

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**EXPERIENCIAS EN EL MONTAJE DE UN TURBOGENERADOR  
CON CONDENSADOR**

**T E S I S**

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

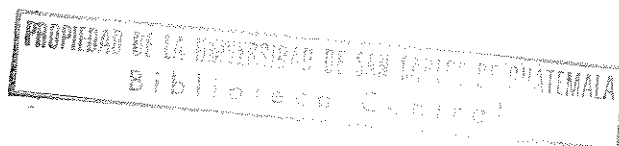
**P O R**

**GUSTAVO ADOLFO DE LEÓN ESCOBAR**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE**

**INGENIERO MECÁNICO**

**Guatemala, noviembre 1997.**



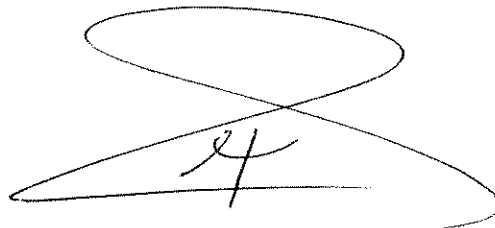
08  
T(4/65)  
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EXPERIENCIAS EN EL MONTAJE DE UN TURBOGENERADOR  
CON CONDENSADOR

Tema que me fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica. Con fecha 11 de octubre de 1994.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'G' and 'A' intertwined, with a horizontal line underneath.

Gustavo Adolfo de León Escobar.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez
EXAMINADOR	Ing. Oscar Eduardo Maldonado De La Roca
EXAMINADOR	Ing. Hermenegildo Morales Argueta
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas.

GUATEMALA,  
19 de Mayo de 1,997.

INGENIERO  
Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Director Escuela Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
USAC.

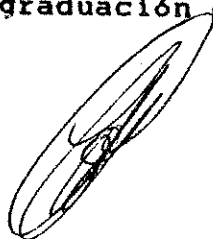
Señor Director:

Cumpliendo con lo resuelto por la Dirección, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de tesis titulado "EXPERIENCIAS EN EL MONTAJE DE UN TURBOGENERADOR CON CONDENSADOR", desarrollado por el estudiante universitario GUSTAVO ADOLFO DE LEON ESCOBAR, previo a optar por el título de Ingeniero Mecánico.

El trabajo presentado por el estudiante De León ha sido desarrollado cumpliendo con los requisitos reglamentarios, consultando la bibliografía adecuada y siguiendo las recomendaciones de la asesoría.

Por todo lo anterior, tanto el autor como la asesoría, somos responsables del contenido y conclusiones del presente trabajo de tesis y en consecuencia, por medio de la presente me permito APROBARLO para los efectos de graduación del autor.

Atentamente,



CARLOS HUMBERTO PEREZ RODRIGUEZ  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado No. 3,071

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA

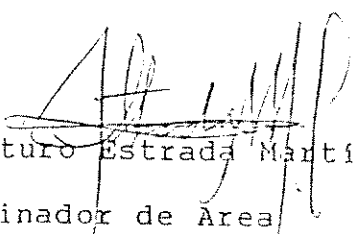


FACULTAD DE INGENIERIA

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

El Coordinador del Area Materiales y Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer la aprobación del asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo titulado Experiencias en el Montaje de un Turbogenerador con Condensador del estudiante Gustavo Adolfo de León Escobar, recomienda su autorización.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. José Arturo Estrada Martínez  
Coordinador de Area

Guatemala, noviembre de 1,997

/behdei.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

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

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Área Complementaria, al trabajo de tesis titulado EXPERIENCIAS EN EL MONTAJE DE UN TURBOGENERADOR CON CONDENSADOR, del estudiante Gustavo Adolfo De León Escobar, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ  
DIRECTOR



Guatemala, Noviembre de 1,997.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA

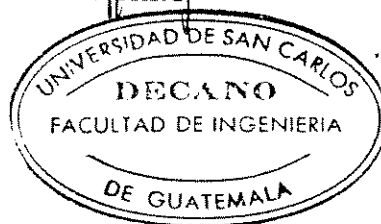


FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, el trabajo de tesis titulado EXPERIENCIAS EN EL MONTAJE DE UN TURBOGENERADOR CON CONDENSADOR, del estudiante Gustavo Adolfo de León Escobar, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE

  
ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS  
DECANO



Guatemala, Noviembre de 1,997.

## ACTO QUE DEDICO A:

- Dios:** Por iluminar mi vida
- Mis Padres:** Manuel de Jesus de León  
Elvinda Esperanza de León  
con amor y gratitud a sus esfuerzos
- Mis hermanos:** Manuel Antonio, Maritza Lili  
con cariño y agradecimiento a su apoyo
- Mi esposa:** Maribel Tobías de de León  
por su amor, comprensión y apoyo
- Mi hija:** Esly Marcela  
con todo mi amor
- Mi patria:** Guatemala

La Facultad de Ingeniería.

La Universidad de San Carlos de Guatemala.



## AGRADECIMIENTO ESPECIAL

Al ingeniero Carlos Humberto Pérez: por el asesoramiento, apoyo y gran colaboración al presente trabajo de tesis.

A las personas que colaboraron con la realización de este trabajo.

A mis compañeros y amigos de trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

	PÁGINA No.
ÍNDICE DE FIGURAS	i
LISTA DE SÍMBOLOS	vi
GLOSARIO	vii
INTRODUCCIÓN	viii
<b>1. GENERALIDADES</b>	
1.1 Funcionamiento de un turbogenerador con condensador.	1
1.2 Análisis del ciclo vapor y agua de una planta de generación con turbina y condensador	3
1.2.1 Aumento de la eficiencia del ciclo de Rankine, sobrecalentamiento de vapor	5
1.2.2 Calentadores de agua con vapor de extracciones	6
1.3 Análisis comparativo entre turbogeneradores del tipo de contrapresión y condensador.	
<b>2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE SUS COMPONENTES</b>	
2.1 Turbina de vapor	10
2.1.1 Componentes	11
2.1.1.1 Carcaza	11
2.1.1.2 Cojinetes radiales	12
2.1.1.3 Cojinete de empuje	12
2.1.1.4 Rotor	13
2.1.1.5 Diafragmas	13
2.1.1.6 Sellos de turbina	14
2.1.1.7 Deflectores de aceite	14
2.1.1.8 Válvulas de regulación	15
2.1.1.9 Mecanismo de giro	16

2.2	Gobernador	17
	2.2.1 Partes principales del gobernador	17
	2.2.2 Funcionamiento	17
2.3	Sistema de lubricación	18
	2.3.1 Objetivos	18
	2.3.2 Componentes	18
	2.3.3 Funcionamiento	20
2.4	Condensador	21
	2.4.1 Objetivos	21
	2.4.2 Funcionamiento	21
	2.4.3 Componentes del condensador	21
	2.4.3.1 Cuerpo del condensador	21
	2.4.3.2 Junta de expansión	22
	2.4.3.3 Eyectores de aire y gases no condensables	22
	2.4.3.4 Bombas de circulación de agua	22
	2.4.3.5 Bombas de condensado	24
2.5	Generador	24
	2.5.1 Partes de un Generador	24
2.6	Excitatriz	27

### 3. DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE

3.1	Estructura para la base del turbogenerador	28
	3.1.1 Datos requeridos	29
	3.1.2 Consideraciones de diseño	30
	3.1.3 Bloques de Concreto	31
3.2	Instrumentos de montaje	33
	3.2.1 Grúa torre con pluma normal	33
	3.2.2 Grúa puente	34
	3.2.3 Diferenciales	35
	3.2.4 Balancín	36

3.3	Proceso de montaje	37
3.3.1	Montaje de condensador	38
3.3.2	Montaje del generador	38
3.3.3	Montaje de carcaza de turbina parte inferior y caja del gobernador	42
3.3.4	Montaje de cojinetes, diafragmas y sellos de vapor parte inferior	42
3.3.5	Montaje del rotor de la turbina	43
3.3.6	Montaje de válvula principal y tanque de aceite	43
3.3.7	Acoplamiento de la turbina con el generador	44
3.3.8	Montaje de carcaza parte superior	45
3.3.9	Montaje de tornillos	45
3.3.10	Montaje de válvulas de control	46

#### 4. ALINEAMIENTO, NIVELACIÓN Y CALIBRACIÓN

4.1	Instrumentos de medición	47
4.1.1	Calibradores micrométricos	47
4.1.1.1	Calibradores micrométricos para exteriores	47
4.1.1.2	Calibradores micrométricos para interiores	48
4.1.1.3	Calibrador micrométrico de profundidad	49
4.1.2	Indicador de carátula	50
4.1.3	Calibradores de Lainas	51
4.1.4	Calibrador Vernier	51
4.2	Dispositivos	52
4.2.1	Dispositivos de alineación y nivelación	52
4.2.2	Cuerda de piano	53
4.2.3	Árbol de alineamiento	54
4.2.4	Dispositivos de alineación de platinas	55
4.2.4.1	Dispositivos de tornillos	55
4.2.4.2	Dispositivos de cuñas	55
4.3.1	Alineamiento y nivelación preliminar de platinas	56
4.3.2	Alineamiento y nivelación final de platinas	60
4.3.3	Alineamiento transversal de turbina respecto a la caja del gobernador	63
4.3.4	Nivelación de turbina	63
4.3.5	Alineamiento y nivelación de cojinetes y diafragmas de turbinas	64

4.3.6	Calibración de cojinetes	73
4.3.7	Calibración de diafragmas	73
4.3.8	Alineamiento y calibración de deflectores de aceite	74
4.3.9	Alineamiento y calibración de sellos de hidrógeno	75
<b>5.</b>	<b>INSTRUMENTACIÓN</b>	
5.1	Panel de control	77
5.1.1	Instalaciones	77
5.2	Medidores de presión y vacío	81
5.3	Medidores de temperatura	83
5.3.1	Tipos de medidores de temperatura	83
5.3.1.1	Termómetros de líquido y vidrio	83
5.3.1.2	Termómetro bimetalico	83
5.3.1.3	Termopares	84
	<b>CONCLUSIONES</b>	ix
	<b>RECOMENDACIONES</b>	xi
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	xiii

## ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Título	Página
1	Esquema de un turbogenerador con condensador.	2
2a	Esquema de un ciclo Rankine simple idealizado.	4
2b	Diagrama P-V de un ciclo Rankine simple idealizado	4
3	Ciclo Rankine con sobrecalentador	5
4	Ciclo Rankine con calentamiento de agua con vapor de extracciones	6
5	Turbina de escape	7
6	Turbina de condensación	7
7a	Diagrama T-S correspondiente a una instalación con condensador	9
7b	Diagrama T-S correspondiente a una instalación sin condensador	9
8	Corte longitudinal de una turbina	10
9	Carcaza de turbina vista en planta	11
10	Cojinete radial	12
11	Cojinete de empuje horizontal	12
12	Rotor de turbina	13

13	Diafragmas	14
14	Sello de Vapor tipo laberinto	14
15	Deflector de aceite tipo laberinto	15
16	Válvula de regulación de vapor	15
17	Mecanismo de giro (tornaflecha)	16
18	Gobernador de velocidad	16
19	Capa de aceite (cuneiforme)	18
20	Intercambiador de calor del tipo de superficie	19
21	Esquema de un sistema de lubricación	20
22	Condensador de superficie con sus auxiliares	23
23	Generador enfriado por hidrógeno	24
24	Diagrama del sistema de sellos de hidrógeno	26
25	Sistema de excitación acoplado al generador	27
26	Cimentación estructurada con marcos	28
27a	Características de una formaleta	32
27b	Forma en que se coloca la platina	32
28	Grúa de Torre Mecánica	33
29	Partes de una Grúa Puente	34
30	Diferencial	35
31	Aparejo Tirador	35
32	Balancín	36
33	Montaje del condensador	37

34	Maniobra de montaje del estator	37
35	Montaje del rotor paso 1	39
36	Montaje del rotor paso 2	39
37	Montaje del rotor paso 3	40
38	Montaje del rotor paso 4	40
39	Montaje del rotor paso 5	41
40	Montaje del rotor paso 6	41
41	Montaje de diafragmas	42
42	Accesorios soldables	43
43	Montaje de válvula principal	44
44	Medición de elongación de tornillos	44
45	Forma de sujetar la carcaza	45
46	Apriete de los tornillos	45
47	Esquema de válvulas de control	46
48	Calibrador micrométrico de exteriores	47
49	Calibrador micrométrico de yunques	47
50	Calibrador micrométrico para interiores	48
51	Calibrador de interiores	48
52	Calibrador de profundidad	49
53	Indicador de carátula	50
54	Indicador con soporte	50
55	Prensa de tornillo	50



56	Calibrador de Hojas	51
57	Calibrador Vernier	51
58	Dispositivo de alineación y nivelación	52
59	Esquema de medición con cuerda de piano	53
60	Árbol de alineamiento	54
61	Dispositivo de tornillo	55
62	Platina con tornillos de nivelación	55
63	Dispositivos de cuña	55
64	Platina con cuñas de nivelación	55
65	Alineamiento de platinas con cuerda de piano	57
66	Alineamiento con platinas colocadas	57
67	Verificación de paralelismo de platinas	57
68	Alineamiento de platinas en el condensador	58
69	Nivelación de platinas	59
70	Posición de platinas	59
71	Bloques de fundición	60
72	Platinas del condensador	61
73	Marcas de hilo transversal donde se colocaran los cojinetes	62
74	Guía de alineamiento	63
75	Cuñas de alineamiento de turbina	63
76	Nivelación de turbina	63
77	Las tres medidas a tomar	64

78	Forma de medir el alineamiento	65
79	Mediciones con cuerda de piano	66
80	Esquema de medición con el árbol	69
81	Forma en que se coloca el medidor de carátula	70
82	Posiciones del indicador en el tubo de alineamiento	71
83	Esquema de medición del árbol de alineamiento	72
84	Calibración de cojinetes	73
85	Calibración de diafragmas	73
86	Posición de deflector respecto al eje del generador	74
87	Puntos a calibrar en el eje respecto a los sellos de hidrógeno	75
88	Panel de control de una turbina	77
89	Cortadora para tubos de pared delgada	78
90	Unión de compresión	78
91	Configuraciones típica de accesorios	79
92	Conexión abocinada	80
93	Herramienta abocinada	80
94	Manómetro con tubo de Bourdon	81
95	Termómetro de líquido en vidrio	84
96	Termómetro Bimetálico	84
97	Termopozo con Funda	84
99	Termopar	84

## LISTA DE SÍMBOLOS

A:	Símbolo de amperios
°C	Símbolo de grado centígrado
°F:	Símbolo de grado Fahrenheit
Ft:	Símbolo de pié (feet)
H:	Símbolo entalpía
kW:	Símbolo de Kilowatt
kg.	Símbolo de Kilogramo
kPa.:	Símbolo de Kilopascal
Lb:	Símbolo de libra
m:	Símbolo de metro
psi:	Símbolo de libras por pulgas cuadrada ( Pound Square Inch )
S:	Símbolo de entropía
T:	Símbolo de temperatura
W:	Símbolo de trabajo mecánico
r.p.m:	Revoluciones por minuto
mm:	milímetro
Lb/plg <sup>2</sup> :	Libra por pulgada cuadrada

## GLOSARIO

**Alabé:** es un elemento móvil de una turbina de reacción tiene forma de gota doblada.

**Alambre de acero armónico:** alambre empleado para realizar alineamientos de alta precisión, posee la característica de que al hacer contacto con el calibrador emite un sonido detectado por audífonos.

**Calor latente:** es el calor que debe agregarse para realizar un cambio de fase por ejemplo: pasar el agua a vapor.

**Isoentrópico:** proceso con entropía constante.

**Laina:** lámina calibrada en milésimas de pulgada que sirve para nivelar piezas de alta precisión.

**Lubricación hidrodinámica:** ó lubricación de película gruesa, es un tipo de lubricación que se obtiene cuando dos superficies están totalmente separadas por una película de lubricantes. El espesor de la película excede así de las irregularidades combinadas de las superficies.

**Muñón:** parte de un eje que descansa sobre un cojinete o chumacera.

**Revenimiento:** distancia que queda entre la orilla de la fundición de concreto y la estructura de hierro.

**Servomotor:** es un sistema hidráulico en el que una válvula piloto coloca un pistón, admitiendo ó soltando presión en los dos lados del cilindro.

**Tornaflecha:** es un motor con un juego de engranes sirve para girar el rotor de la turbina lentamente 2 ó 3 revoluciones por minuto con el objeto de que no se defleccione el eje.

**Zapato deslizante:** es un dispositivo de material suave y deslizante que se emplea para montar y desmontar el rotor del generador eléctrico, deslizándolo sin causar daño al estator del generador.

## INTRODUCCIÓN

Existen varias formas de generar energía eléctrica dependiendo del medio que se realice ya sea agua, aire, gas o vapor; Este último emplea el ciclo de Rankine el cual consta de una caldera, una turbina, un condensador y las bombas de alimentación de agua de caldera. Para eficiencias mas altas el ciclo de Rankine utiliza calentadores de agua y calentadores de vapor. El presente tema trata de dos de las partes del ciclo de Rankine como lo son la turbina y el condensador. Existe bibliografía acerca de la operación mantenimiento de estas máquinas pero sobre el montaje no se conoce mayor referencia, razón que me llevo a desarrollar este trabajo de tesis, con el objetivo de aportar material bibliográfico a quienes están involucrados en el montaje de turbogeneradores.

El tema describe El Ciclo de Rankine con sus características, los componentes de un turbogenerador y la instrumentación que debe llevar para su control .

Se hace una descripción de los principales aspectos que se deben tomar en cuenta para realizar un montaje de este tipo, describe maniobras y mediciones que se deben de realizar en el alineamiento y nivelación de la máquina así como los métodos usados.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Funcionamiento de un turbogenerador con condensador:

La generación de energía eléctrica, se realiza por medio de un generador eléctrico de corriente alterna, el cuál consta de dos partes principales que son: un estator que como su nombre lo indica es la parte estática donde van las bobinas del generador y un inducido o rotor, cuando este gira se genera un campo magnético e induce una fuerza electromotriz ( Ley de Faraday).

Es importante mencionar que para lograr la magnetización del inducido se emplea un generador de corriente directa (excitatriz) que va acoplado al rotor del generador (Inducido) aprovechando así la energía mecánica que este le transmite. La corriente directa generada va a unos colectores o escobillas que magnetizan al inducido y lo mantienen excitado. Generando así la Energía Eléctrica de corriente alterna.

La forma de transmitir energía mecánica al rotor del generador o inducido es el aspecto que nos indica los diferentes tipos de generación eléctrica, los cuales pueden ser por medio de un motor de combustión interna, un turbina hidráulica, un turbina de gas etc.

Para este caso el movimiento es generado por medio de una turbina de vapor que cuenta con una carcaza o parte estática y un rotor que descarga sobre dos cojinetes, este rotor va acoplado al rotor del generador y lo hace girar.

La forma en que se hace girar el rotor de la turbina es por medio de los alabes montados al rotor y que al chocar con el flujo de vapor se ponen en movimiento Fig.1 transformándose así la energía cinética del vapor de energía mecánica, lo que posteriormente será convertido en energía eléctrica como ya se explico. El movimiento o giro del rotor de la turbina es regulado aproximadamente a 3,500 r.p.m., por un gobernador que trabaja en base a un servomotor, el cual abre ó cierra las válvulas de regulación de vapor según se requiera para mantener la velocidad constante; a su paso por los alabes de la turbina, el vapor va perdiendo presión hasta llegar a la última etapa, pasa el escape y va al condensador donde se condensa debido al contacto con la tubería adentro de la cual esta circulando agua fría.

Al condensarse el vapor se produce una presión de vacío, lo cual hace más eficiente el trabajo de la turbina, pues a la vez que evita la contrapresión permite que el vapor transformado en condensado sea alimentado de nuevo a la caldera para iniciar de nuevo el ciclo.

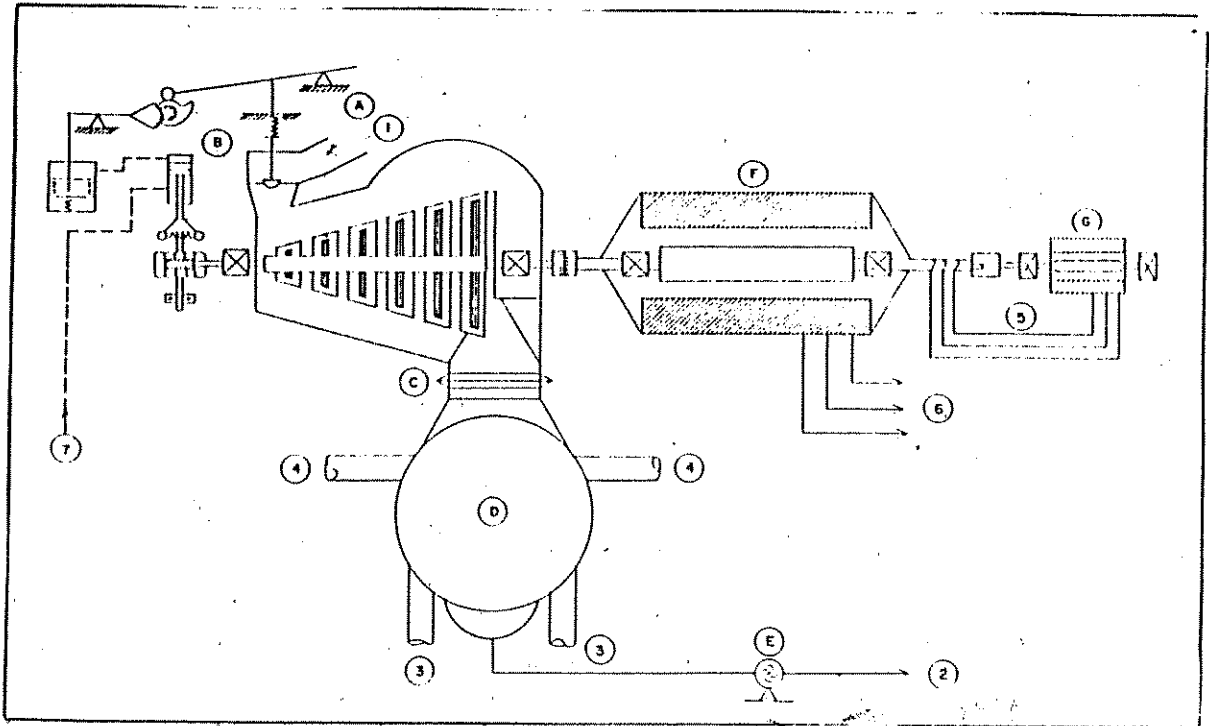


Fig. 1 Esquema un turbogenerador con condensador

1. Entrada de vapor a la turbina
  2. Salida de condensado
  3. Entrada de agua de circulación al condensador
  4. Salida del agua de circulación
  5. Líneas de corriente directa del excitador
  6. Salida de corriente alterna del generador
  7. Líneas de aceite hidráulica
- 
- A. Válvula de regulación del vapor
  - B. Gobernador
  - C. Junta de expansión
  - D. Condensador de superficie
  - E. Bomba de condensado
  - F. Generador
  - G. Excitador

## 1.2 Análisis del ciclo vapor y agua de una planta de generación con turbina y condensador

Generalmente todas las plantas generadoras de potencia con vapor emplean el ciclo RANKINE. Este ciclo se concibe como un recurso para emplear las características del agua, como fluido de trabajo y manejar el cambio de fase entre líquido y vapor. En un ciclo de RANKINE simple idealizado, la transferencia de calor en la caldera, tiene lugar hacia el fluido de trabajo, en un proceso a presión constante en la figura 2 se representa el diagrama F-V. El líquido entra a la caldera desde la banda, a una temperatura relativamente baja (estado 1) y se calienta hasta saturación a lo largo de la línea 1-2. El líquido experimenta un ligero aumento de volumen debido a la expansión térmica.

