pasar una tira de papel de lija hacia atrás y hacia adelante del conmutador, la aspera cara del papel de lija deberá de colocar en su lugar a la escobilla. Después de colocarlas se deberá asegurar que todo el polvo de carbón es aspirado, guardar las escobillas que no se usaron en cajas limpias.

CONMUTADOR.-Bajo condiciones correctas de operación el conmutador deberá adquirir un color castaño, para limpiarlo se deberá usar un lienzo de lana y en ningún caso un lienzo deshilachable, no usar ningún solvente, lubricante ó abrasivo para limpiar el conmutador a menos que existan condiciones anormales. Checar los rebordes del conmutador para ver que no estén desgastados, si existe desgaste y este no

es de un caracter importante se puede usar un esmeril para restaurar la superficie del conmutador, pero si el desgaste de los rebordes es a tal grado que la armadura debiera ser removida, el conmutador se deberá llevar a un torno para que se mantenga la concentricidad y se deberá tener cuidado de remover un mínimo de material para lograr su limpieza. El diámetro mínimo del conmutador y algunas especificaciones de las escobillas se presentan en la figura , después de limpiarlo se deberá remover toda particula de cobre sobrante, eludir toda clase de silicones, grasas ó aceites para la limpieza del conmutador ya que estos pueden desgastar las escobillas e inhibir la formación del saludable color castaño del conmutador.

La lubricación se puede hacer en periodos de 6 meses a 5 años, dependiendo de las condiciones del lugar, tiempo de operación y de la temperatura del ambiente, como regla general si se trabaja al día 8 hrs., el equipo se deberá engrasar cada dos años, trabajando 20 hrs. al día, reengrasar cada 12 meses. De cualquier modo cuando el generador está sujeto a altas temperaturas ambientales y/ó a severas condiciones de servicio, una lubricación cada 6 meses es aconsejable.

Cuando se remueva la grasa se deberá de asegurar que se está usando grasa a base de litio, la grasa de alto punto de fusión deberá usarse solamente en circunstancias excepcionales como cuando la grasa se endurece y no da una adecuada lubricación a la temperatura normal. No se deberá engrasar excesivamente ya que esto puede causar batimiento y una alta temperatura con el consiguiente fracaso del lubricante, bajo ninguna circunstancia deberán ser mezclados diferentes tipos de grasa.

**RENOVACION DE PARTES.**-Para asegurar un máximo rendimiento del generador se deberán reemplazar partes geminas para lo cual se deberá consultar la placa del generador en la cuál está especificado el número de serie y la completa descripción de las partes requeridas.

La siguiente sección se deberá consultar en el caso en el cuál el generador D.C. no esté operando satisfactoriamente.

**LISTA DE LOS PROBLEMAS QUE PUEDE PRESENTAR EL  
GENERADOR D.C. Y SUS POSIBLES CAUSAS.**

<b>SINTOMAS</b>	<b>POSIBLES CAUSAS.</b>
1.-Sobrecalentamiento de los cojinetes	-Exceso de grasa. -Basura en los cojinetes. -Espacio entre los cojinetes demasiado pequeño. -Mala lubricación. -Grasa incorrecta. -Mal alineamiento.
2.-Golpeteo de los cojinetes.	-Basura en el cojinete. -Espacio libre del cojinete demasiado grande. -Defecto en la superficie del cojinete. -Cojinete mal ajustado ó inclinado.
3.-Silbido en los cojinetes.	-Espacio libre de los cojinetes demasiado pequeño.
4.-Cuando los cojinetes se acaban rápido.	-Superficie de los cojinetes defectuosa.

## SINTOMAS

## POSIBLES CAUSAS.

- Mal alineamiento.
- Basura en los cojinetes.
- Cojinete inclinado ó mal ajustado
- Mala lubricación.