En el punto 2, se ha alcanzado la temperatura de saturación como la caldera opera efectivamente a presión constante, una transferencia de calor posterior tiene fluido de trabajo se transforma en calor de vaporación produciendo un vapor que llega a tener una calidad del 100% en el punto 3. Entonces el vapor se expande (en un proceso que se considera isentropico para el ciclo simple) produciendo trabajo en la turbina, de donde sale al estado 4. La expansión esta limitada en el ciclo práctico por la aparición de condensación del vapor en la turbina y por la presión de saturación disponible a la temperatura del medio de enfriamiento empleado en el condensador. Si se permite que una condensación excesiva tuviese lugar, las gotas de líquido condensado rápidamente erosionarían los alabes de la turbina.

Al final del proceso de expansión (estado 4), el vapor baja la temperatura pero con calidad bastante alta, sale de la turbina y es condensado hasta líquido, al ponerlo en contacto con las superficies del condensador que están frías, puesto que el condensador opera casi a la temperatura del agua de enfriamiento, el proceso de condensación tiene lugar a una temperatura de ebullición, por abajo de lo normal (atmosférica). La presión del condensador en el lado del fluido de trabajo es subatmosférico. El líquido sale del condensador al estado 5.

Después de la condensación, el líquido entra a la bomba y el fluido de trabajo regresa a la alta presión necesaria para la adición de energía a la temperatura elevada de la caldera repitiéndose el ciclo.



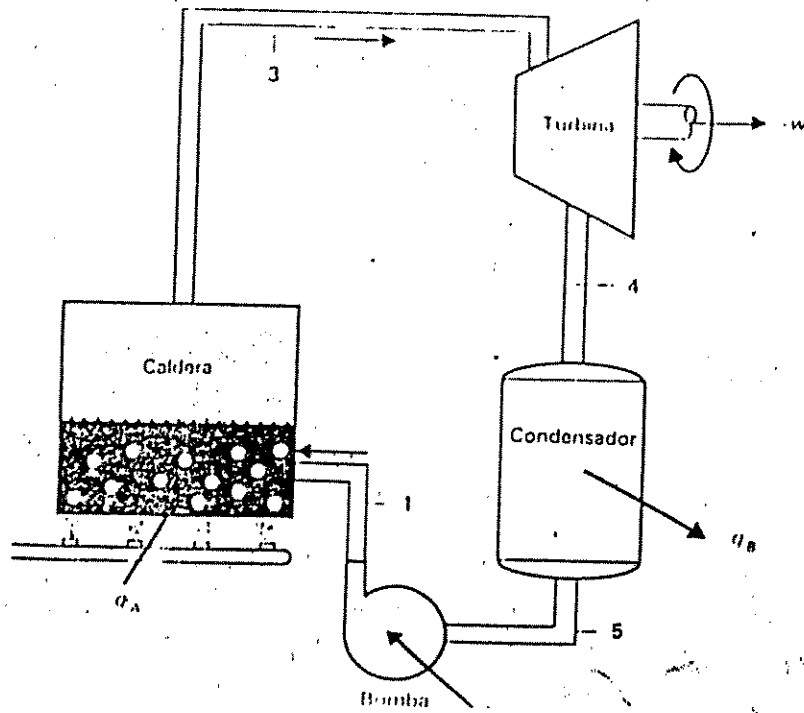


Fig. 2a Ciclo de Rankine simple idealizado

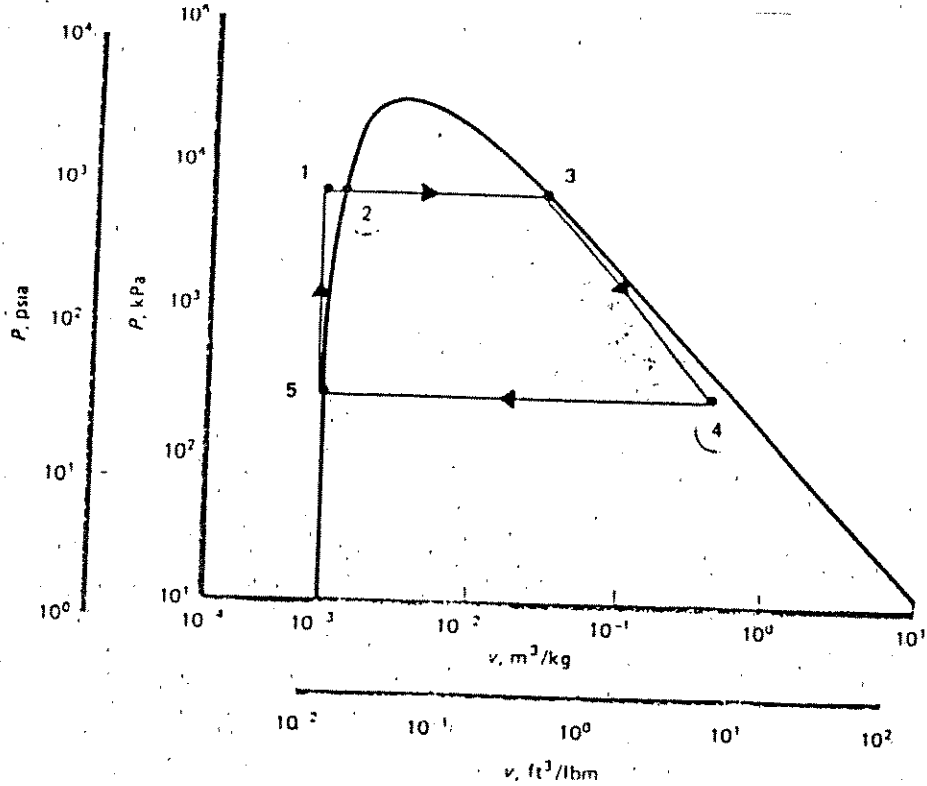


Fig. 2b Diagrama P-V de un ciclo de Rankine simple idealizado

### 1.2.1 Aumento de la eficiencia del ciclo de Rankine con sobre calentamiento de vapor.

Una forma de aumentar la eficiencia de un ciclo de RANKINE, consiste en sobrecalentar el vapor que sale de la caldera (Fig.3), esto hace generalmente pasando el vapor por tubos expuestos a los gases de combustión, calientes o alguna otra fuente con una temperatura superior a la temperatura de saturación de la caldera, por consiguiente, el vapor que entra a la turbina tiene una entalpia superior a la del ciclo de RANKINE simple.

El sobrecalentamiento del vapor que sale de la caldera tiene el efecto de elevar la calidad a la salida de la turbina hasta un valor superior al del caso de un ciclo con vapor saturado.

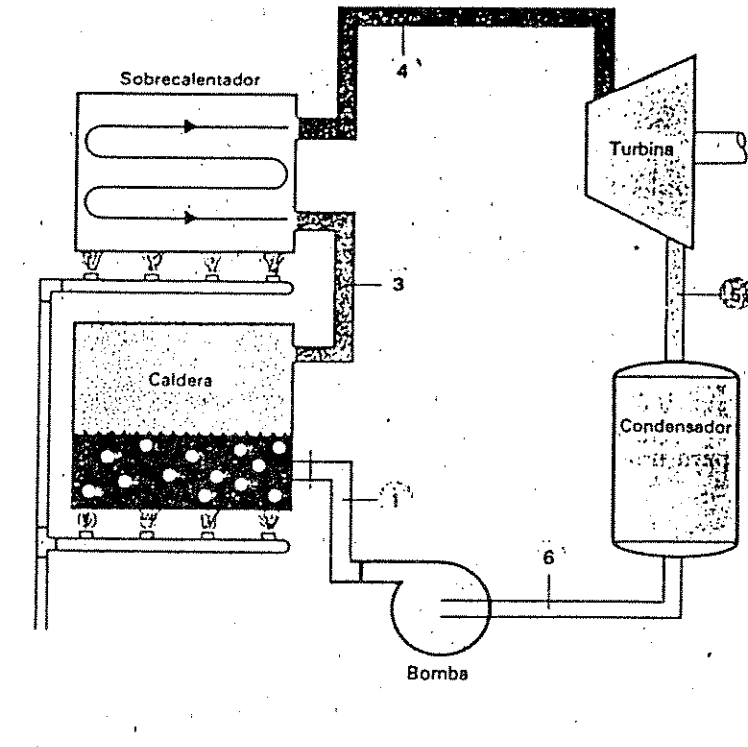


Fig. 3 Ciclo Rankine con sobre calentador.

### 1.2.2 Calentadores de agua con vapor de extracciones:

Generalmente una parte del vapor de la turbina se extrae a presiones diferentes en uno o más sitios de diversas etapas de la tubería y se pasa por uno o más calentadores del agua de alimentación, como se ve en la fig. 4. Si se emplease todo el vapor, la calidad de la mezcla vapor-líquido que sale de la turbina y se condensa reducirá considerablemente en la regeneración, lo cual es un efecto indeseable.

La parte del vapor que se extrae de la turbina extracción entra a un calentador de tipo cerrado y transfiere calor al agua de alimentación que está circulando, a través de tubos, el vapor al hacer contacto con estos tubos se condensa y va al condensador y se mezclan con el vapor que sale de la turbina, lo que disminuye ligeramente la transferencia de calor que requiere el condensador.

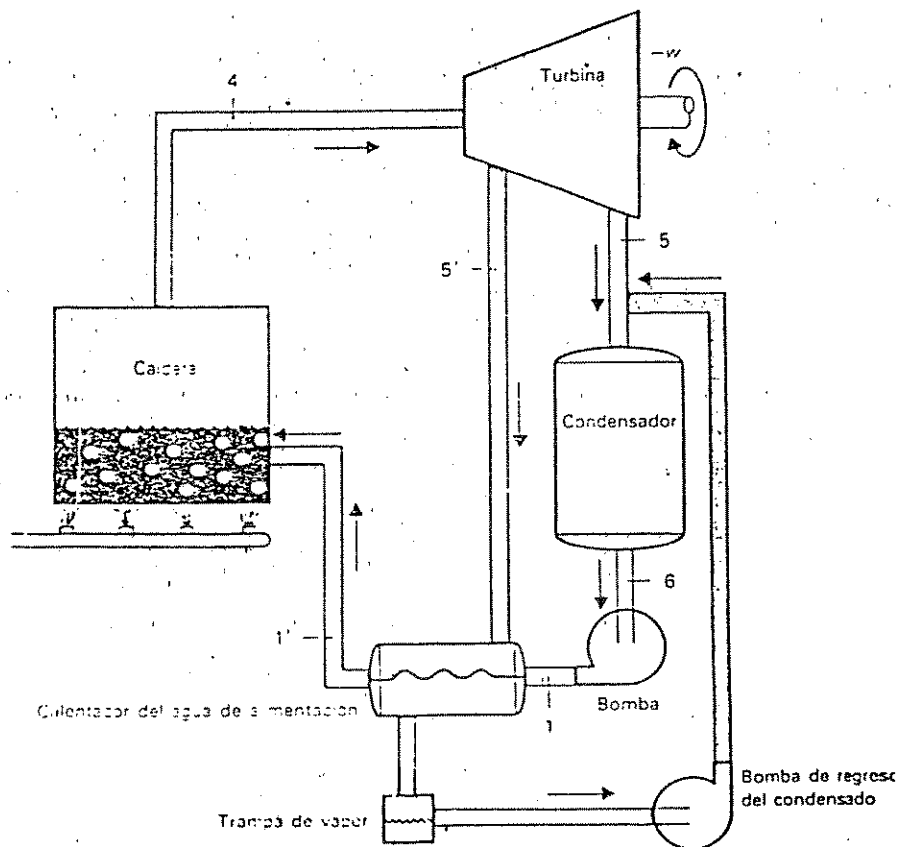


Fig. 4 Ciclo Rankine con calentamiento de agua con vapor de extracciones.

### 1.3. Análisis comparativo entre turbogeneradores del tipo de contrapresión y con condensador:

Generalmente el vapor de escape va a un condensador con una contrapresión reducida, lo cual hace que pueda obtenerse más energía por unidad de peso de vapor, el empleo del condensador nos sirve para recuperar el condensado del agua de alimentación, así como para reducir la presión del vapor de escape fig. 5 sin embargo hay casos en los que no queda justificado, porque el combustible es muy barato y abunda el agua de alimentación. Al no usar el condensado el vapor se expande hasta la presión atmosférica. En este caso no se completa el ciclo, debido a que el vapor no vuelve a la caldera en el empleo del condensador, Fig. 6.

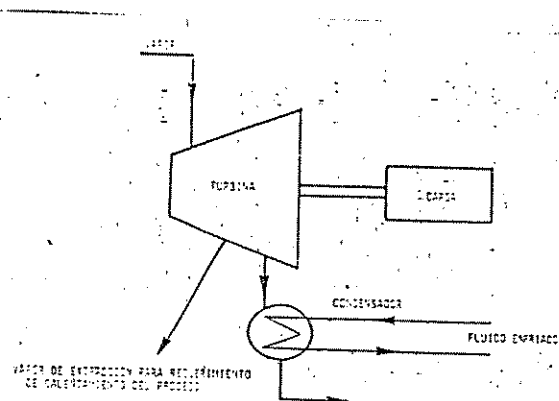


Fig. 5 Turbina de Condensación.

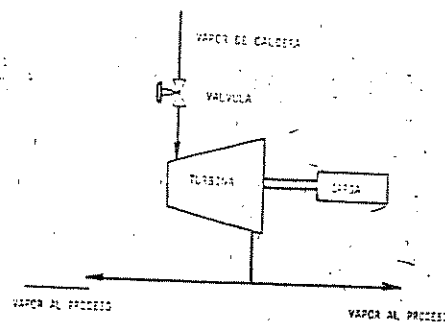


Fig. 6 Turbina de Escape.



## 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE SUS COMPONENTES

### 2.1 Turbina de vapor:

Una turbina de vapor es una máquina que convierte la energía cinética lineal de un flujo de vapor a alta presión en movimiento rotacional transformándolo en trabajo útil mecánico. Entre las ventajas que tiene una turbina de vapor sobre una máquina recíproca podemos mencionar:

- a. Una turbina proporciona un flujo suave e ininterrumpido de potencia a altas velocidades de rotación en lugar de una serie de impulsos de potencia a bajas velocidades.
- b. Hay un mejor uso de la energía calorífica en el vapor puesto que el metal de la turbina puede soportar la alta temperatura del vapor y descargar a una presión muy baja (vacío).
- c. No existe contaminación del agua de la caldera a causa del aceite de lubricación como en una máquina ordinaria de vapor.
- d. Las turbinas tienen menos peso por caballo de potencia y menos partes susceptibles al desgaste.

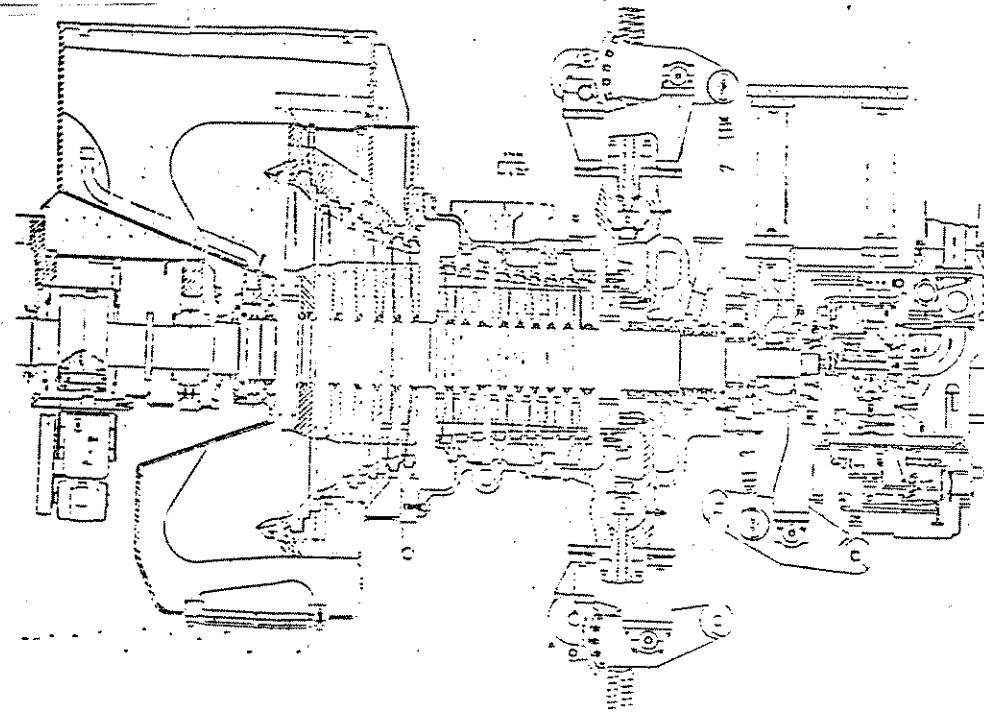


Fig. 8 La figura muestra un corte longitudinal de la turbina

## 2.1 Componentes:

### 2.1.1.1 Carcaza:

Es la parte donde van soportados los componentes de la turbina, se puede dividir en parte inferior y parte superior, y estas a la vez en alta y baja presión. El proceso de manufactura de la carcaza es por fundición, lo cuál permite alcanzar las complicadas formas que se requieren en estos elementos. Los componentes que se emplean en las aleaciones se seleccionan para obtener las características requeridas para soldar y fundir, así como buenas propiedades físicas. Las partes de la carcaza se unen mediante pernos que se aprietan en frío luego se calientan y se vuelven a apretar para obtener la tensión requerida, estos pernos se fabrican de materiales rolados ó forjados en caliente. Fig. 9.

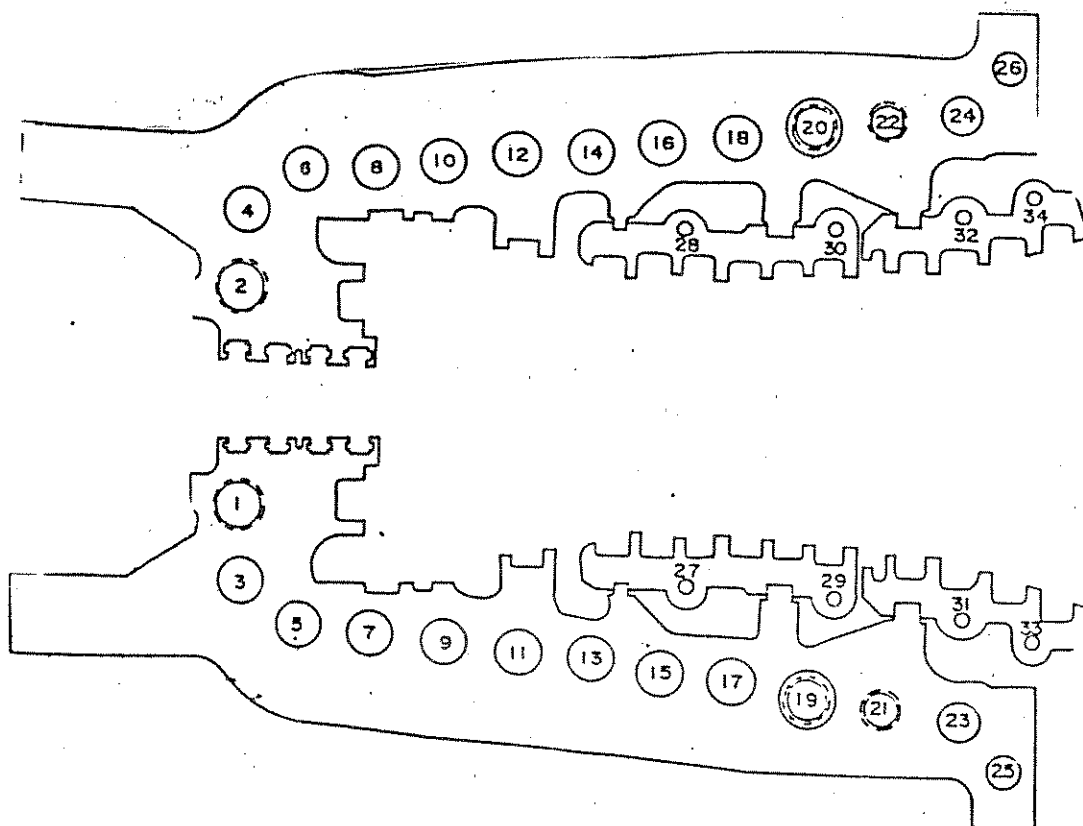


Fig. 9 Carcaza de turbina vista de planta.

### 2.1.1.2 Cojinetes radiales:

El rotor de la turbina está sostenido mediante cojinetes deslizantes parciales de 180° de carga radial uno en cada muñón. El alineamiento de estos cojinetes es muy importante para:

- Mantener holguras estrechas entre rotor y los sellos.
- Mantener holguras estrechas entre el rotor y la carcaza.

Estos cojinetes se fabrican con un recubrimiento de babbit con base de estaño (Sn) que resiste temperaturas en un rango de 150 a 175° F Figura 10.

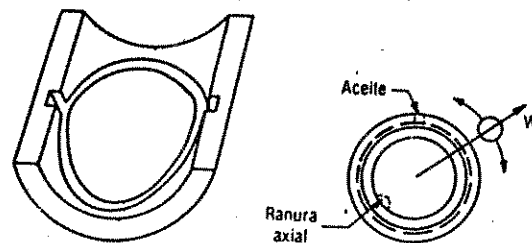


Fig. 10 Cojinete Radial

### 2.1.1.3 Cojinetes de empuje

Los cojinetes de empuje mantienen al rotor en su posición axial correcta. Generalmente las grandes turbinas usan cojinetes de empuje cónico, la cara de babbit de un cojinete de este tipo, tiene una serie de cojinetes fijos divididos por ranuras radiales; la orilla de adelante de cada sector es cónica, la cual permite que una cuña de aceite se forme y transfiera el empuje entre el collar y el cojinete. Fig. 11.

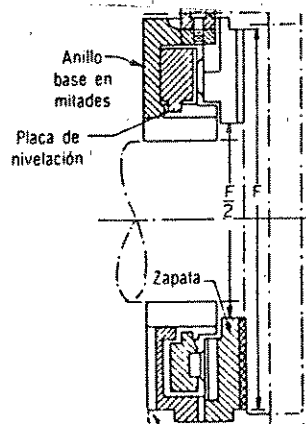


Fig. 11 Cojinete de Empuje Horizontal



#### 2.1.1.4 Rotor:

El rotor debe fabricarse de materiales que tengan buenas propiedades mecánicas y que no sea relevante su variación a sollicitaciones de temperaturas y presiones elevadas. Puede obtenerse el valor de esta flexibilidad sometiendo el material a una prueba de corte al impacto. Generalmente los rotores se hacen en aceros fundidos en hornos eléctricos y vertidos al vacío, para eliminar los defectos internos, estos rotores son fabricados con elementos aleantes como: Níquel (Ni), Cromo (Cr), Vanadio (Va) y Molibdeno (Mo).

Para la fabricación de los alabes se emplea una aleación de acero de cromo, que asegura la resistencia mecánica requerida y la resistencia a la oxidación y erosión. Fig. 12.

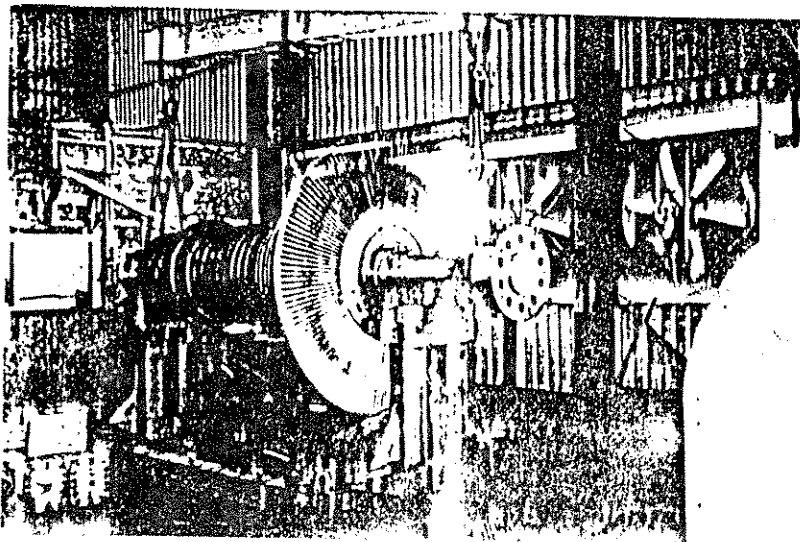
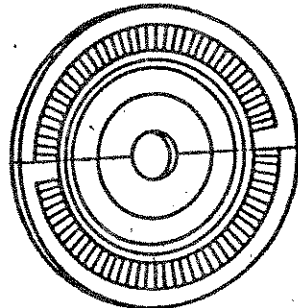


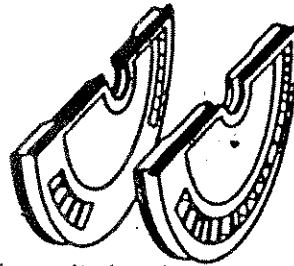
Fig. 12 La figura muestra un Rotor de Turbina.

### 2.1.1.5 Diafragmas:

Las particiones entre las etapas de presión de una turbina se llaman Diafragmas, éstos sostienen las toberas en formas de aletas y los sellos entre las etapas, normalmente se usan tipo laberinto. La mitad del diafragma va ajustado dentro de la parte superior de la carcaza y la otra mitad dentro de la parte inferior.



Diafragma común de impulso



Las mitades de diafragma muestran la unión

Fig. 13 Diafragmas

### 2.1.1.6 Sello de turbina:

Generalmente las grandes turbinas utilizan dos tipos de sellos: los empaques de laberinto que son una serie de anillos maquinados con las escotaduras de las ranuras en V, algunas veces se acomodan en las escotaduras del eje; se mantienen en su lugar por medio de una caja. Las holguras entre las V y la flecha son reducidas, porque forman una serie de bolsas en las que se estrangula el vapor. Este estrangulamiento produce una caída de presión después de cada escotadura y el otro tipo de sellado que son los sellos de agua; una pieza montada en el eje actúa como un impulsor para crear un anillo de agua bajo presión en el extremo de la pieza y sella en consecuencia el collarín. Fig. 14.

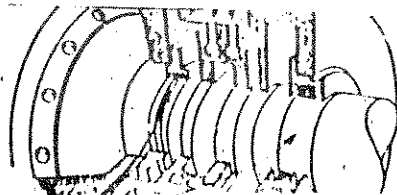


Fig. 14 Sello de vapor tipo laberinto.

### 2.1.1.7 Deflectores de aceite:

La turbina posee dos deflectores de aceite, uno en cada extremo del eje, generalmente son fabricados de aluminio y son del tipo de laberinto. Fig. 15.

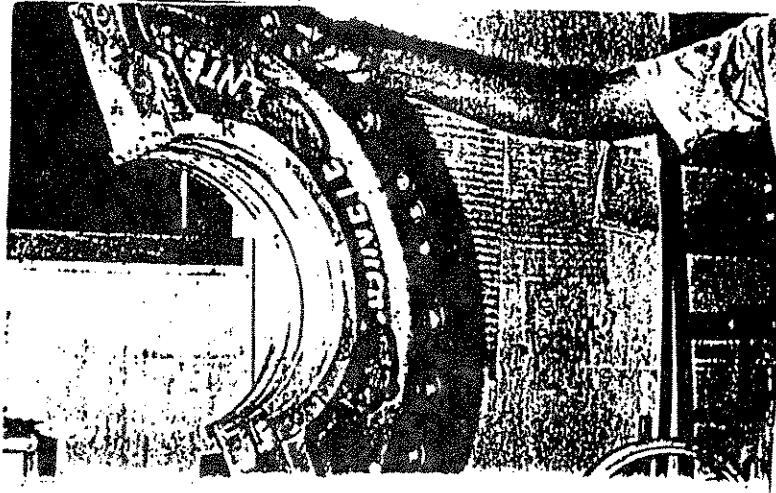


Fig. 15 Deflectores de aceite tipo laberinto.

### 2.1.1.8 Válvulas de regulación:

En las turbinas grandes un grupo de válvulas controla un flujo de vapor hacia grupos de toberas. El número de válvulas abiertas controla el número de toberas que se usa conforme a la carga. Un arreglo de levas ó de elevadores de barra accionada por el gobernador abre y cierra estas válvulas en cierta secuencia.

Fig. 16.

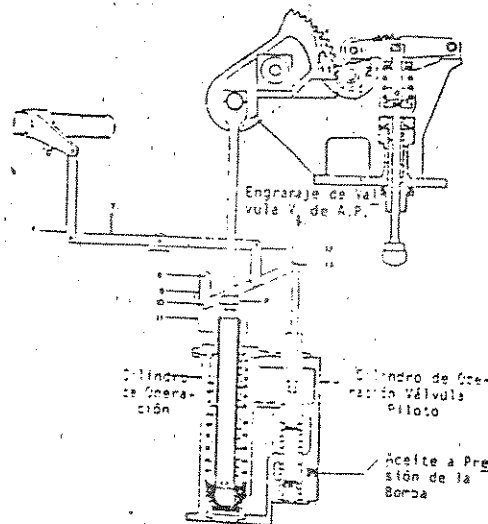


Fig. 16 Válvula de regulación de vapor.

### 2.1.1.9 Mecanismo de giro:

Las grandes turbinas se encuentran equipadas con un mecanismo de giro, con el cual puede hacerse girar el rotor en forma lenta durante los períodos de calentamiento, enfriamiento y en forma principal durante los períodos de interrupción de varios días, en los cuales puede ser necesario arrancar la turbina en cualquier momento. Esta operación tiene por objeto mantener la flecha a una temperatura uniforme en toda su circunferencia para presentar su balance y rectitud. El mecanismo de giro permite un considerable ahorro de tiempo en la puesta en marcha, en especial después de una corta interrupción. Este mecanismo va engranado en el extremo del rotor de la turbina sobre la parte superior del acoplamiento. Fig. 17.

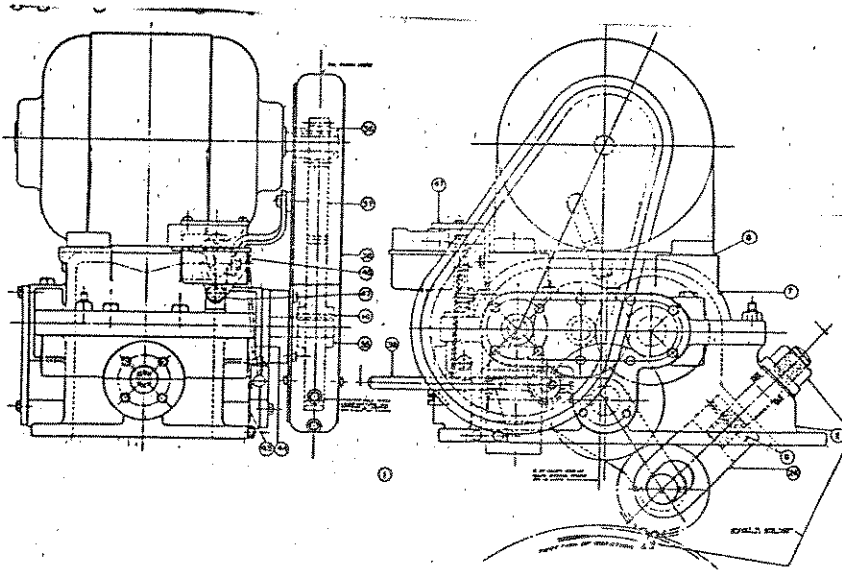


Fig. 17 Mecanismo de Giro (Tornaflecha)

## 2.2 Gobernador:

El gobernador posee un dispositivo de sobrevelocidad o emergencia que desconecta el vapor cuando se excede en el 10% la velocidad de operación (velocidad máxima y el dispositivo principal) controla normalmente la velocidad para que sea constante.

### 2.2.1. Partes importantes del gobernador:

#### 2.2.1.1 Mecanismo sensorio de velocidad:

- Pesos Centrífguos (pesas): mecanismo de balanceo del gobernador.

2.2.1.2 Transmisión que lleva el movimiento de las pesas a las válvulas de control, de vapor fluido y tubería a presión así como la transmisión.

2.2.1.3. Válvulas de control de vapor que regulan el flujo.

### 2.2.2 Funcionamiento:

Al subir la velocidad de la turbina, las partes se mueven hacia afuera en virtud de la fuerza centrífuga y hacen que la transmisión abra una válvula piloto que admite y libera aceite en cualquier lado del pistón o a un lado del pistón accionado por resortes, el movimiento del pistón controla las válvulas de vapor. Fig. 18.

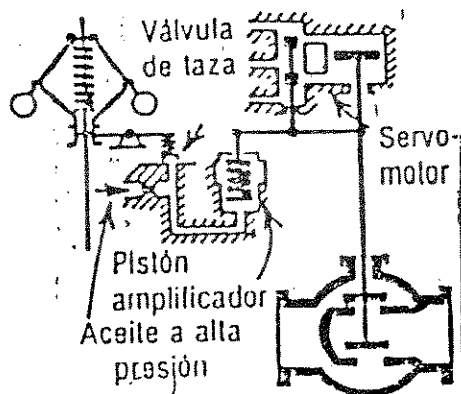


Fig. 18 Gobernador de velocidad accionado por pesos centrífugos y un servomotor.

## 2.3 Sistema de lubricación::

### 2.3.1 Objetivos:

En unidades grandes, el aceite de lubricación refrigera las chumaceras, llevándose el calor a los enfriadores de aceite. El aceite de lubricación, actúa también como fluido hidráulico para accionar el sistema gobernador de control de velocidad y otros sistemas hidráulicas.

La lubricación que emplean estas máquinas es del tipo Hidrodinámica; conforme se desliza el punto de apoyo se pega algo de aceite en las partes móviles y estacionarias y se desintegra para formar capas. Esto empuja el líquido hacia una zona en forma de cuña. En la figura 19 se ilustra el modo en que un árbol en rotación arrastra el aceite para formar una capa en forma de cuña (cuneiforme) entre el muñón y el cojinete y hace que se levante el árbol. La cuña se forma durante el arranque, separa el muñón de la superficie de apoyo o cojinete y los mantiene separados durante la marcha.

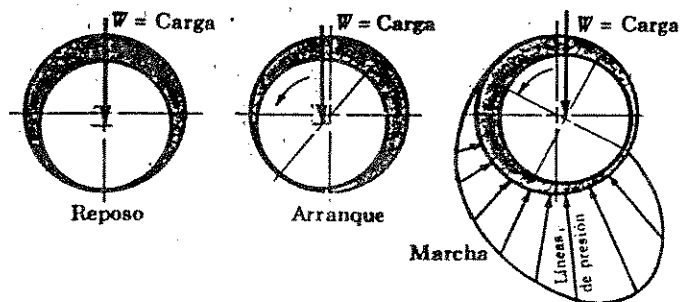


FIG. 19 La figura muestra cómo se forma la capa de aceite (cuneiforme)

### 2.3.2 Componentes:

#### 1 Tanque de Aceite:

Este es un depósito rectangular, sus dimensiones varían dependiendo del tamaño de la turbina, se encuentra localizado en la parte trasera del gobernador a un nivel más bajo de este. Las líneas de retorno de aceite están dispuestas de modo que entran al tanque horizontalmente justamente por encima del nivel de aceite y la descarga desde las válvulas del alivio. Un indicador de nivel de aceite y una alarma también forman parte del equipo.

## 2 Bomba principal y auxiliar:

Se utilizan bombas centrífugas; la bomba principal puede ser movida por una reducción sin final del eje de la turbina o por un motor eléctrico, la bomba auxiliar puede ser también accionada por un motor eléctrico o por una turbina de vapor.

Adicionalmente a estas bombas, también existe una bomba de energía accionada por una motor de corriente directa, esta bomba suministra aceite a los cojinetes en caso de fallar las bombas principal y auxiliar.

## 3 Enfriadores:

El sistema de lubricación está provisto de dos intercambiadores de calor que enfrían el aceite ya que, debido a la fricción este absorbe calor. El sistema de lubricación posee dos enfriadores, uno de servicio y el otro de reserva accionado por un juego de válvulas para un sistema de control de paso. Generalmente se usa el tipo intercambiado de calor de casco y tubos; estos tubos generalmente son de bronce y van expandidos en un espejo del mismo material. Fig. 20

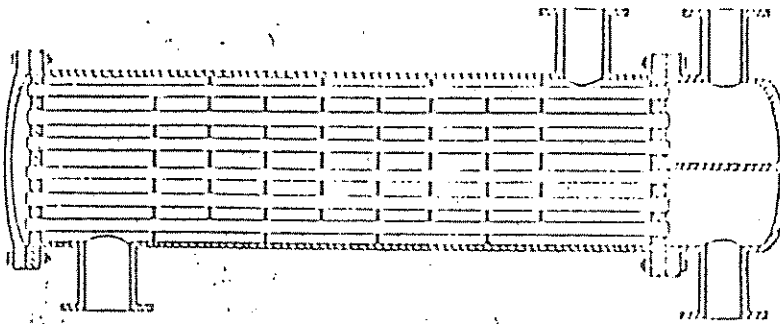


Fig. 20 Intercambiador de calor del tipo de superficie.

### 2.3.3 Funcionamiento:

El funcionamiento es muy similar en todos los casos. El aceite es traído desde el tanque y entregado a la presión óptima del bombeo  $150 \text{ lbs/pulg}^2$  a una tubería que abastece de aceite al gobernador y los mecanismos de control, luego la presión del aceite es reducida a una presión de  $25 \text{ lbs/plg}^2$ , y pasando por un enfriador de aceite y luego a la tubería que abastece de aceite a los cojinetes y sistema de sellado, luego de vuelta el aceite es pasado por un sistema de purificación que trabaja con una centrifuga para luego volver al tanque. Existe una tubería de aceite, se usa para el sellado del generador el cuál tiene un sistema de purificación (ver 2.5)

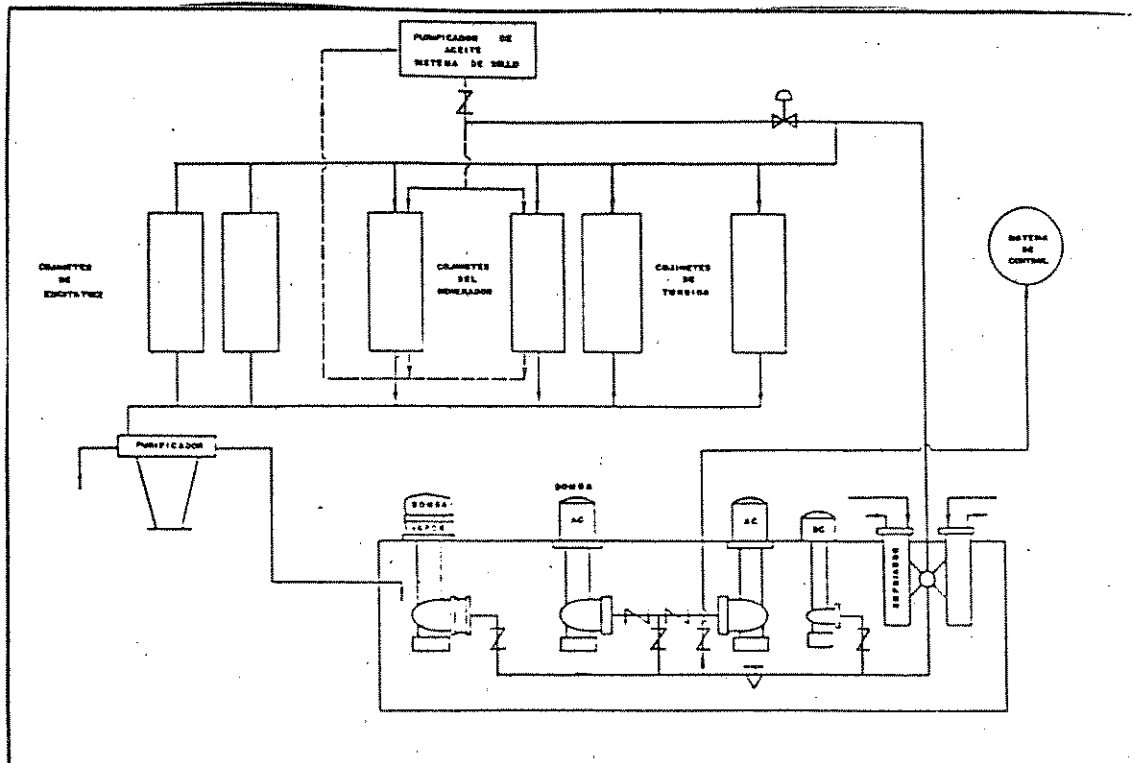


Fig. 21 Esquema de un sistema de lubricación para un turbogenerador enfriado por hidrógeno.



## **2.4 Condensador**

### **2.4.1 Objetivos:**

Reducir la contrapresión de las turbinas a fin de extraer la máxima energía térmica del vapor, ya que la potencia producida al expandir el vapor desde la presión atmosférica hasta un vacío de 29 pulgadas es más o menos la misma que si se expandiera al vapor de 200 lbs/pulg.<sup>2</sup> y 600 °F hasta la presión atmosférica.

Recuperar el condensado con bajo contenido de oxígeno para agua de alimentación de la caldera a su temperatura total.

### **2.4.2 Funcionamiento:**

El agua de enfriamiento circula a lo largo de los tubos, por medio de una bomba centrífuga de gran caudal. Las superficies de los tubos que están más frías, hacen que se condense el vapor, se reduzca su volumen y se produzca un vacío.

El agua de enfriamiento disipa el calor latente creado por la condensación.

El vapor entra por la parte superior del casco, se condensa cuando se hace contacto con los diversos tubos fríos y cae al pozo caliente en el fondo del casco, como condensado. El propósito de los conductos que van al pozo caliente es economizar el calor mediante el calentamiento del condensado a la máxima temperatura que permita el vacío. El subenfriamiento del condensado es un desperdicio.(depresión del condensado).

Una bomba envía el condensado a un eyector de aire en donde se condensan el vapor y el aire, y aumenta la presión de modo que se puedan descargar los gases no condensables a la atmósfera. El condensado retorna al sistema de alimentación para volverse a usar.

### **2.4.3 Componentes del Condensador:**

#### **2.4.3.1 Cuerpo del Condensador:**

Generalmente el cuerpo del condensador es de forma cilíndrica o rectangular con 2 espejos de bronce en los extremos donde van expandidos los tubos que generalmente se fabrican de una aleación de 88% de cobre, 10% de estaño y 2% de zinc, para condensadores que trabajan con agua dulce y una aleación de 90-10 cobre-níquel, cuando emplea agua salada, forman también en el condensador dos cajas de agua, una en cada extremo, las cuales se fabrican de hierro fundido.

#### **2.4.3.2 Junta de expansión:**

Este dispositivo se emplea para ajustar los movimientos entre la turbina y el condensador, provocados por las diferencias de temperatura. Esta junta de expansión se fabrica de acero inoxidable del tipo de fuelle o bien con una del tipo de banda de gaucho. En las unidades pequeñas pueden apoyarse los condensadores sobre resortes y la conexión con la turbina puede ser rígida.

#### **2.4.3.3 Eyectores de aire y gases no condensables:**

Un eyector de aire es una boquilla de vapor que descarga un chorro de este a alta velocidad a unos 3500 pies/seg, el vapor circula por una cámara de succión y a lo largo de un tubo de Venturi de compresión. El aire o gases que se van a desalojar, entran a la succión del eyector en donde los arrastra un chorro de vapor y descargan por la garganta del eyector. El eyector descarga ya sea en un condensador pequeño o en un calentador del agua de alimentación en donde se condensa el vapor, el aire y los gases se descargan a la atmósfera.

#### 2.4.3.4 Bombas de circulación del agua:

Estas bombas son del tipo centrífugas de mediana capacidad, con un 30% ó 40% adicional para cada bomba dada la gran diversidad de intercambiadores de calor que existen en la cabeza dinámica total (TDH) se obtiene al sumar la fricción en el condensador y en caja de agua.

La pérdida en los tubos y cualquier carga estática no recuperada en las instalaciones que tiene torres de enfriamiento, la cabeza normal tiene un valor aproximado de 60 pies y de 20 pies si no cuenta con torres de enfriamiento.

#### 2.4.3.5 Bombas de condensado:

Estas bombas son del tipo centrífugas de capacidad total y ésta se determina por el flujo en el condensador, al que se agrega en caso de haberlo, el drenaje de algún calentador que sea vertido en el condensador más de 50% como margen adicional. Cuando se tiene agua en el punto de ebullición los límites de la carga total dinámica varía desde un valor normal de 100 pies en planta pequeña hasta 800 pies en la grande.

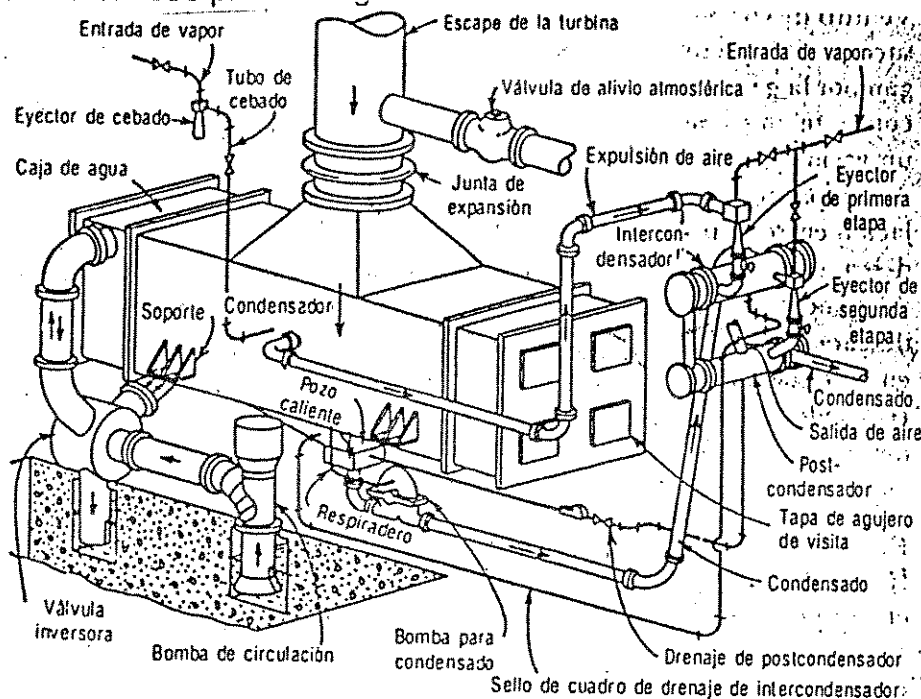


Fig. 22 Los auxiliares ilustrados se necesitan para mantener a su máxima eficiencia el moderno condensador de superficie.

## 2.5 Generador:

Un generador de corriente alterna, es una máquina que produce este tipo de corriente, el rotor es el campo de corriente continua y el estator (devanado estacionario) se convierte en la armadura. La excitación de corriente continua es alimentada a los polos que están montados en la flecha giratoria (rotor) que descansa sobre dos cojinetes con revestimiento de babbit. El flujo magnético barre por encima de los devanados fijos de las bobinas del estator, montados en la armadura se inducen voltaje y corriente, cuando la flecha se hace girar por medio de otra máquina, dependiendo del número de pares de polos, se producirá una corriente alterna que tenga características manofásicas o polifásicas.