## PROBLEMAS ELECTRICOS

- |  |   |
|--|---|
| 1.-No da energía el conmutador.                        | -Las escobillas estan haciendo mal contacto.    |
|  | -Corte en las líneas de energía.                |
|  | -El circuito está mal colocado.                 |
| 2.-El generador solo funciona al comienzo.             | -Corto circuito en el devanado de la armadura.  |
|  | -Fuera de lugar el circuito que forma el campo. |
| 3.-El generador va demasiado rápido ó demasiado lento. | -Falsa posición de las escobillas               |
|  | -Fuera de lugar el circuito que forma el campo. |
|  | -Corto circuito en el devanado.                 |
| 4.-Sobrecalentamiento del generador.                   | -Generador sobrecargado.                        |
|  | -Ventilación obstruida.                         |

## SINTOMAS

## POSIBLES CAUSAS.

### 5.-Chisporroteo

- Corto circuito en el devanado de la armadura.
- Generador sobrecargado
- Escobillas rotas ó que se adhieren demasiado.
- Posición equivocada de las escobillas.
- Suciedad ó corrosión del conmutador.
- Superficie del conmutador contaminada con aceite u otros factores ambientales.
- Pérdida de tensión en el resorte de las escobillas.
- Corto circuito en el devanado de la armadura.
- Corto circuito en el devanado que forma el campo.
- Corto circuito en los segmentos adyacentes al conmutador.
- Aflojamiento del conmutador.

6.-Chisporroteo y operación ruidosa de las escobillas.

## SINTOMAS

7.-Chisporroteo y superficie aspera del conmutador producida por las escobillas.

8.-Rápido desgaste del conmutador ó las escobillas.

9.-Ennegrecimiento del conmutador en ciertos puntos.

## POSIBLES CAUSAS.

-Bajo promedio de densidad de corriente en las escobillas debido a que el generador tiene una carga ligera.

-Conmutador contaminado por aceite, espuma de aceite u otros factores ambientales.

-Baja humedad.

-Escobillas demasiado abrasivas.

-El conmutador está operando a una temperatura demasiado baja.

-Pérdida de tensión en el resorte de las escobillas.

-Material abrasivo bajo las escobillas.

-Escobillas demasiado abrasivas.

-Baja densidad de corriente en las escobillas debido a una ligera carga del generador.

-Segmentos del conmutador en corto circuito.

-Vibración mecánica.

## CONCLUSIONES:

La conclusion principal es hacer énfasis en la necesidad de comprar los materiales especificados para la instalación de la turbina a la mayor brevedad posible ya que de otra manera la estimación del costo cambiaría.

El presente trabajo de tesis me ha servido para desarrollar una mayor capacidad de investigación al mismo tiempo que me ha aclarado el conocimiento relativo al funcionamiento de las turbinas de vapor y su importancia como elemento principal de una planta termoeléctrica, es mi deseo que este trabajo motive los trabajos necesarios para la instalación de todos los equipos del lab. de máquinas térmicas.

Por último agradezco la ayuda de todos los profesores de ingeniería (ambos turnos) de la E.N.E.P. Aragón y muy especialmente a la sección de térmica los cuales me brindaron el apoyo necesario para la terminación de éste trabajo el cual simboliza la terminación de mis estudios en la carrera de: Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

García Elizalde Juan Manuel

7315150-2



BIBLIOGRAFIA:

1.-INSTRUCTIONAL STEAM TURBINE SET.

2.-LA PRODUCCION DE ENERGIA MEDIANTE EL VAPOR DE AGUA  
EL AIRE Y LOS GASES. DE W.H.SEVERNS

3.-INSTRUCTIVO DEL LABORATORIO DE MAQUINAS TERMICAS  
DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M.

4.-MECANICA DE LOS FLUIDOS E HIDRAULICA. DE RA-  
NALD V. GILES

5.-MECANICA DE LOS FLUIDOS DE VICTOR L. STREETER.

6.-TERMODINAMICA DE FAIRES.

E.N.E.P. ARAGON

31-Mayo-85