### 2.5.1 Partes de un Generador:

Aparte de los componentes principales del Generador: Estator, Rotor y Cojinetes, donde éste descansa, también hay otros componentes muy importantes que se describen a continuación;

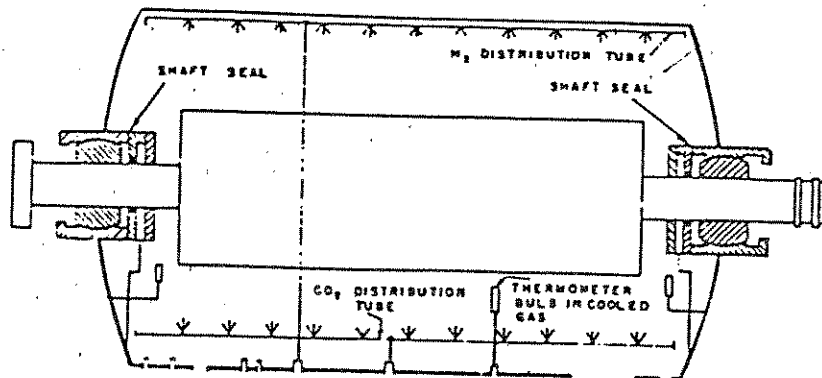


Fig. 23 La figura muestra una Generador enfriado por hidrógeno.

**a. Sistema de enfriamiento**

El hidrógeno es usado en el generador como agente enfriador debido a su gran capacidad de enfriamiento y a su baja densidad, lo cual hace más fácil su circulación en el interior del generador. Otra de las ventajas del hidrógeno es que no genera humedad como sucede con el aire. El hidrógeno tiene una densidad catorce veces más pequeña que la del aire, lo cual reduce las pérdidas por fricción e incrementa la eficiencia de 0.5 a 1.0%, para máquinas que trabajan a altas velocidades. Generalmente la presión del hidrógeno se mantiene en un rango de 0.5 a 15.0 lbs/pulg<sup>2</sup> y esta presión deberá ser 4 ó 5 lbs/pulg<sup>2</sup> menor que la presión del aceite de sello.

**b. Enfriadores de hidrógeno**

Generalmente estos enfriadores son cuatro y están montados verticalmente en los cuatro extremos del generador. El hidrógeno es absorbido por la parte superior del estator y se hace circular en un sistema cerrado, por los ventiladores del generador. El gas es enfriado al circular por la superficie de los tubos de los enfriadores, dentro de los enfriadores circula agua fría.

**c. Sellos de hidrógeno en el eje del Generador**

Una caja de sellos es acoplada al generador en cada uno de sus extremos. Esta caja contiene dos anillos selladores con un diámetro interno de unas pocas milésimas más grande que el diámetro del eje del generador, los segmentos de cada anillo son sujetados por soportes, cada resorte separa axialmente a los dos anillos, el aceite de sello fluye entre los anillos y el eje en ambas direcciones, la película de aceite entre el anillo y el eje forman un sello que mantiene al hidrógeno adentro del generador, luego de formar el sello, el aceite es drenado de la caja de sello a una tubería de descarga de aceite, donde se mezcla con el aceite de las chumaceras del generador, para luego pasar a la planta de purificación de hidrógeno.

#### d. Sistema de purificación de aceite

El aceite que sirve para lubricar los cojinetes del generador y formar el sello, tiene un proceso de purificación para eliminar el porcentaje de aire e hidrógeno que pueda contener, como se muestra en el esquema, el aceite que lubrica a los cojinetes del generador, luego de lubricar pasa a un cabezal que comunica al tanque de aceite principal y a un compartimiento donde expulsa el aire que pueda contener, luego pasa a otro compartimiento donde se junta con el aceite de sellado y juntos son pasados a un tercer compartimiento, donde el aceite choca hacia arriba con una lámina, creando un efecto de pulverización separando el aceite de los gases, estos son evacuados mediante una bomba de vacío y el aceite ya purificado es bombeado a un enfriador y finalmente vuelve a su función de sellado; el aceite que lubrica los cojinetes viene al tanque principal, pero existe una válvula reguladora que se alimenta con el sistema de purificación, cuando la presión que viene del tanque de aceite es baja.

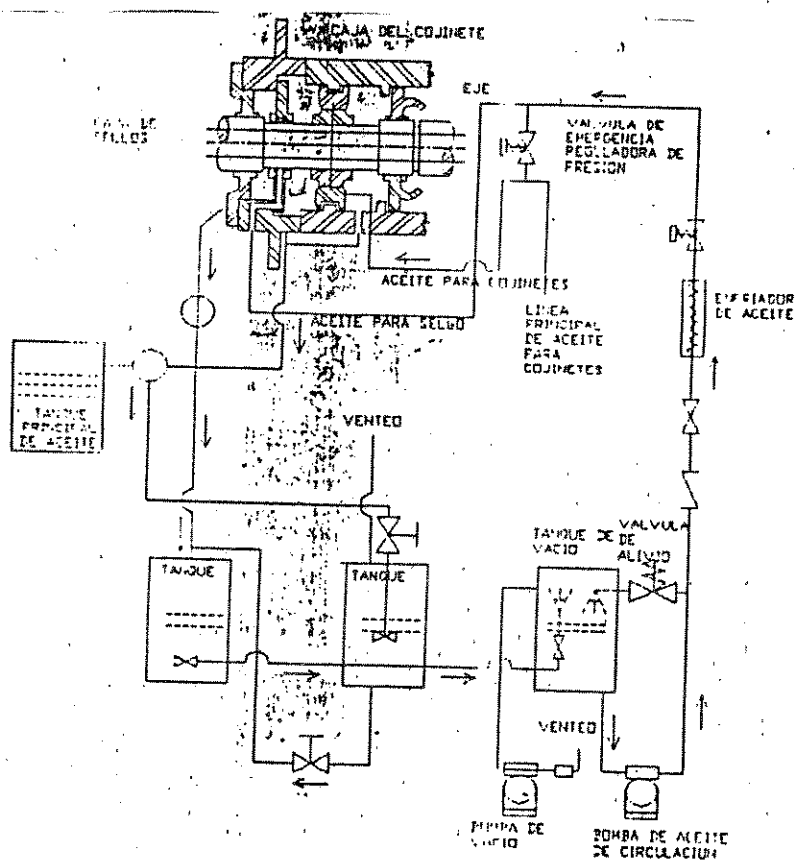


Fig. 24 Diagrama del Sistema de Sellos de Hidrógeno.

## 2.6 Excitatriz:

La excitatriz es el medio por el cual, la corriente directa se aplica al campo en el rotor del generador, con el fin de controlar su intensidad magnética, y por consiguiente el voltaje terminal y la potencia reactiva del generador principal. La corriente de excitación se aplica al rotor por un generador de corriente directa impulsado por un motor de corriente alterna separado por el eje del generador principal.

Otro método se caracteriza por un sistema de excitación estático, el cual como su nombre lo indica no requiere un equipo rotatorio; el sistema de excitación estático, básicamente usa la potencia de salida del generador principal, la pasa a través de transformadores y finalmente la rectifica por medio de diodos de silicio.

### Fuente de potencia:

El sistema de excitación debe suministrar los requerimientos de potencia de excitación del generador. Las fuentes comunes de potencia para el sistema de excitación son el eje, la unidad principal turbogeneradora, las barras auxiliares del sistema de potencia y las terminales del generador principal.

Por lo general, la excitatriz se impulsa directamente desde el eje del generador.

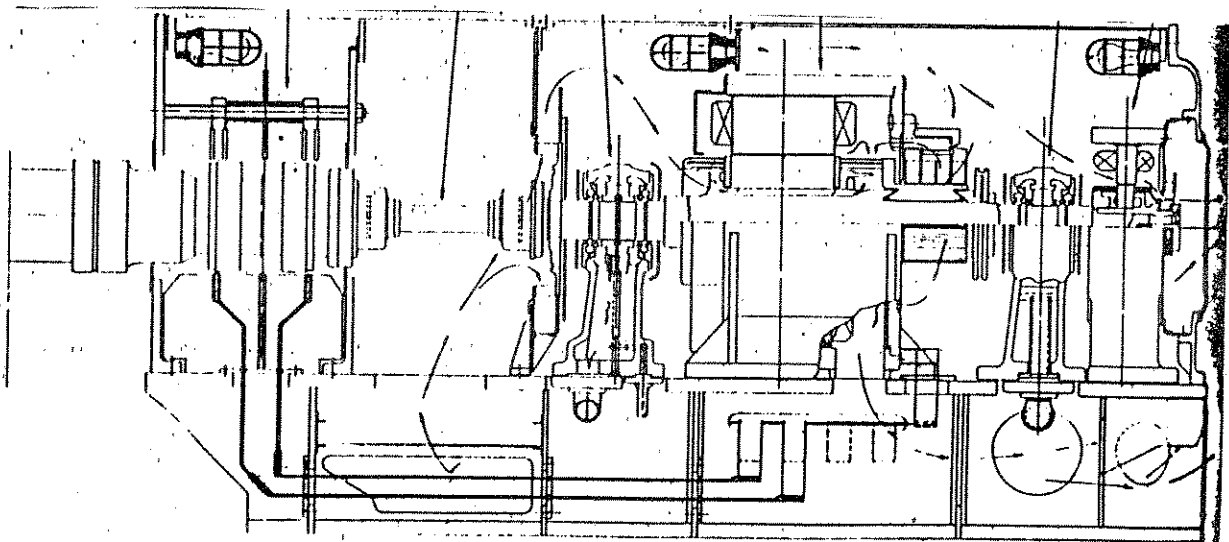


Fig. 25 La figura muestra un sistema de excitación acoplado al generador

### 3. DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE

#### 3.1 Estructura para la base del Turbogenerador:

Los turbogeneradores, pueden arreglarse más convenientemente en una cimentación estructurada con marcos. En efecto la localización del condensador, redes de tubería, alambrado eléctrico etc., puede llevarse a cabo fácilmente a través de la propia estructura. Este tipo de cimentación permite además el acceso e inspección de las diversas partes de la maquinaria y facilita el servicio y mantenimiento del equipo. En relación con el comportamiento estructural resulta que el efecto de los asentamientos producidos por la sobrecarga se disminuye en las cimentaciones estructurales como consecuencia del menor peso de la cimentación y por la compensación parcial implícita en la excavación que se realiza para localizarla. Sin embargo este tipo de estructura resulta inadecuado para cimentar máquinas de tipo recíprocante por la magnitud de las acciones dinámicas.

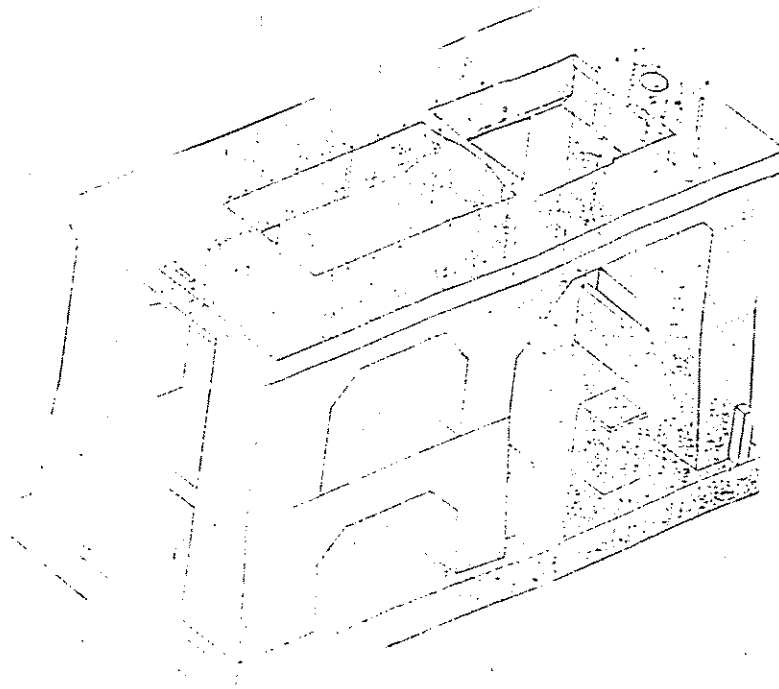


Fig. 26 Cimentación de estructura con marcos para un turbogenerador con condensador.



### 3.1.1 Datos requeridos:

- a) Diagrama dimensional y de localización de equipos accesorios. Diagrama de la red de tuberías, canales ranuras, anclajes, placas, etc.
- b) Diagrama de las plantas de condensación y piso del turbosistema.
- c) Diagramas de localización y magnitud de las cargas estáticas y dinámicas sobre la cimentación.
- d) Potencia y velocidades de la máquina.

### 3.1.2 Consideraciones de diseño:

- a) La cimentación de marcos consiste generalmente en tres o más marcos empotrados en una losa de cimentación gruesa.
- b) Los marcos rígidos están fijos en dirección perpendicular a su plano a través de largueros longitudinales y de la plataforma superior.
- c) La geometría general de la estructura de cimentación, las secciones de largueros, marcos, refuerzos etc., deben preferiblemente ser simétricos respecto al plano vertical que pasa por el plano de máquina.
- d) El plano de los marcos deben ser perpendicular al eje de rotación de la máquina.
- e) Deben evitarse en lo posible excentricidades en las cargas sobre largueros y vigas para evitar torsiones. Las cargas deben quedar aplicadas en el eje que pasa por el centro de gravedad de la sección transversal y debe ser preferentemente rectangular o en T.
- f) Debe procurarse la mayor rigidez posible de la plataforma superior.
- g) La cimentación debe separarse del cuarto de máquinas con el objeto de evitar transmisión de vibraciones.
- h) Las vigas en voladizo de la plataforma del turbogenerador deben diseñarse con la mayor rigidez posible para evitar agrietamientos.

i) Los soportes y chumaceras de los turbogeneradores deben estar ajustados. Las flechas de transmisión deben estar horizontalmente.

j) La presión del suelo en la losa de cimentación puede obtenerse bajo las condiciones más desfavorables de carga estática (no hay necesidad de analizar acciones dinámicas en el suelo). En casos extremos podrá reducirse la presión del suelo no más de 20%.

k) Debe evitarse en lo posible la distribución no uniforme de esfuerzos en la cimentación. Por ejemplo deberá alejarse esta cimentación de la del edificio.

l) La rigidez de la losa debe ser suficiente para evitar asentamientos diferenciales usualmente la rigidez será superior a la que resulta de un análisis de resistencia. (ver tabla I para valores recomendables de espesor)

**TABLA I**

POTENCIA (KW)	ESPESOR (M)
Hasta 6000	0.8 a 1.2
6000 a 12000	1.0 a 1.6
12000 a 25000	1.6 a 2.0
más de 25000	2.0 a 4.0

m) En plantas de vapor o temperatura elevada, debe proporcionarse aislamiento térmico a los pasos de tubería de vapor. No es conveniente alojarlas dentro de la cimentación.

h) El acero de refuerzo de la cimentación debe reunir los requisitos de las normas correspondientes, pero además es conveniente observar las siguientes prácticas:

- Todas las unidades de la cimentación deben tener doble refuerzo.
- Las columnas tendrán refuerzo simétrico.
- Ninguna unidad debe tener una cantidad de refuerzo inferior a 30 kg/M<sup>3</sup> de concreto.
- La distancia de estribos será como máximo: 25 cm en trabes y 35 cm en columnas.

- Debe suministrarse refuerzo a la losa para prever asentamientos diferenciales. El refuerzo superior e inferior de la cimentación debe ligerarse mediante estribos.
- Debe reforzarse especialmente todas las secciones debilitadas por aberturas, ductos etc.
- Debe muestrearse el concreto para pruebas de resistencia, llevando un registro de la zona en la que se aplicó.

### 3.13 Bloques de Concreto:

Entre la base o cimentación y las platinas del turbogenerador van los bloques de concreto que ayudan a linear y nivelar las platinas. El material utilizado para estos bloques deben tener la siguiente mezcla:

- a) **CEMENTO:** Este debe ser del tipo portland o algún tipo de cemento preparado especialmente para soportar grandes esfuerzos de compresión.
- b) **ARENA:** La arena deberá ser lavarse y limpiarse, el grado ideal es el que posee un rango entre 2.8. y 3.2 décimas de milímetro.
- c) **AGUA:** El agua deberá estar limpia y libre de aceites, ácidos, sales o cualquier sustancia contaminante.
- d) Una operación satisfactoria se obtiene de un saco de de 1:2:1  $\frac{1}{4}$  cemento, arena y agua.
- e) **Forma de fundición:** Cuando las platinas han sido alineadas y niveladas se procede a realizar la fundición, estando colocadas, construyendo previamente un cajón o formaleta con las dimensiones que necesitamos para soportar dichas platinas, al cajón se le deben de adaptar una especie de tolvas por donde fluirá el cemento.

El número de tolvas de 4 a 6 o más si fuera necesario. Las figuras 27a y 27b muestran las características y la forma en que van colocadas respectivamente.

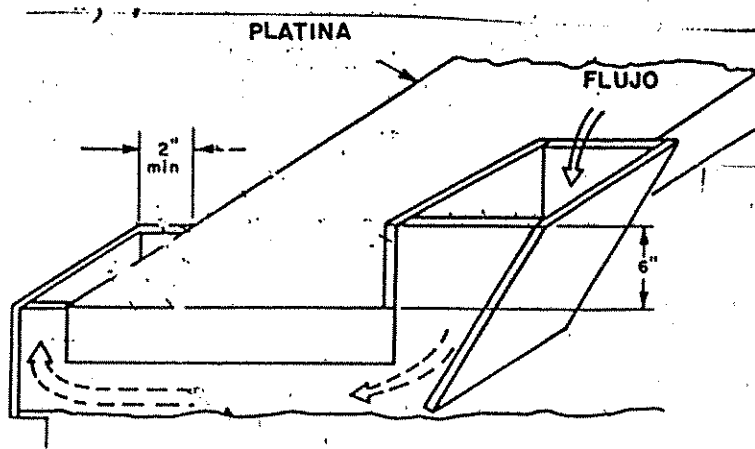


Fig. 27a Características de una formaleta con tolvas.

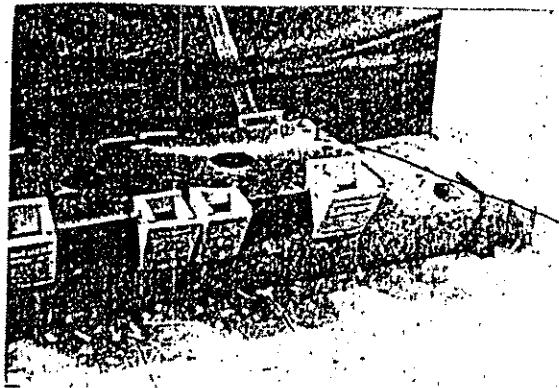


Fig. 27b Forma en que se coloca la platina para fundir la base.

### 3.2 Instrumentación y equipo necesario:

#### 3.2.1 Grúa torre con pluma normal:

La figura 28 muestra una grúa de torre mecánica, entre sus características tenemos que posee ocho ruedas las cuales son motrices y todas tienen frenos de aire. La dirección es hidráulica y con contrapesos traseros conectados por pasadores desmontables para trasladarse en carretera. Este tipo de grúa es indispensable para realizar un montaje de gran magnitud. Se emplea generalmente para la carga y descarga de partes de gran peso a plataformas. La tabla II nos muestra las capacidades y límites de este tipo de grúas.

**TABLA II**

Capacidades y límites de funcionamiento de grúas normales (

Longitud, pies	Pluma			En pesantes	
	Radio, pies	Ángulo, grados	Altura de punta, pies	Atrás, lb	Laterales, lb
30	11	81.0	11.3	250,000	250,000
30	25	46.3	24.3	123,300	123,300
60	16	80.7	63.1	145,100	145,100
60	30	49.7	41.0	52,200	50,100
90	20	81.3	92.9	131,600	131,600
90	80	31.3	49.8	49,000	26,000
180	40	79.2	180.6	46,700	16,700
180	150	31.6	68.9	8,300	6,200
230	50	79.0	229.6	21,000	21,000
230	220	18.9	77.3	2,900	1,800

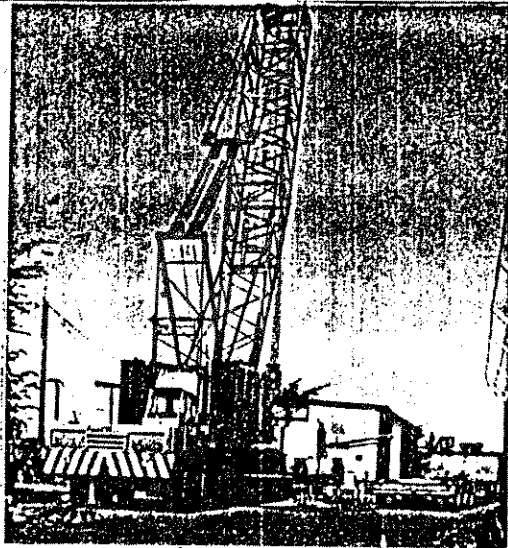


Fig. 28 Grúa de torre mecánica

### 3.2.2 Grúa Puente:

Una grúa puente, es un vehículo para elevar, transportar y descender cargas. Consiste en un puente soportado por ruedas en sus extremos, lleva un aparejo elevador y se mueve sobre una vía elevada o aérea. La unidad elevadora está soportada sobre unas ruedas a fin de que pueda recorrer la longitud del puente. Este tipo de grúa consta de dos vigas armadas (a) para formar un puente y en su parte superior tiene rieles sobre los cuales corre el aparejo elevado, (b) integral llamado carro, las vigas armadas están soportadas en sus extremos por carros de plataforma con dos ó cuatro ruedas según el tamaño de la grúa. La grúa se mueve a lo largo de la viga, por medio del motor (c) que impulsa el eje (d) y con los engranes que hay en las ruedas de los carros. La cabina (e) del operador está suspendida del lado del puente y en ella se encuentran los interruptores y controles maestros, el cilindro principal del freno hidráulico, etc.

Las vigas del puente para grúas pequeñas son del tipo I, pero en los claros grandes se usan vigas de caja, para darles rigidez torsional y lateral.

El aparejo elevador consta de un carro para la maquinaria de elevación y está soportado sobre ruedas para movimiento a lo largo de los rieles del puente. Los carros tienen un segundo aparejo elevador a fin de tener un elevador doble o un auxiliar de menor capacidad. Figura 29.

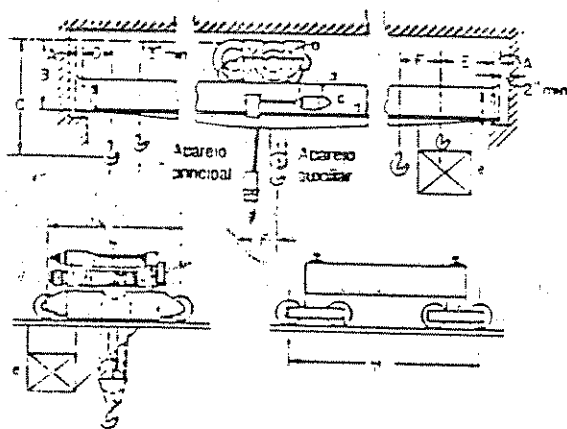


Figura 29 Partes de una Grúa Puente.

### 3.2.3 Diferenciales (aparejos de cadena)

#### a) Diferenciales manuales:

Son dispositivos portátiles de elevación suspendidos de un gancho accionados a mano con cadena, se usan para diversos trabajos de elevación y suspensión, se encuentran en capacidades hasta 45 toneladas . figura 30.

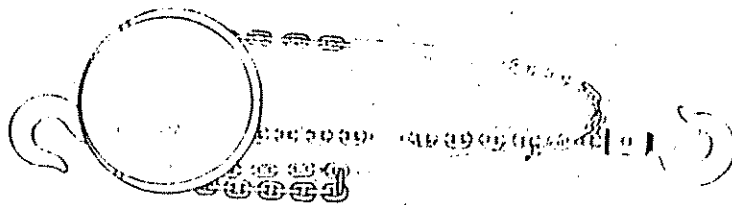


Fig. 30 La figura muestra un diferencial

#### b) Aparejos tiradores :

Los aparejos tiradores se emplean con cadena o cable, accionados por una palanca (figura 31) para elevar o tirar a cualquier ángulo. Un mecanismo de mairaca reversible en la palanca permite el funcionamiento sobre distancias cortas, tanto al aplicar tensión como al soltarla.

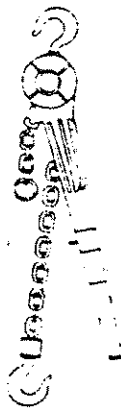


Fig. 31 La figura muestra aparejo tirador.

### 3.2.4 Balancín:

Este dispositivo se construye de viga I de 12" de alma y tres pernos de acero 1040 de 2" de diámetro en forma de U uno de ellos cuelga de la grúa y los otros dos sostienen al rotor. Es recomendable fijar en uno de ellos un aparejo diferencial para poder nivelar con facilidad. Los tres pernos con sus respectivas platinas se pueden desplazar para buscar el centro de gravedad. Figura 32

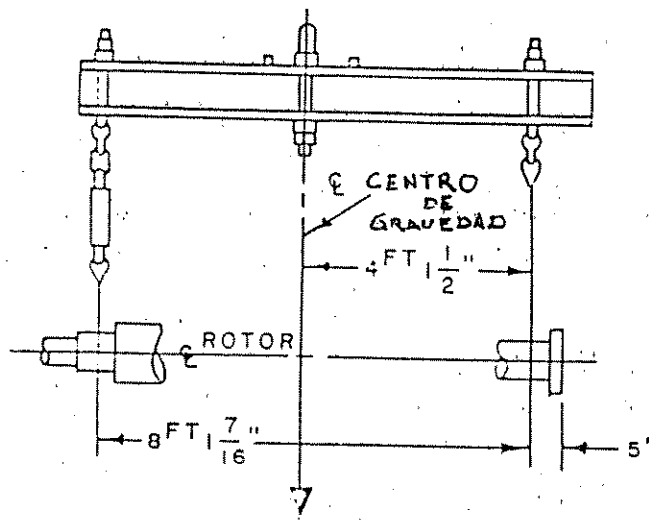


Fig. 32 Balancín empleado en el montaje del rotor y carcazas.



### 3.3 Proceso de montaje

#### 3.3.1 Montaje del condensador:

El montaje del condensador, es una de las maniobras que representan mayor grado de dificultad debido a su considerable peso y gran volumen. Si la maniobra se realizará con una grúa puente resultara más sencilla, pero generalmente el condensador es el primer elemento a montar y cuando esta maniobra se lleva a cabo aún no se cuenta con un edificio como para soportar este tipo de grúa. Una forma de realizar la maniobra es colocando dos soportes en forma de rieles en donde se apoyara el condensador y luego deslizarlo hasta llegar a sus bases donde los pequeños tirones con la grúa y ayudándose con dos diferenciales, Previo a esta maniobra ya deben de estar perfectamente alineadas y niveladas las platinas. (Ver sección 4.3.1) La figura 33 muestra un esquema de esta maniobra.

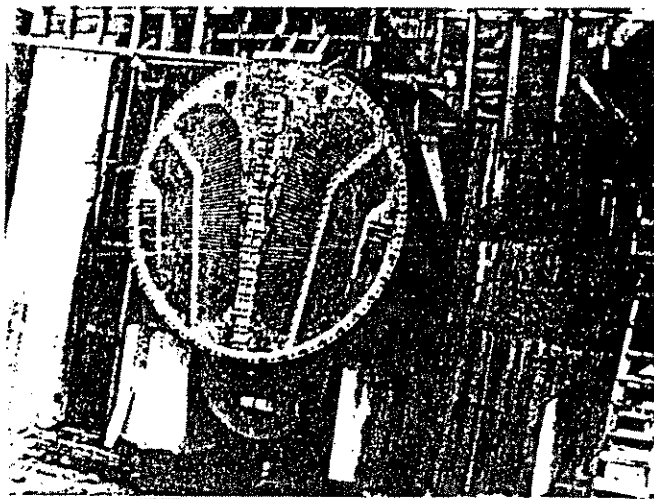


Fig. 33 Maniobra del montaje del condensador.

### 3.3.2 Montaje del Generador:

Este montaje se lleva a cabo en dos partes principales que son: montaje del estator y montaje del rotor.

#### a) Montaje del estador:

Esta maniobra al igual que la del condensador presenta dificultad, con la diferencia de que el lugar donde va a ser instalado es más accesible que el lugar del condensador. Realizando previamente su alineamiento y nivelación, se procede a realizar el montaje. Por razones de reducción de peso; el montaje se realiza sin rotor, sin tapaderas y sin enfriadores. Antes de la maniobra se deben colocar las guías de las platinas para que la grúa baje al estator exactamente en el punto donde debe quedar. Figura 34.

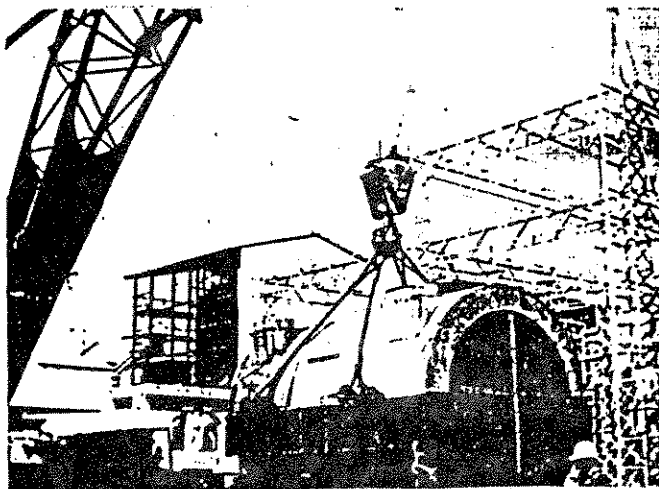
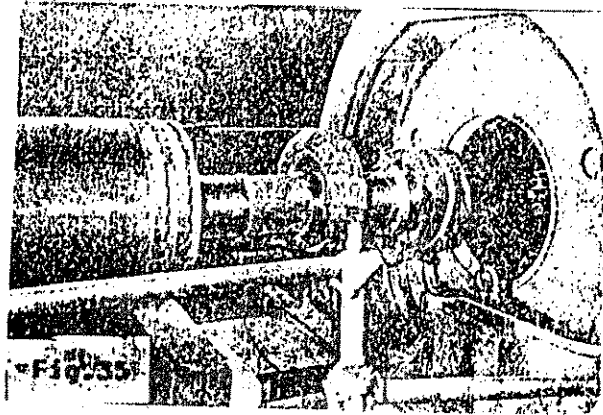


Fig. 34 Maniobra del montaje del estator realizado a través de una grúa de torre mecánica.

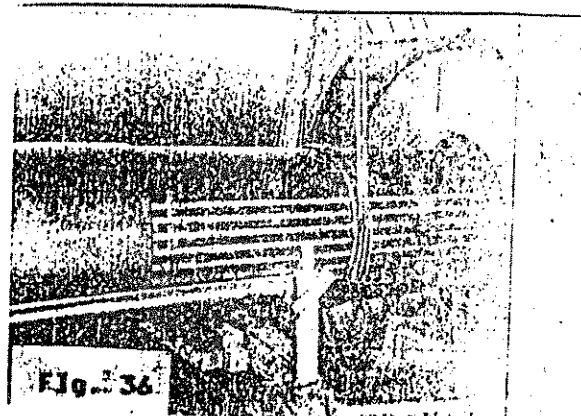
**b.) Montaje del rotor:**

Esta maniobra se realiza en seis pasos principalmente que son:

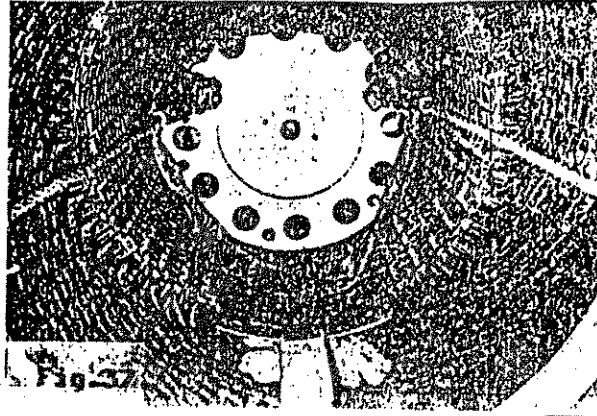
**Paso No.1** El rotor es soportado en su centro de gravedad por la grúa, la parte dentada del acoplamiento se debe recubrir para evitar que cause daños a su paso por el estator. Figura 35.



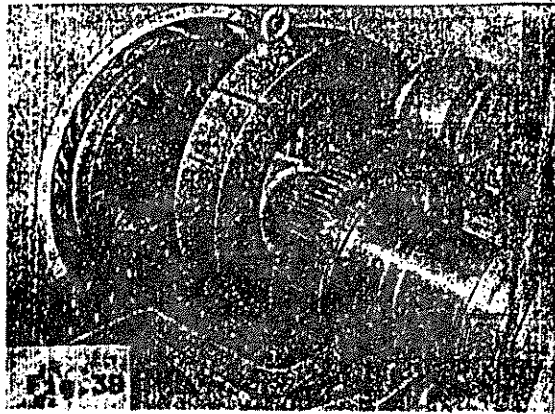
**Paso No.2** El rotor se introduce paralelamente al estator; el extremo que va a la turbina (adentro del estator) es soportado por un zapato deslizante y el otro extremo (fuera del estator) es soportado por trozos de madera. Figura 36.



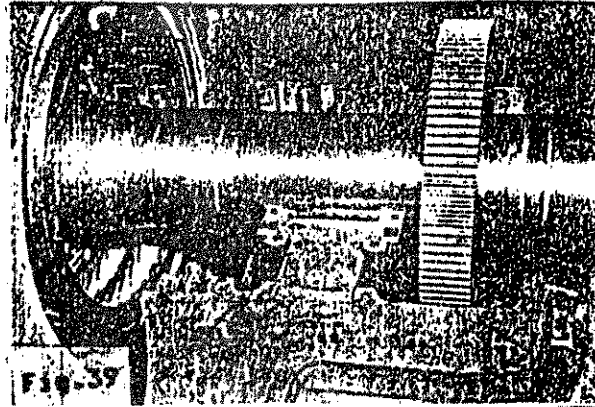
**Paso No.3** El rotor es halado por un diferencial por medio de cables ensamblados al acoplamiento deslizándose por medio del zapato, estando soportado el otro extremo por medio de la grúa. Figura 37.



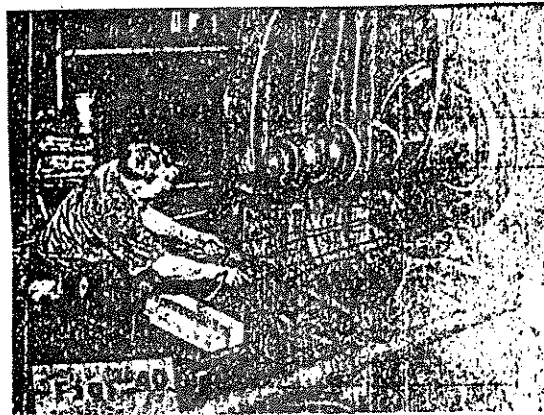
**Paso No.4** El rotor es soportado (lado colector ) por un aditamento especial para poder soltar la grúa y así poder trasladarla al otro extremo (lado turbina) y realizar un pequeño levantamiento en ese extremo para poder ensamblar la parte inferior de la chumacera. Figura 38.



**Paso No.5** .Ensamblado la parte inferior del cojinete, se puede dejar de soportar con la grúa para trasladarla al otro extremo (lado colector) Fig. 39



**Paso No.6** El rotor es soportado por la grúa y se levanta poco para poder sacar el zapato y ensamblar la parte inferior del cojinete en ese extremo. Fig. 40.



### 3.3.3 Carcaza de turbina (parte inferior) y caja del gobernador:

Cuando se ha montado el condensador se debe de acoplar la junta de expansión si llevara; luego procedemos a montar la carcasa realizando la respectiva nivelación y alineamiento de las platinas de la carcasa respecto a las del condensador y generador (capítulo 4). Luego procedemos a montar la caja del gobernado, alineando y nivelando las platinas respecto a las de la turbina.

### 3.3.4 Montaje de cojinetes, diafragmas y sellos de vapor (parte inferior)

El montaje de los diafragmas se realiza en conjunto con los cojinetes debido a que la nivelación y alineamiento se realiza al mismo tiempo incluyendo sellos de vapor; estas partes se montan y se realizan las mediciones mediante los métodos respectivos. Posteriormente a las mediciones se realizan las calibraciones, estas operaciones medición y calibración se realizan las veces que sean necesarias hasta obtener las medidas esperadas. Es importante hacer la observación de que cuando se realiza la medición de los diafragmas estos no deben de tener puestos los laberintos. Cuando un turbogenerador posee sólo tres cojinetes el alineamiento de estos se realiza turbina y generador simultáneamente. Cuando el sistema posee cuatro cojinetes, entonces se alinean independientemente los dos del generador y los dos de la turbina. El alineamiento final se realiza en el acoplamiento.

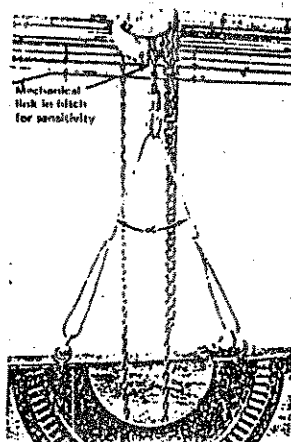


Fig. 41 Montaje de un diafragma a través de una grúa puente y un diferencial.

### 3.3.5 Montaje del rotor de la turbina:

Esta maniobra requiere mucha exactitud para no dañar ningún alabe del rotor o un diafragma en la carcaza de la turbina. Primero se debe balancear el rotor en el balancín hasta tener un rotor con cero inclinación, esto se logra colocando un diferencial en un extremo del balancín, figura 32. Es recomendable colocarle lámina de cobre al rotor en los extremos donde va a soportar el cable en el eje; debe verificarse que los soportes no queden en el área donde el eje se apoyará en el cojinete, pues de lo contrario no lo podremos apoyar.

Cuando se tiene en posición el rotor debemos entrar montarlo con mucho cuidado ya que los espacios entre diafragmas donde entran los alabes del rotor son relativamente pequeños. Esta maniobra se realiza como mínimo dos veces, pues deberá calibrarse la luz entre el rotor y los laberintos de los diafragmas, lo cual se verifica colocando hilos de plomo en los laberintos antes de montar el rotor y volver a sacar para conocer la luz existente, si es la esperada según los planos se procede a montar el rotor definitivamente.

### 3.3.6 Montaje de válvula principal y tanque de aceite:

Teniendo alineado y nivelado el sistema (gobernador, turbina, generador y excitatriz) se puede ubicar el tanque de aceite y luego la válvula principal de vapor, estas dos partes van interconectadas por medio de tubería de aceite que lleva señal a la válvula para que esta se mantenga abierta y también los drenajes de aceite que retornan al tanque; cuando se tiene ubicado y posesionado el tanque de aceite el cual no lleva mayor anclaje debido a que su propio peso lo mantiene fijo, se procede a realizar el montaje de sus componentes: bombas de corriente alterna y directa, turbobomba, enfriadores, filtros, tubería de agua de enfriamiento etc. Los accesorios empleados en el sistema de aceite son del tipo soldable provistos de un hombro o tope como se muestra en la figura 42.

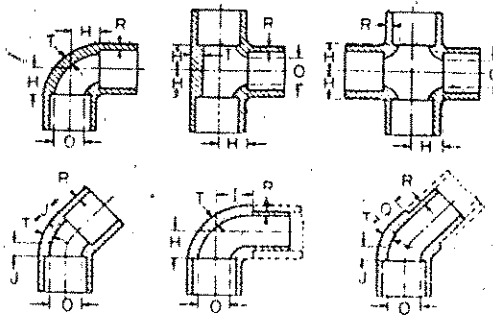


Fig. 42 Accesorios soldables provistos de un tope.

La válvula principal lleva una posición respecto a la turbina y al tanque, razón por la que se puede montar ahora que se tiene montado el tanque de aceite. Generalmente la válvula principal está soportada por suspensores elásticos o de resortes, debido a la dilatación que sufre la tubería consecuencia de las altas temperaturas del vapor. Figura 43.

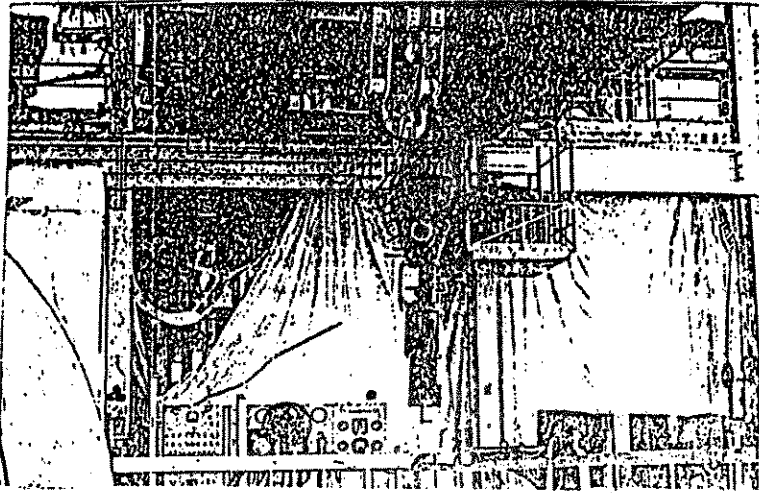


Fig. 43 Montaje de Válvula Principal de Vapor.

### 3.3.7 Acoplamiento de la turbina con el generador:

Cuando se tienen alineados radial y axialmente los acoplamientos de la turbina y del generador, se procede a colocar los tornillos, se aprietan en frío según elongación dada por el fabricante, una forma de medir esta elongación es por medio de dos bolas de balero y un micrómetro para exteriores. Figura 44.

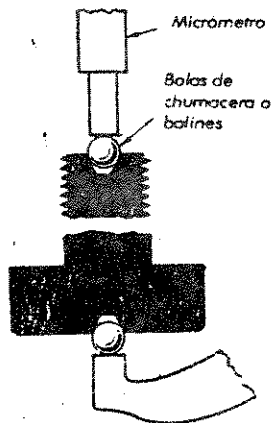


Fig. 44 Medición de elongación en tornillos



### 3.3.8 Montaje de carcasa parte superior:

Habiendo realizado las mediciones respectivas y ajustes del rotor en la turbina procedemos a cerrarla, aplicamos aceite de linaza en las superficies inferior y superior en la carcasa de la turbina. Es importante revisar la posición de los pernos pues algunos deberán colocarse antes de montar la carcasa ya que de lo contrario será muy dificultoso o no se podrán montar después. Deberá nivelarse la carcasa superior debido al poco espacio que hay entre los diafragmas figura 45.

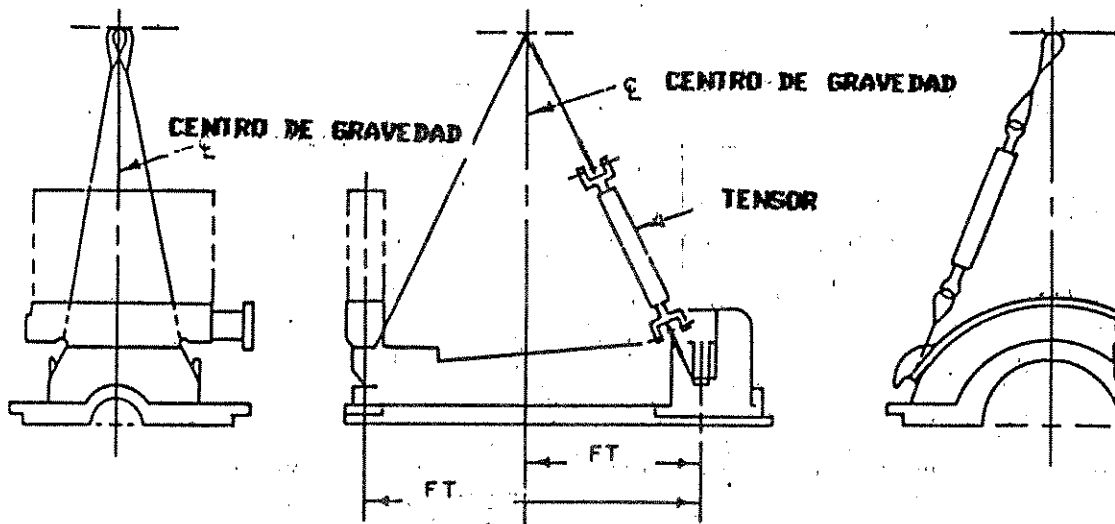
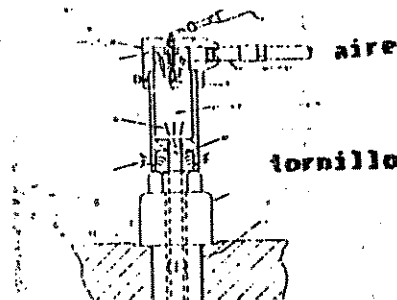


Fig. 45 Forma de sujetar la carcasa para su nivelación.

### 3.3.9 Montaje de tornillo

En el lado de baja presión los tornillos van roscados a la carcasa y no presentan ningún grado de dificultad mientras que en el lado de alta presión los tornillos son del tipo espárrago y requieren de determinado apriete con un calentamiento adecuado como se muestra en la figura 46, el apriete debe realizarse primero en frío y luego en caliente, ambos casos debe de apretarse en forma cruzada (X) según numeración mostrada en la figura 9. Se deben apretar los tornillos 1 y 26, 2 y 25, 3 y 24, . . . . . hasta llegar a 13 y 14.

Fig. 46 apriete de los tornillo de la carcasa de alta presión por medio de un calentamiento con un dispositivo y un multífama.





## 4. ALINEAMIENTO NIVELACIÓN Y CALIBRACIÓN

### 4.1 Instrumentos de medición

#### 4.1.1 Calibradores micrométricos

##### 4.1.1.1 Calibradores micrométricos , para exteriores

Se llaman calibradores micrómetros o simplemente micrómetros a aquellos calibradores que cuentan con un tornillo de construcción sumamente precisa y que constituye el elemento principal para efectuar las mediciones con precisión de centésimos de milímetros o de diez milésimas de pulgada.

La figura 48 muestra la construcción de un calibrador micrómetro de exteriores que aparece seccionado para permitir observar el interior. Las mediciones se efectúan entre el yunque y el extremo del husillo, el cual entra y sale del manguito cuando éste se hace girar, ya que su extremo superior lleva rosca. Se puede apreciar que para modificar la distancia o abertura entre el husillo y el yunque, basta hacer girar el manguito con los dedos. Se fabrican micrómetros de exteriores con yunques intercambiables de diferentes longitudes como el que muestra en la figura 49.

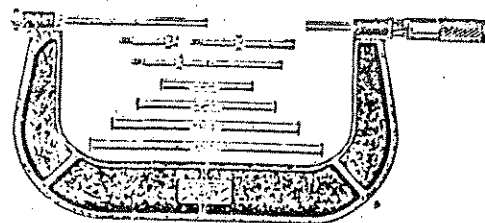
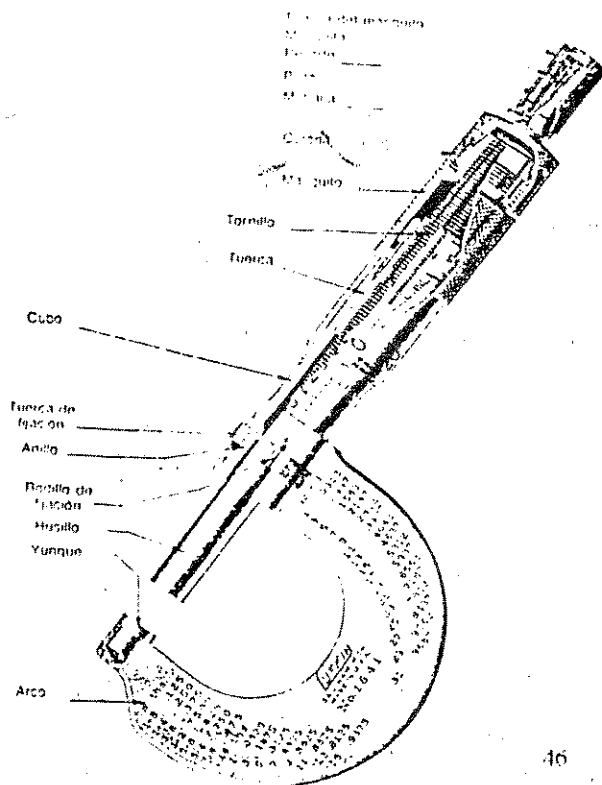


Figura 48  
Calibrador Micrómetro  
de yunques  
intercambiables

Fig. 49 Calibrador Micrómetro  
de exteriores.

#### 4.1.1.2 Calibradores micrométricos para interiores

La figura 50 ilustra el calibrador micrométrico para interiores, se observa que el yunque y el husillo están opuestos para poder aplicarlos a superficies interiores.

Por lo general cuentan con una serie de barras de extensión que aumenta su alcance. Cada barra lleva grabados números que indican las mediciones que pueden efectuarse en ellas. Existe otro tipo de calibrador para interiores que es el telescopio que sirve para transportar medidas en partes donde no podemos medir con el anteriormente descrito, este calibrador posee una forma de "T" con los extremos ajustados por un resorte, lo cual permite que se adapte a la medida tomada, se fija la medida y luego se mide con el micrómetro de exteriores. La figura 51 muestra este tipo de calibradores, y la forma de tomar la medida posteriormente con el calibrador de exteriores.

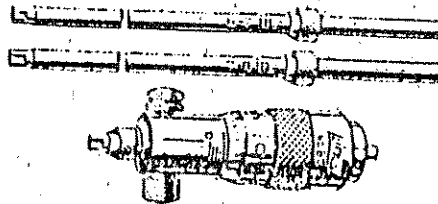


Fig. 50 Calibradores Micrométricos para interiores

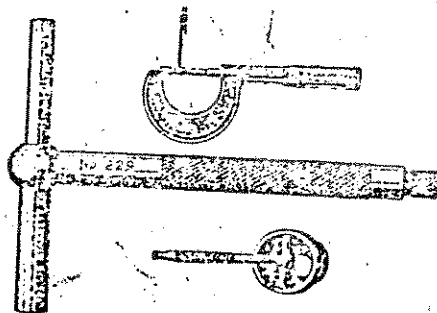


Fig. 51 Calibrador de Interiores tipo Telescopio

#### 4.1.1.3 Calibrador micrométrico de profundidad

Los calibradores de profundidad se emplean para medir la profundidad de agujeros, ranuras, rebajes, etc. (Fig. 52), su forma de empleo es sumamente sencilla. La cabeza se coloca sobre la superficie de la pieza en la cual se efectúa la medición y se afloja el tornillo de sujeción para permitir que el vástago baje hasta el fondo de la pieza.

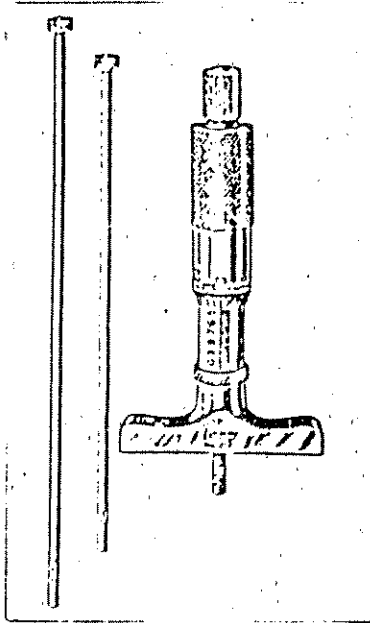


Fig. 52 Calibrador de Profundidad con dos vástagos de extensión.

#### 4.1.2 Indicador de Carátula

El indicador de carátula es un calibrador que se emplea extensamente en los trabajos de precisión entre sus aplicaciones se encuentran las siguientes: inspección de las dimensiones de piezas, comprobación del alineamiento de partes de maquinaria, medición del juego entre piezas móviles, medición de ajustes y desgastes. En términos generales puede decirse que sirve para la inspección de dimensiones y del acabado de piezas de precisión. El indicador permite apreciar con gran exactitud y dimensiones de centésimas de milímetro o milésimas de pulgada. Consiste esencialmente en una carátula graduada, sobre la cual se mueve una manecilla indicadora, a través de un mecanismo multiplicador, con arreglo tal que aún, el más pequeño movimiento del vástago se transmite grandemente aumentado a las manecillas y puede medirse fácilmente por la graduación de la carátula. Fig. 53.

Se muestran dos tipos de indicadores, el de vástago paralelo a la carátula y el de vástago perpendicular. Los indicadores que se usan con un soporte especial que permite colocarlos en posición adecuada a la forma y dimensiones de las piezas que se aplican, el soporte que se ilustra en la figura 54 es utilizado cuando las mediciones se hacen en una mesa de precisión o cuando la pieza por inspeccionar tiene una parte plana o pulida contra la que pueda colocarse. En algunos casos se recurre a la prensa especial de tornillo figura 55 que puede sujetarse casi a cualquier parte de la máquina.

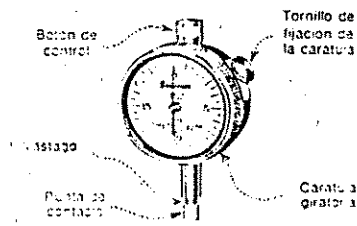


Fig. 53 (a) Indicador con vástago paralelo a la carátula

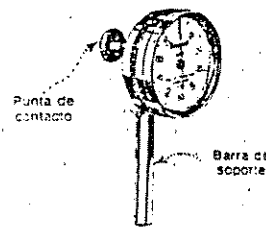


Fig. 53 (b) Indicador paralelo a la carátula con vástago perpendicular a la carátula

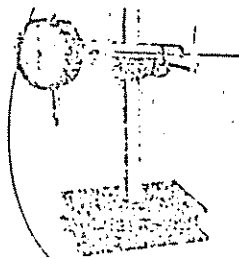


Fig. 54 Indicador con Soporte

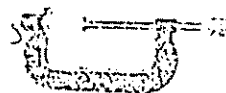


Fig. 55 Prensa de tornillo

#### 4.1.3 Calibradores de linternas

Los calibradores de linternas, se emplean extensamente para medir, comprobar y ajustar los juegos o espacios libres de diversas partes de maquinaria, estos calibradores consisten en varias hojas de acero templado, de diferentes espesores, los cuales se indican por medio de números grabados en cada hoja, el espesor de las hojas del calibrador se indica por lo regular en centésimas de milímetro o milésimas de pulgada según el sistema que se utilice. Figura 56.

Los calibradores de linternas son fijos, es decir solamente es posible medir distancias iguales al grueso de la hoja que se usa, sin embargo, es posible hacer combinaciones de dos o más hojas para conseguir determinado espesor, su forma de empleo es sumamente sencilla, para medir el juego entre dos piezas, basta probar varias hojas para encontrar la que pueda introducirse entre dos piezas sin quedar apretada ni floja. El número grabado en la hoja indicará el juego existente.

#### 4.1.4 Calibrador Vernier

Este calibrador sirve para tomar las dimensiones exteriores e interiores de piezas. Consiste en una escala fija a la mordaza móvil que permite hacer lecturas en milésimas de pulgadas. Figura 57.

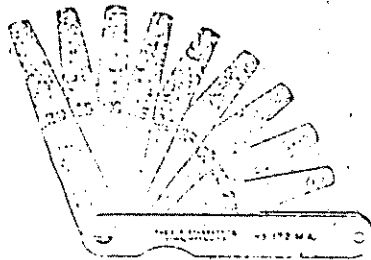


Fig. 56 Calibrador de hojas

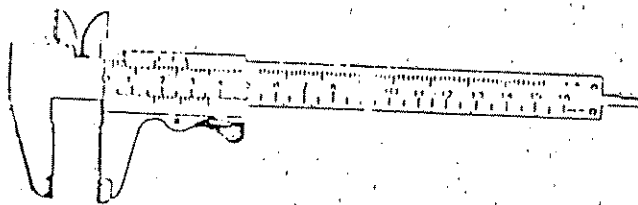


Fig. 57 Calibrador Vernier

## 4.2 Dispositivos

### 4.2.1 Dispositivos de alineación y nivelación

La figura 58 muestra un dispositivo muy útil para la medición y el alineamiento, por medio de un hilo, su fácil construcción en un taller de máquinas herramientas lo hace de fácil acceso. Consta de dos partes planas maquinadas, en cepillo o fresadora de manera que una se acople a la otra por medio de un pin, lo cual permite la movilidad entre las dos partes, en la parte móvil lleva un tornillo vertical de rosca fina, el cual nos permitirá variar el nivel del hilo. También sobre la misma parte móvil transversalmente llevará un tornillo de rosca fina, el cual lleva en un extremo una contratuerca y en el otro una pequeña polea en la cual girará el hilo de alineamiento; está fijada por dos contratuercas, el objeto del tornillo es para poder alinear en sentido transversal. Este dispositivo se emplea cuando se alinea con hilo de cuerda de piano.

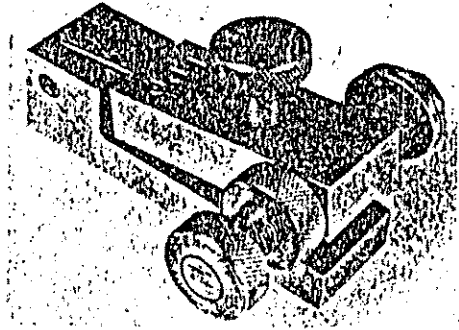


Fig. 58 Dispositivo de Alineación y Nivelación.



#### 4.2.2 Cuerda de piano

La cuerda de piano está constituida de un alambre de acero armónico de diámetro 0.016", el cual se junta en los extremos de la parte a alinear con dos alineadores, utilizándose en un extremo un peso de 30 Lbs. el cual tensiona la cuerda y de esta manera se simula la deflexión del rotor. Fig. 59.

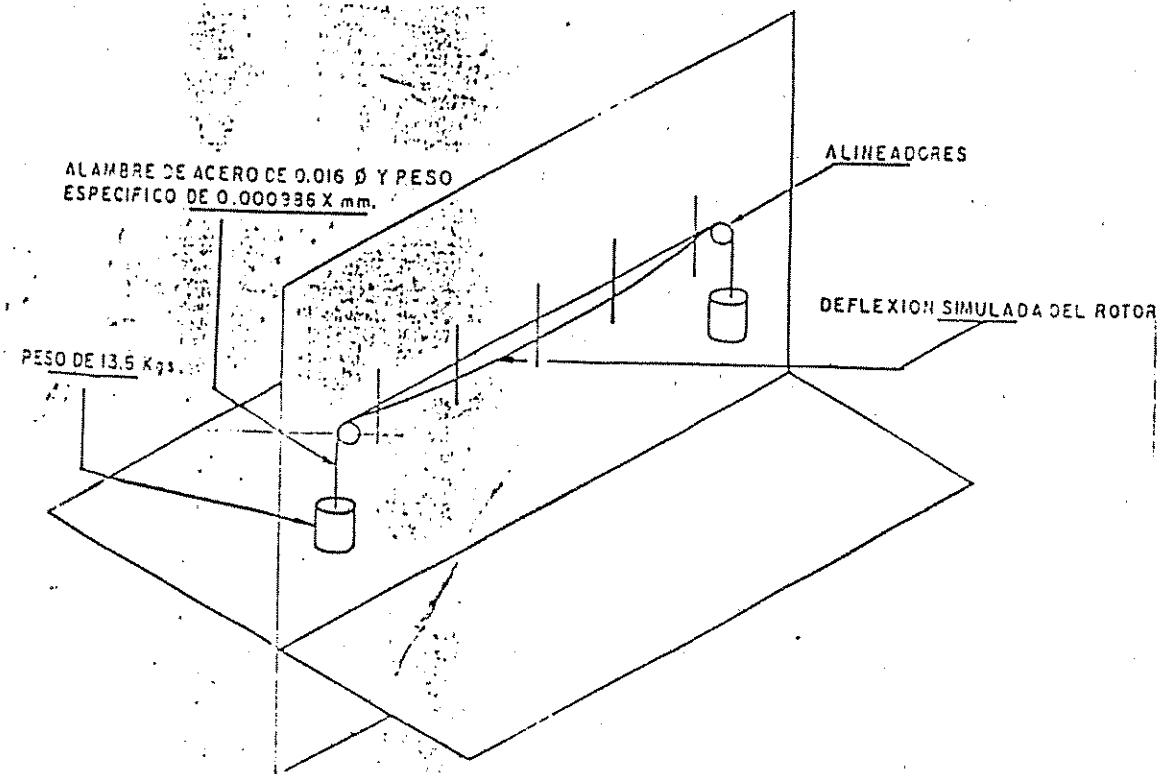


Fig. 59 Esquema de Medición con cuerda de Piano

#### 4.2.3 Árbol de alineamiento

Este dispositivo consiste en un tubo ó árbol de 8" a 10" y calibre de cédula 80. A dicho árbol se le colocan soldados dos anillos con los diámetros del rotor original de la turbina respectivamente en el punto donde van las chumaceras, y debe estar verificada su concentricidad, así mismo la del árbol en toda su longitud, un indicador adaptado con una abrazadera, nos ayuda a centrar las partes internas de la turbina. Fig. 60.

La limitante de este dispositivo es que para turbinas, en las cuales la longitud excede de 21 pies, que es la longitud general de tubería, ya no podemos emplearlo.

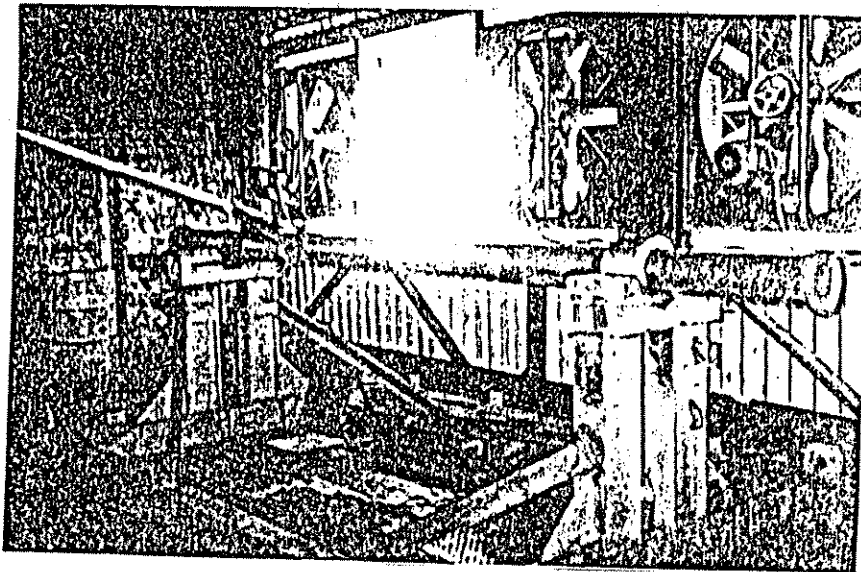


Fig. 60 Árbol de Alineamiento

#### 4.2.4 Dispositivos de nivelación de platinas.

Entre los dispositivos que existen para nivelar platinas, se encuentran dos que son los más comunes y de fácil construcción, estos dispositivos son el de tornillos y el de cuñas.

##### 4.2.4.1 Dispositivos de tornillos

Está compuesto de una pieza cilíndrica roscada en su interior donde llevará un tornillo que servirá de sostén a la platina y la levantará según se requiera, esta pieza lleva dos placas una inferior y otra superior, es esta última lleva un tornillo que evitará que la platina se mueva. Figura 61. Cada platina debe llevar tres dispositivos, dos en los extremos y una en el centro. Fig. 62.

##### 4.2.4.2 Dispositivos de cuñas

Está compuesto de dos cuñas una inferior y una superior formando un rectángulo. Fig. 63. Estas cuñas deben tener un buen acabado en la cara que hace contacto con la otra cuña para tener un buen deslizamiento, son necesarios tres juegos de cuñas para cada platina. Fig. 64.

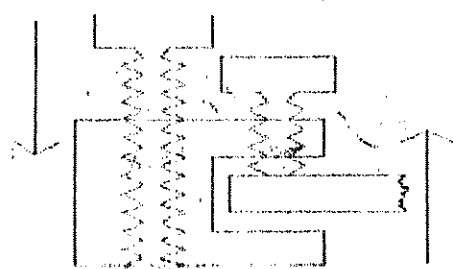


Fig. 61 de tornillo

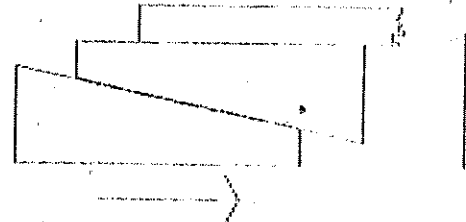


Fig. 63 Dispositivo de cuña

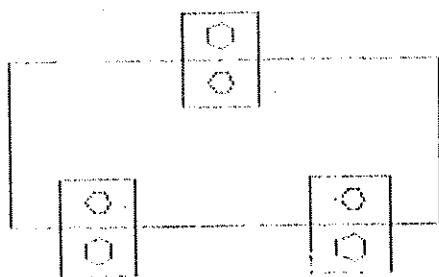


Fig. 62  
Platina con tornillos nivelación

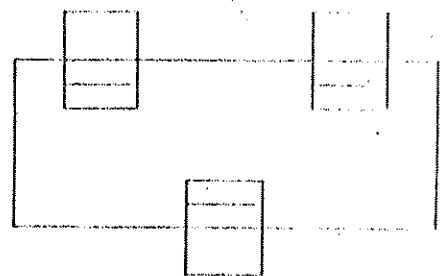


Fig. 64  
Platina con cuñas de nivelación

## 4.3 Métodos

### 4.3.1 Alineamiento y nivelación preliminar de platinas

#### a. Alineamiento

Para alinear las platinas de la máquina debemos fijar la línea de centro longitudinal de la estructura con dos alineadores y la cuerda de piano, figura 65. Habiendo comprobado la simetría de la línea de centro respecto a los lados de la estructura, procedemos a colocar las platinas las cuales deber ser sostenidas por dispositivos de nivelación (ver sección 4.2.4). Con las medidas que indique el plano de alineamiento se alinearan comprobando la simetría de las platinas con respecto a la línea de centro y verificando que los agujeros de platinas coincidan con los de la fundación donde se sujetarán los pernos de anclaje (figura 66) Es importante además de las mediciones en diagonal entre platinas de una parte y luego entre platinas de todo el sistema. Lo cual nos ayudará a verificar que efectivamente tenemos un cuadrado o rectángulo y no un rombo. Figura 67.

Cuando se tiene alineada esta parte del equipo se inicia el alineamiento de las platinas del condensador cuya línea de centro longitudinal debe ser perpendicular a la línea de centro del turbogenerador en la posición o distancia que el plano lo indique generalmente es al centro del escape de la turbina, esta línea se representa por la cuerda de piano y dos plomadas hacia abajo donde se montarán las platinas del condensador; los dos puntos de las plomadas nos servirán para colocar la línea de centro longitudinal del condensador de esta forma ya podemos hacer las mediciones y comprobar la simetría de las platinas del condensador fig. 68.

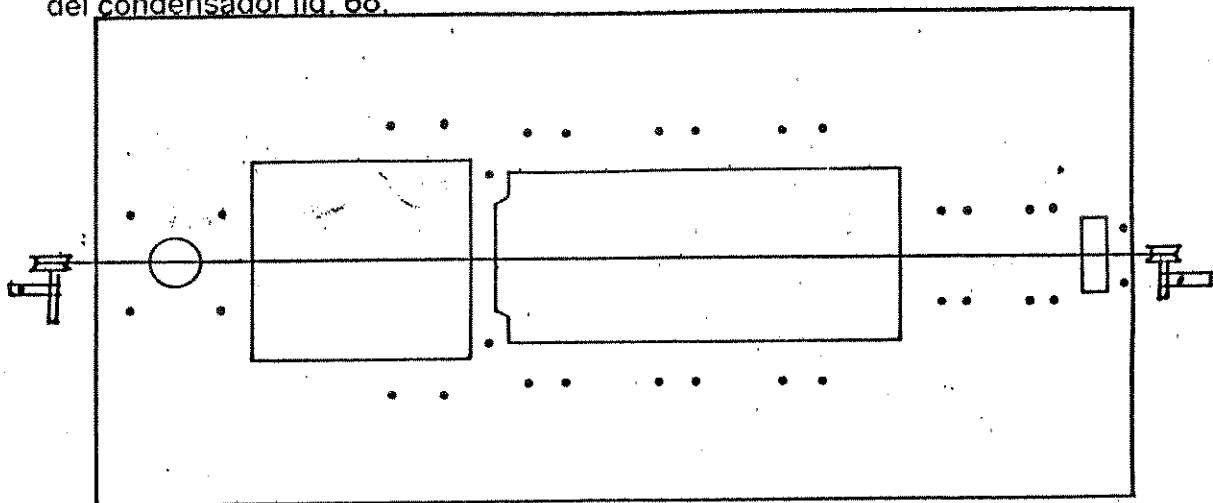


Fig. 65 Alineamiento preliminar mediante cuerda de piano.

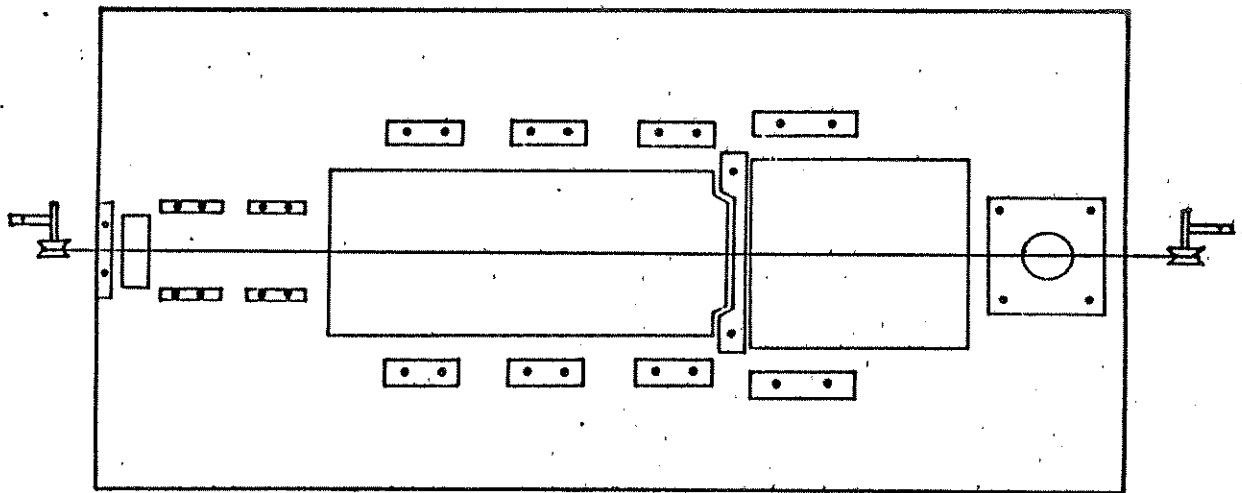


Fig. 66 Alineamiento con platinas colocadas

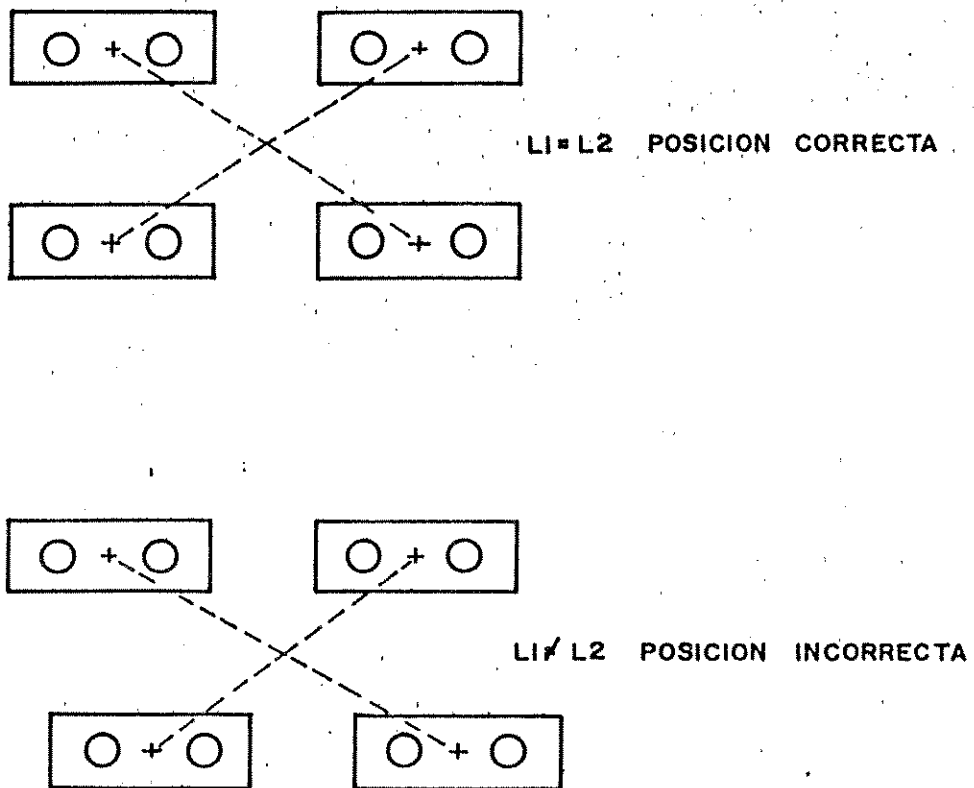


Fig. 67 Comprobación de paralelismo entre platinas

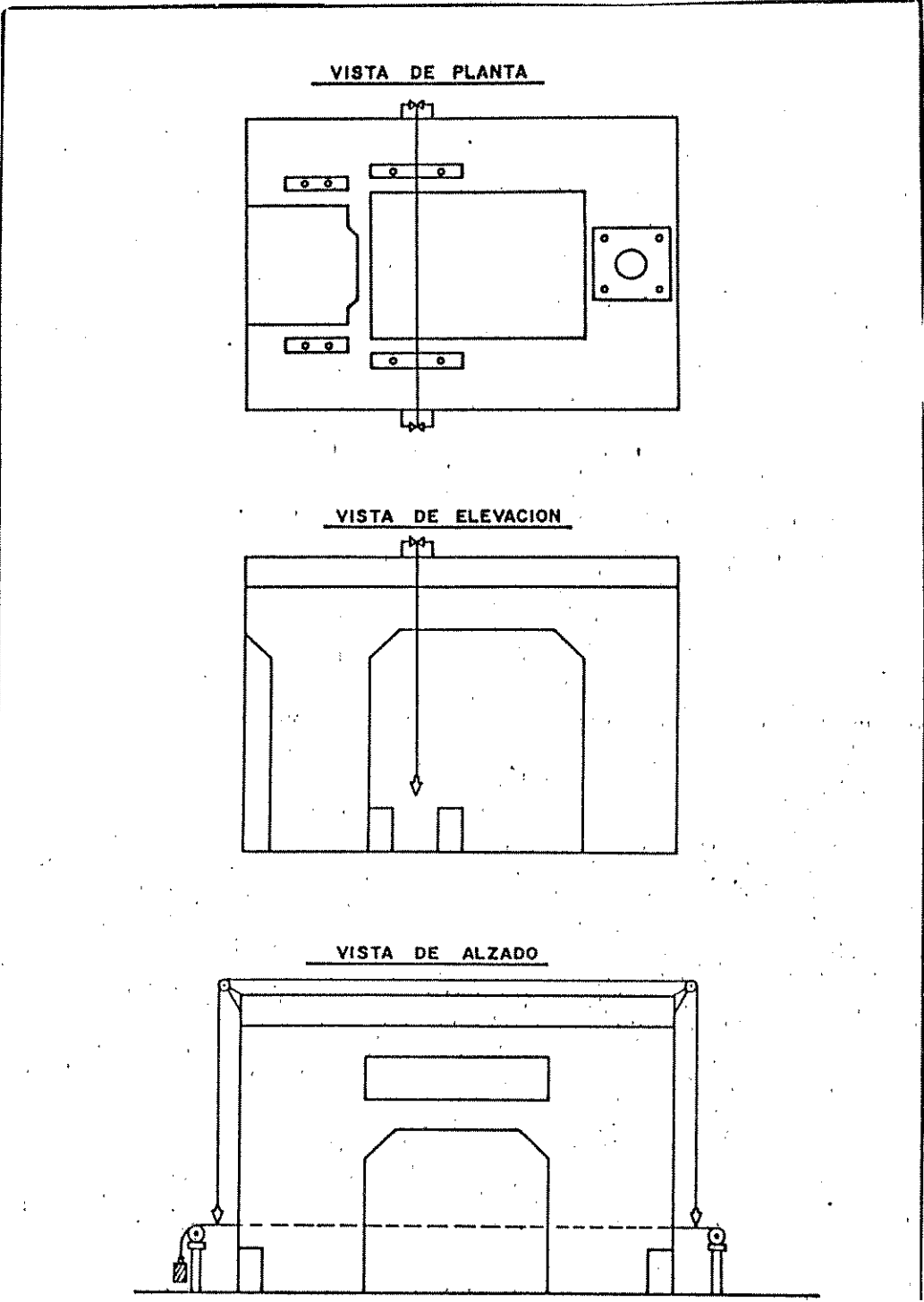


Fig. 68 Alineamiento de platinas en el condensador.

b. Nivelación

Cuando se ha realizado el alineamiento de platinas procedemos a nivelar mediante el dispositivo de cuñas, el de tornillos o con algún otro dispositivo.

Generalmente la fundación se deja 2 ó 3 pulgadas abajo del nivel requerido para poder levantar las platinas, sentarlas parcialmente sobre bloques de concreto fundidos abajo de las platinas.

Las platinas levantadas entre 2" y 3" dependiendo del nivel indicado en el plano; se nivelan individualmente con un nivel de precisión longitudinal y transversalmente (Fig. 69). Cuando todas las platinas están niveladas pasamos a nivelar al conjunto para lo cual empleamos un nivel óptico y una regla con escala en milésimas de pulgada; es importante que este nivel se encuentre en un punto donde pueda visualizar a todas las platinas y que esté libre de vibraciones porque esto nos daría medidas erróneas. Definimos la medida de elevación de una platina de la turbina por ejemplo, y con respecto a ella nivelamos las restantes de la turbina, luego nos pasamos a las de las otras partes: Generador, Caja del Gobernador, Excitatriz.

Generalmente el nivel que se toma como base es el de las platinas de la turbina ya que esta parte va acoplada de un lado al generador, del otro a la caja del gobernador y por debajo va acoplada al condensador. Por lo tanto las platinas de estas tres partes es aconsejable que se dejen 1/16" abajo del nivel requerido y luego se ajustan con láminas calibradas. (Fig. 70)..

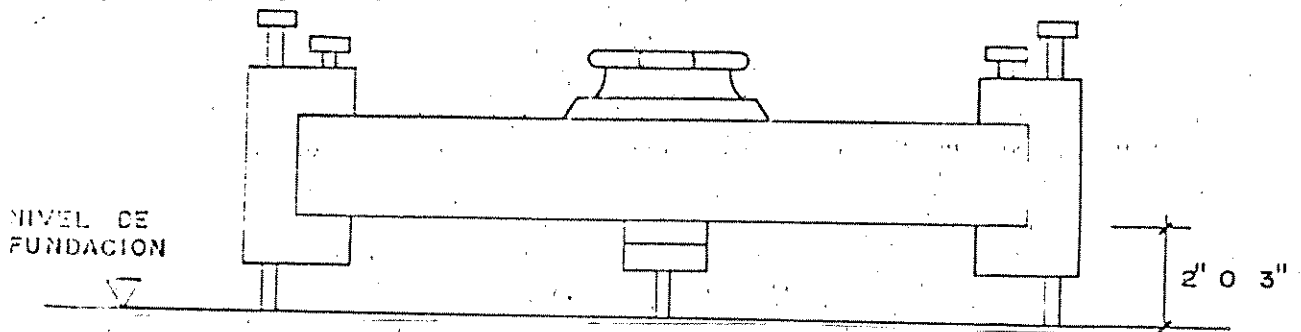


Fig. 69 Nivelación de platinas

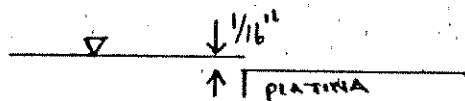


Fig. 70 Posición de platinas

#### 4.3.2 Alineamiento y nivelación final de platinas

Cuando se ha realizado el alineamiento y nivelación preliminar, se realiza la fundición de los bloques de concreto que sostendrán a las platinas (ver sección 3.1.3) después del tiempo de fraguado que son 4 ó 5 días levantaremos las platinas para comprobar que la superficie de los bloques este libre de asperezas y si fuera necesario se les da un acabado fino con piedras de asentar. De nuevo colocamos las platinas esta vez sin niveladores, verificamos el nivel de cada platina y luego en junto para realizar los ajustes necesarios siempre manteniendo el nivel 1/16 abajo del nivel indicado en el plano; verificado el nivel alineamos las platinas como se hizo en el prealineamiento a diferencia de que esta vez será más fácil las platinas se deslizarán sobre los bloques (Fig. 71.).

Respecto a las platinas del condensador se realiza el método descrito anteriormente tomando en cuenta que el nivel de ellas depende del nivel de la turbina por lo que se debe ser muy preciso con la medida que indique el plano entre las platinas del condensador y de la turbina. Por esta razón generalmente las platinas del condensador tienen otra platina soportada por tornillos lo cual nos permite ajustar el condensador (Fig. 72).

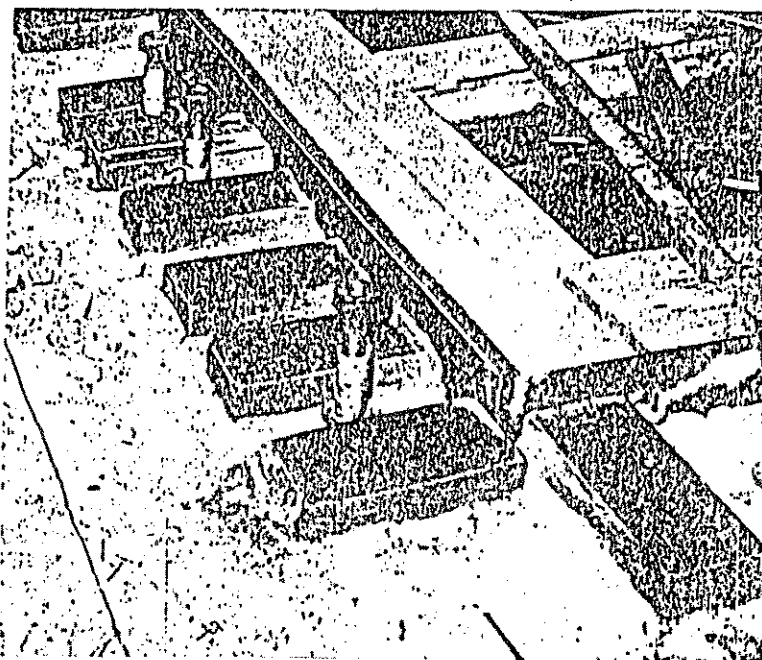


Fig. 71 La figura muestra los bloques de fundición de concreto que soportarán a las platinas para el alineamiento final



Cuando se han montado los componentes, la parte de la máquina donde van montados los cojinetes, deben de coincidir con las líneas trazadas, las cuales se colocan con dispositivos alineadores y cuerda de piano.

Lógicamente al montar cada parte sobre sus platinas las guías de las platinas nos indican la posición correcta y posteriormente el alineamiento con las líneas transversales del centro de cojinetes nos verifican; con exactitud, la posición longitudinal de todo el conjunto.

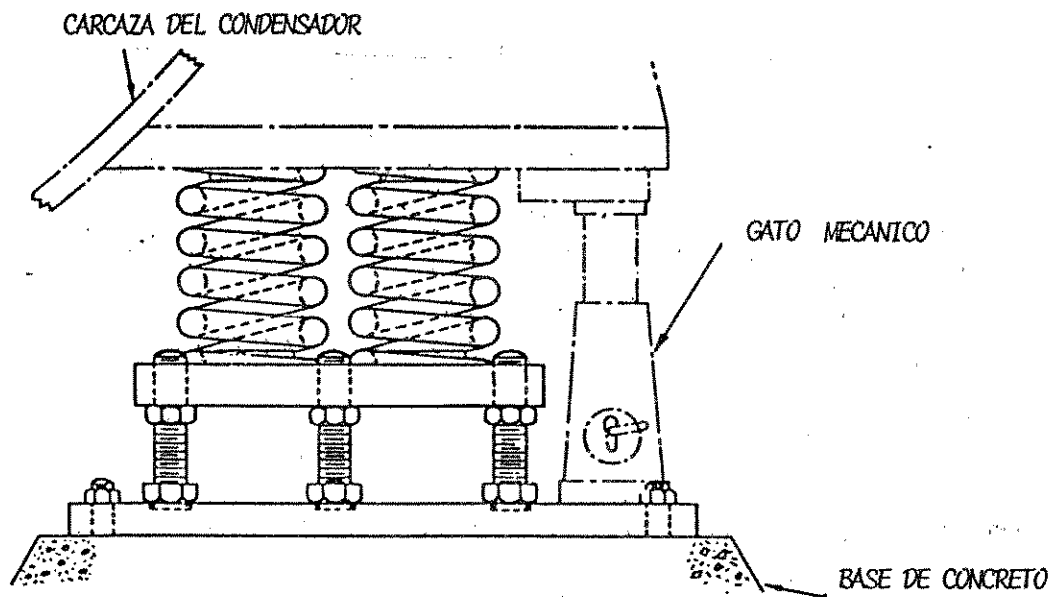


Fig. 72 Platinas del condensador, graduación mediante pernos y resortes

REPUBLICA DE COLOMBIA  
CORPORACION NACIONAL DE ELECTRICIDAD Y ENERGIA  
INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

Después de haber colocado las platinas debidamente alineadas y niveladas según medidas del plano procedemos a indicar la posición que llevará los cojinetes de la Turbina, Generador y Excitatriz.

Con el plano y chequeando contra las platinas, ubicamos la línea de centro transversal de cada cojinete lo cuál nos definirá la posición final longitudinal de las partes de la máquina. Para mantener la referencia mientras se montan las partes y luego los cojinetes se colocan placas de referencia a los lados de la línea de centro sin interferir y se marcan con el punto donde pase la línea transversal de cada cojinete. (Fig. 73).

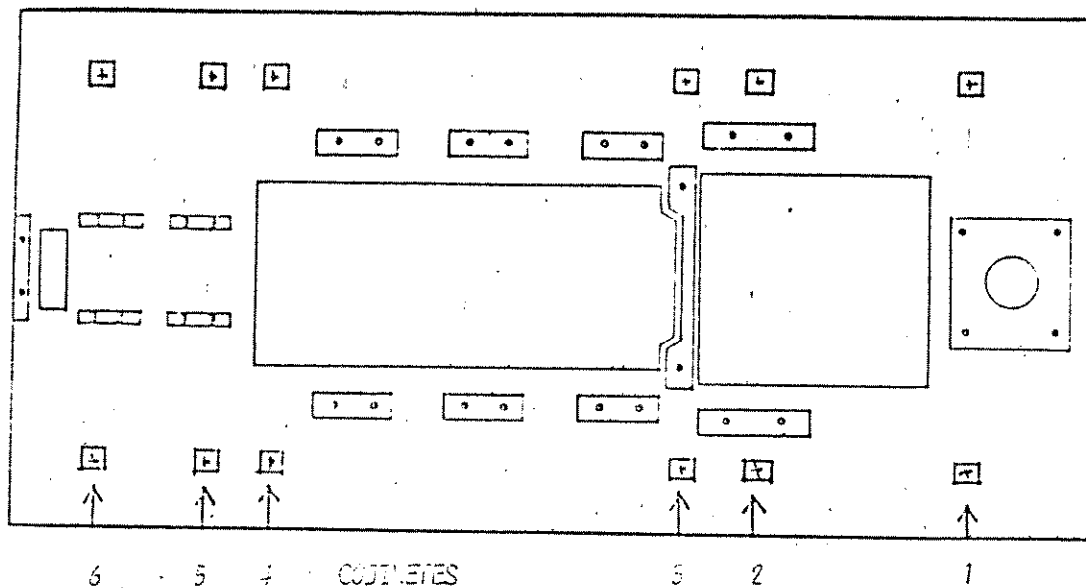


Fig. 73 En la figura se identifican las marcas donde se colocará el hilo transversalmente en el lugar donde van los cojinetes

#### 4.3.3 Alineamiento transversal de turbina respecto a la caja del gobernador

La turbina posee una guía cuadrada que entra a un vacío de la caja del gobernador. (Fig. 74) la luz entre estas partes es llenada por una cuña en forma de L que no permiten el desplazamiento lateral de la turbina. Entre las cuñas y el espacio que ocupan debe existir un claro de 3 ó 4 milésimas de pulgada para que entren de una forma suave y no causen desalineamiento de las partes (Fig. 75). La turbina y el gobernador se han alineado previamente respecto a la línea de centro.

#### 4.3.4 Nivelación de turbina

La turbina estando montada sobre las platinas y a su nivel según plano, lleva una segunda nivelación, la cual se realiza por medio de dos cuñas apoyadas en la caja del gobernador y sobre las cuales descansan los dos brazos de la Turbina (Fig. 76).

Se nivela la turbina con un nivel de precisión, estando a nivel también la caja del gobernador, el nivel correcto de la turbina denirará el grosor de las cuñas si se debe aumentar o puede hacerse por medio de láminas calibradas o si se necesita disminuir, se maquinan las cuñas.

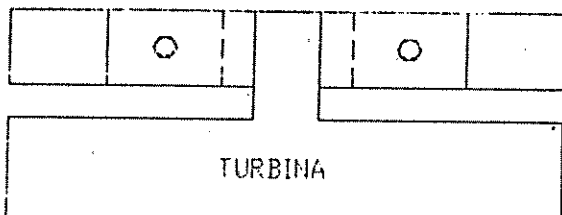


Fig. 74  
Guía de alineamiento

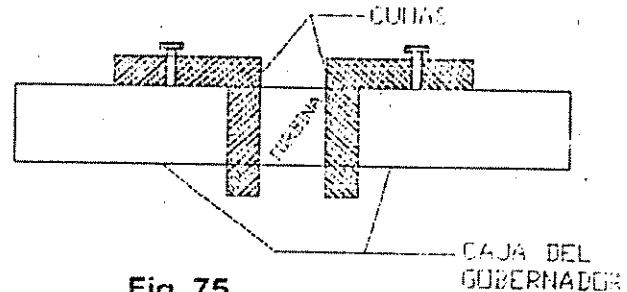


Fig. 75  
Cuñas de alineamiento de turbina.

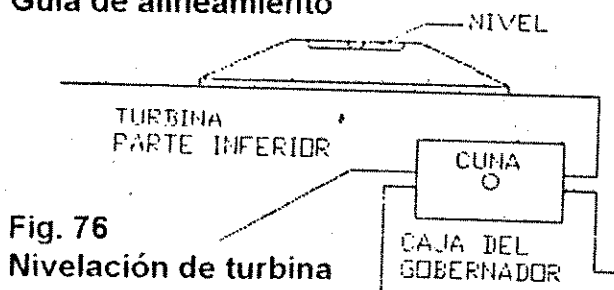


Fig. 76  
Nivelación de turbina

#### 4.3.5 Alineamiento y nivelación de cojinetes y diafragmas de turbinas

El alineamiento y nivelación de los cojinetes se realiza tomando en cuenta la relación con respecto a la línea de centro.

En los puntos de apoyo (cojinetes) la deformación es aproximadamente cero, por lo que, la medida de los lados debe coincidir con la medida inferior, Fig. 77, luego verificamos la alineación y nivel de los cojinetes con respecto a las partes fijas de la turbina, como cajas y sellos de alta presión (sin estar puestos los sellos).

Cuando tenemos una alineación de cojinete, con respecto a la línea de centro y a las partes fijas, entonces podemos empezar a alinear los diafragmas, para lo cual existen algunos métodos que en nuestro medio los mas accesibles son:

- a) Método de la cuerda de piano
- b) Método del árbol

Con uno de estos métodos alineamos y nivelamos tanto cojinetes como diafragmas, a continuación se describe cada uno de estos métodos.

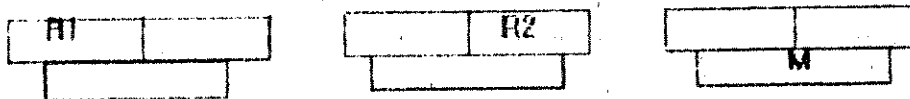


Fig. 77 La figura muestra las tres medidas a tomar y que deben coincidir cuando se mide un punto de apoyo.

a) Método de la cuerda de piano

La cuerda de piano se soporta en los extremos con dos dispositivos de alineamiento, utilizándose en un extremo un peso de 13.6 Kg., lo cual tensiona la cuerda y de esta fórmula se simula la deflexión del rotor. Cuando tomamos la medida de la posición de los diafragmas, por medio de la cuerda de piano medimos la resistencia que existe entre cada extremo del diafragma izquierdo y derecho, con respecto a la línea de centro (cuerda de piano), Fig. 78. Tomamos la medida de la parte inferior del diafragma al centro, pero esta no es la medida real debido a la deflexión del hilo, para corregir esta medida se le debe sumar la deflexión de la cuerda y entonces tendremos la medida real. Estas medidas se toman con micrómetro de interiores. Para determinar la posición del diafragma, tenemos la relación.

$$M + D = \frac{R1 + R2}{2}$$

donde:

M= Medida tomada

D= Deflexión de la cuerda de Piano

R1 x R2 = Medidas tomadas en cada uno de los extremos.

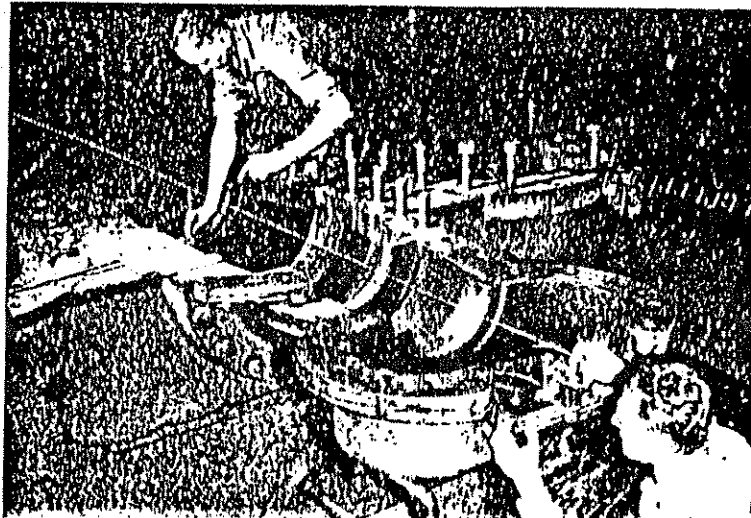
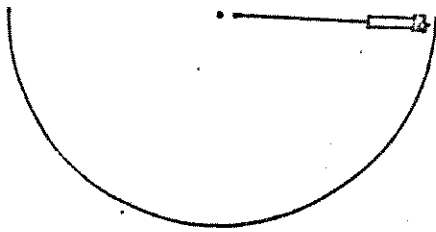


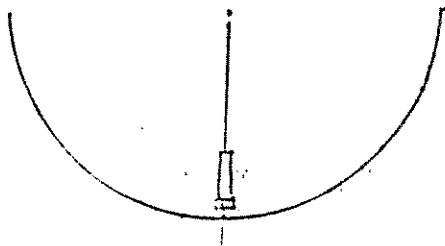
Fig. 78 La figura muestra la forma de medir el alineamiento y nivelación con cuerda de piano

Las figuras indican las tres posiciones para medir del micrómetro de interiores y la forma de llenar el formato.



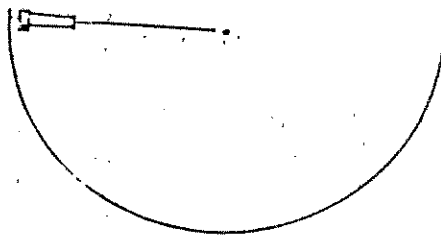
A) Medida derecha (alineamiento)

	R



B) Medida inferior (nivelación)

	R
M	



C) Medida izquierda (alineamiento)

R2	R1
M	

Conforme se va tomando las medidas se va llenando un formato; observamos que en la primera columna se debe anotar la deflexión correspondiente a cada punto a medir, en la segunda columna se colocan los valores R1 y R2. Correspondientes a las medidas laterales también la medida inferior M.

R1	R2
M	

En las siguientes columnas aparecen casillas similares a las descrita anteriormente y en ellas se anotan los valores R1 y R2 y la medida inferior sumada a su correspondiente deflexión.

R1	R2
M + D	

Tenemos una cuarta columna donde anotamos los valores esperados calculados en base a la columna anterior.

$\frac{R1 + R2}{2}$	$\frac{R1 + R2}{2}$
$\frac{(R1 + R2 + N) - (M + D)}{2}$	

Si  $\frac{R1 + R2}{2} + N - (M + D) = 0$  Tenemos medidas buenas

Si  $\frac{R1 + R2}{2} + N - (M + D) > 0$  Debemos bajar la pieza

Si  $\frac{R1 + R2}{2} + N - (M + D) < 0$  Debemos subir la pieza

Donde N es dato de fabricante.

Como un ejemplo de lo explicado anteriormente tenemos:

REFLEXIÓN	MEDIDAS		POSICIÓN REAL	POSICIÓN FINAL
	TOMADAS Der.	lza.		
0.005	0.025	0.005	0.025   0.005	0.015   0.015
	0.009		0.014	0.004

Observamos que debemos desplazar la pieza medida 0.010" hacia la derecha, donde tendremos un valor de 0.010" + 0.005" = 0.015", que es el valor requerido como se observa en la siguiente relación:

$$\frac{0.005 + 0.025}{2} = 0.015$$

Suponiendo que el fabricante indicara un valor de 0.006" abajo de la pieza, entonces tenemos 0.015 + 0.005 = 0.021 y 0.021 - 0.014 = 0.007 ó sea que debemos bajar la pieza 0.007", para tener una posición final de 0.0021.

Esta operación se realiza para cada parte interna de la turbina, primero con las partes fijas para definir la línea de centro que será representada por la cuerda de piano y luego las partes móviles.

### Movimiento en el árbol Cálculo de la deflexión

Para calcular la deflexión de la cuerda de piano referida a la recta alineada y nivelada en sus puntos de apoyo se utiliza la siguiente fórmula:

$$D = \frac{WX}{2P} (2L - X)$$

donde:



W= Peso del alambre en Lbs./pulg. (0.0551)

P= Peso aplicado en un extremo (30 Lbs.)

L= Largo de media sección en pulgadas

X= Distancia en pulgadas en el extremo más cercano a la sección.

Por sección se entiende la longitud de centro a centro de las poleas de los dispositivos de alineamiento, es decir los dispositivos de alineamiento se colocarán entre los pedestales de las chumaceras 1 y 2 para calcular la deflexión del rotor por consiguiente la posición de las partes internas. El punto a verificar será siempre desde el centro de la polea, hasta la parte interna correspondiente, las medidas se toman de la cuerda de piano a cualquiera de los dos extremos laterales y al lado inferior de la parte a medir, con un micrómetro de interiores.

#### b) Método del árbol de alineamiento

Este método es más práctico y rápido que el método con la cuerda de piano. Para realizar las mediciones con este dispositivo se coloca apoyado en los cojinetes a diferencia de la medición, con la cuerda de piano la cual se realiza sin cojinetes. Al árbol se le coloca una abrazadera que sostiene un indicador de carátula, Fig. 81 conforme se va midiendo la abrazadera se va posesionando en cada una de las partes a medir: sellos, empaques, etc. Al igual que el método de la cuerda de piano se debe llenar un formato similar con las medidas tomadas con el indicador de carátula, siendo muy importante el signo "+" o "-", ya que "+" significa comprimido y "-" tensionado, por ejemplo: Inicialmente en uno de los lados que siempre debe ser el mismo, el indicador inicia su recorrido con la marca en cero y el otro extremo y abajo la medida respectiva. La medida final la tendremos cuando ambos extremos marque cero y abajo la medida que indique el fabricante generalmente está abajo del centro.

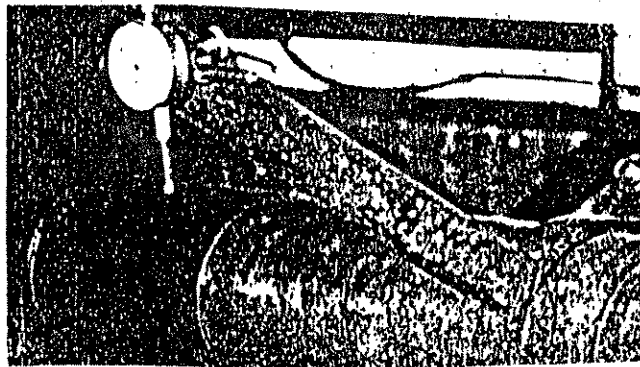
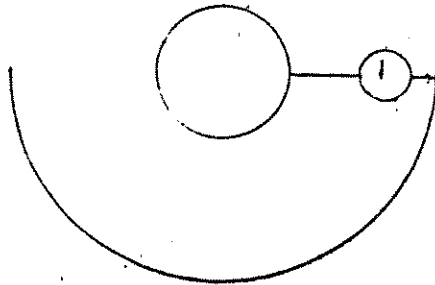
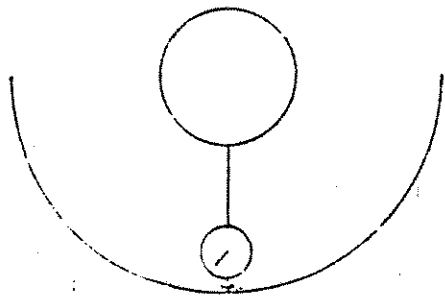
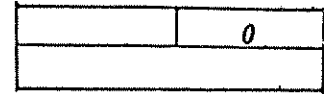


Fig. 81 La figura muestra la forma en que se coloca el indicador de carátula en el árbol de alineamiento.

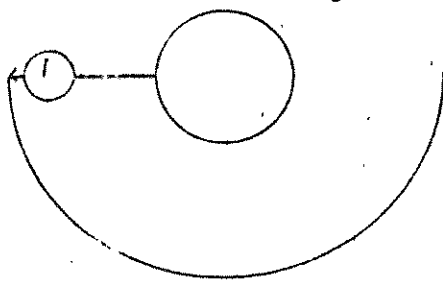
Las figuras indican las tres posiciones del indicador de carátula y la forma de llenar el formato



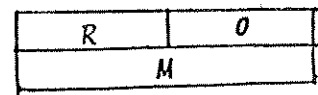
A) Medida derecha (alineamiento)



B) Medida inferior (Nivelación)



C) Medida izquierda (Alineamiento)



PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANGELES  
Sik...  
...

**Ejemplo:**

+ 0.010	0
- 0.04	

Esta medida indica que demos desplazar la pieza hacia la izquierda  $0.010/2=0.005$  para que la lectura sea:

0	0
-0.004	

La medida de abajo la proporciona el fabricante por ejemplo, si esta medida fuera -0.006, entonces debemos bajar la pieza 0.002 para que la nueva lectura sea:

0	0
- 0.006	

Con estas medidas tenemos la certeza de que la pieza está centrada y el nivel que requiere el fabricante en base a diseño y condiciones de trabajo de la máquina.

**Movimiento en el árbol**

#### 4.3.6 Calibración de cojinetes

Cuando se realizan las primeras mediciones de alineamiento y nivelación de cojinetes, es necesario calibrarlos según lo pida la línea de centro, para realizar estas variaciones: subir o bajar, según el nivel o bien desplazarse a un lado, los cojinetes poseen soportes con láminas calibradas donde la combinación de estas nos da la medida o nivel que deseamos. Fig. 84.

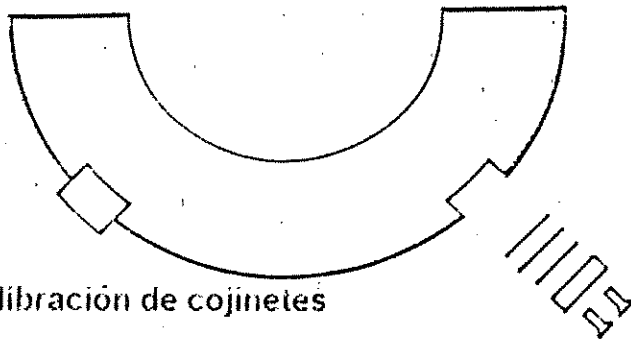


Fig. 84 Calibración de cojinetes

#### 4.3.7 Calibración de diafragmas

Los diafragmas poseen soportes ajustables en cada uno de sus dos extremos laterales, para poder así nivelarlos individualmente; si necesitamos levantarlos se calza con soldadura y luego se maquina a la medida requerida por el contrario si necesitamos bajar el nivel únicamente se máquina. Fig. 85.

Algunos soportes también poseen láminas calibradas lateralmente con lo cual, podemos variar el nivel más fácilmente, con lo que respecta al alineamiento transversal, los diafragmas en su parte inferior poseen una cavidad que ajusta una guía fija en la turbina. Por lo que se realiza la operación de soldadura y maquinado para ajustarlo lateralmente.

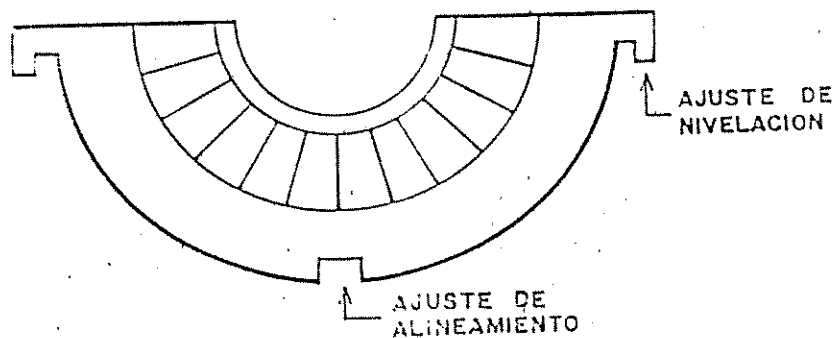


Fig. 85 Calibración de diafragmas.

#### 4.3.8 Alineamiento y calibración de deflectores de aceite

Antes y después de cada sello de hidrógeno hay un deflector de aceite, los cuales no permiten que el aceite de sello se fugue, los dos deflectores internos se deben de alinear y nivelar antes de los sellos de hidrógeno. Antes de montarse se deben de unir la parte inferior y superior del deflector y se mide su diámetro interior y comparado con el diámetro del eje generalmente la diferencia de diámetro debe ser aproximadamente 15 milésimas de pulgada, esta medida será compartida lateralmente mientras de 2/3 de luz deberán quedar en la parte superior y un 1/3 en la parte inferior. Fig. 86.

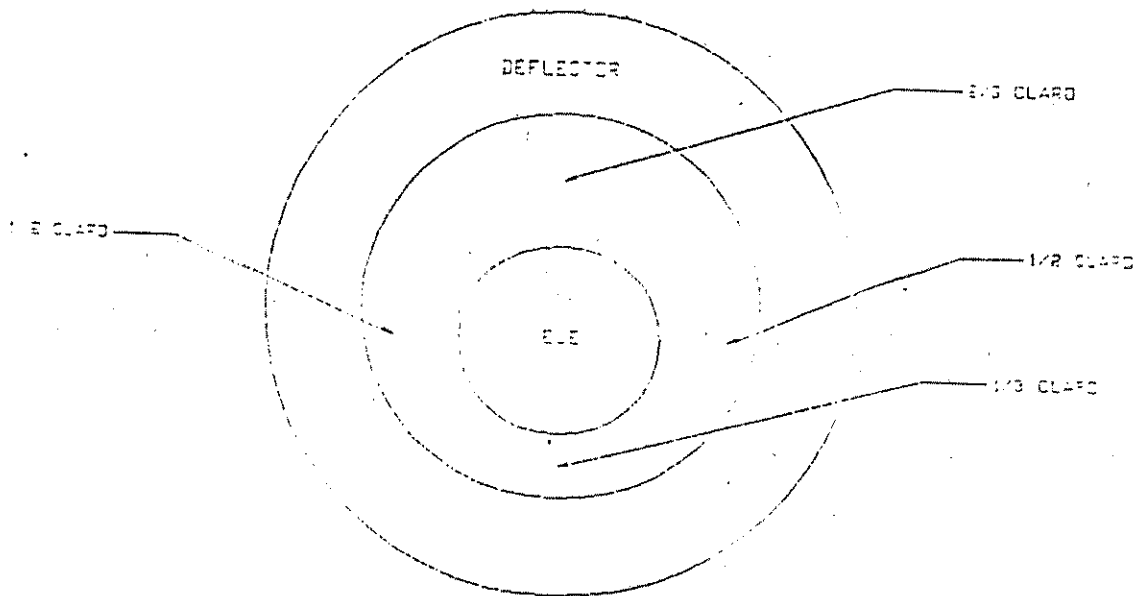


Fig. 86 Posición del deflector respecto al eje del generador.

#### 4.3.9 Alineamiento y nivelación de los sellos de hidrógeno

Cuando se han alineado los cojinetes del generador y teniendo el rotor en su posición podemos montar la caja de sellos en la parte inferior con los pernos puestos pero sin apretar lo cual nos permite alinear y nivelar, esto se hace tomando la medida con un calibrador de hojas en los dos lados izquierdo y derecho. Fig. 87.

Los sellos se encuentran alineados adentro de la caja tensados por un resorte. Antes de colocar la caja de sellos, ésta se debe armar en sus dos partes inferior y superior para medir con un micrómetro de interiores y comparar con la medida del diámetro del eje la diferencia de diámetro de los sellos respecto al eje, aunque esto nos lo proporcionan los manuales o planos del fabricante, pero para tener una idea generalmente los sellos internos tienen 4 ó 5 milésimas más en el diámetro interior que en el diámetro exterior del eje, mientras de 10 ó 12 milésimas, esta medida se debe verificar cuando la caja de sellos está montada y apretada con todos sus pernos.

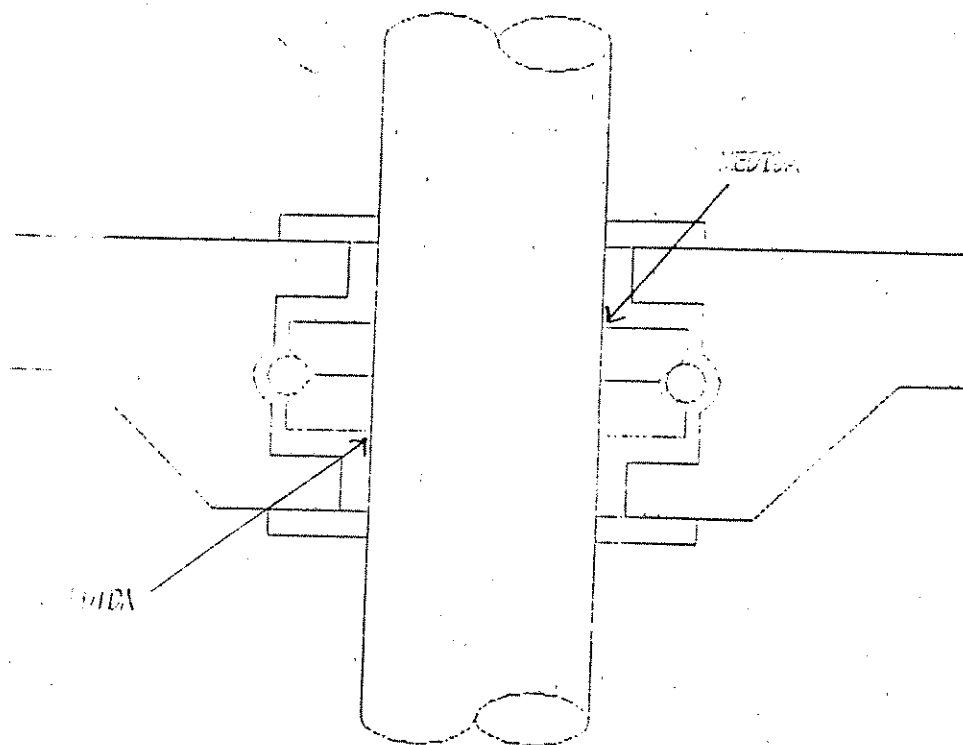


Fig. 87 Puntos a calibrar en el eje respecto a los sellos de hidrógeno.

## 5. INSTRUMENTACIÓN

### 5.1 Panel de control

El panel de control es importante para tener una operación segura y eficiente en una planta termoeléctrica. Generalmente en el panel de control de una turbina se encuentran los manómetros de presión, vacuómetros, indicadores de temperatura registradores los interruptores de las bombas del sistema con sus respectivos amperímetros. También forman parte del panel las alarmas a base de luces y bocinas. Fig. 88.

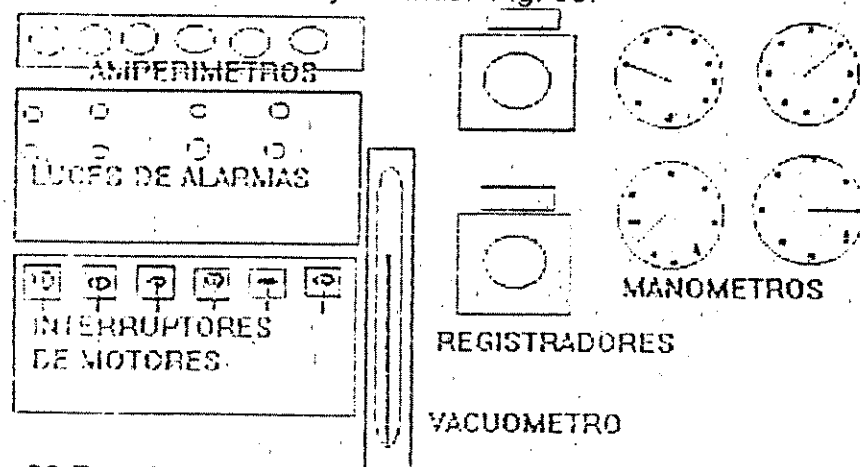


Fig. 88 Panel de Control de una Turbina

#### 5.1.1 Instalaciones

Los accesorios para tubo deben de reunir máxima confiabilidad y facilidad de instalación, sin fugas en las condiciones más severas de servicio. Existen varios tipos de accesorios, cada uno con características propias para poder elegir el mas adecuado según la aplicación.

##### Uniones de compresión:

Los tubos especiales se utilizan generalmente para instrumentos por lo que se requieren accesorios y conexiones que empleen el mínimo tiempo y esfuerzo para su instalación. La unión metálica de compresión es la más fácil de usar y posee múltiples aplicaciones, además no se requiere preparación especial en el extremo del tubo sólo se necesita un cortatubos figura 89. Adicionalmente una sierra de arco y una llave de tuerca.

Se introduce el tubo en la unión y se aprieta la tuerca, en la mayoría de los casos sólo se necesita  $1 \frac{1}{2}$  vueltas a la tuerca para tener el sellado correcto.

Entre los diversos tipos disponibles los sistemas de dos casquillos producen un sello más confiable y eficaz figura 90 en estos sistemas el casquillo delantero produce el sellado y el casquillo trasero sujeta el tubo evitando su expulsión.

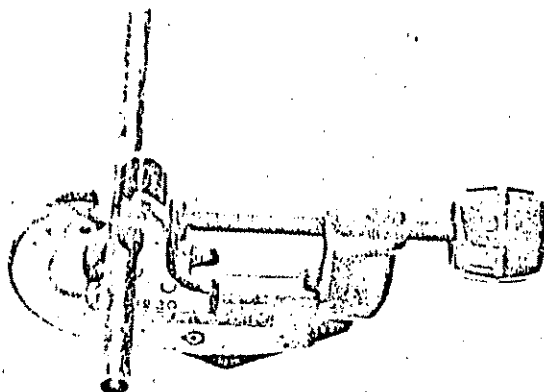


Fig. 89 Cortadora para tubos de pared delgada

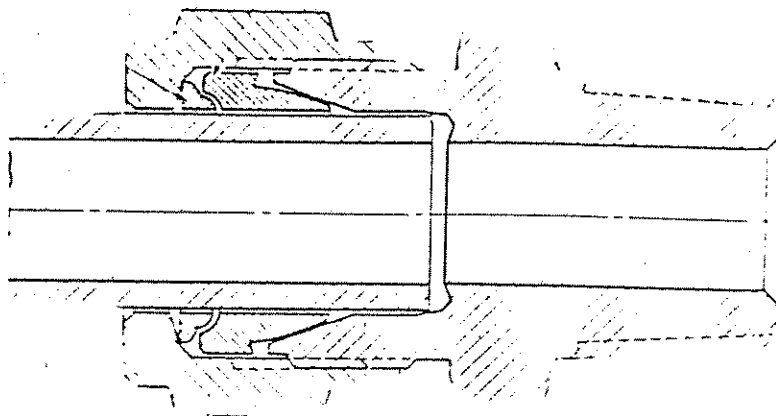


Fig. 90 Unión de compresión para tubo de dos casquillos de alto rendimiento



Existen numerosas configuraciones de uniones y conexiones para cualquier combinación, en la figura 91 se ilustran las configuraciones típicas.

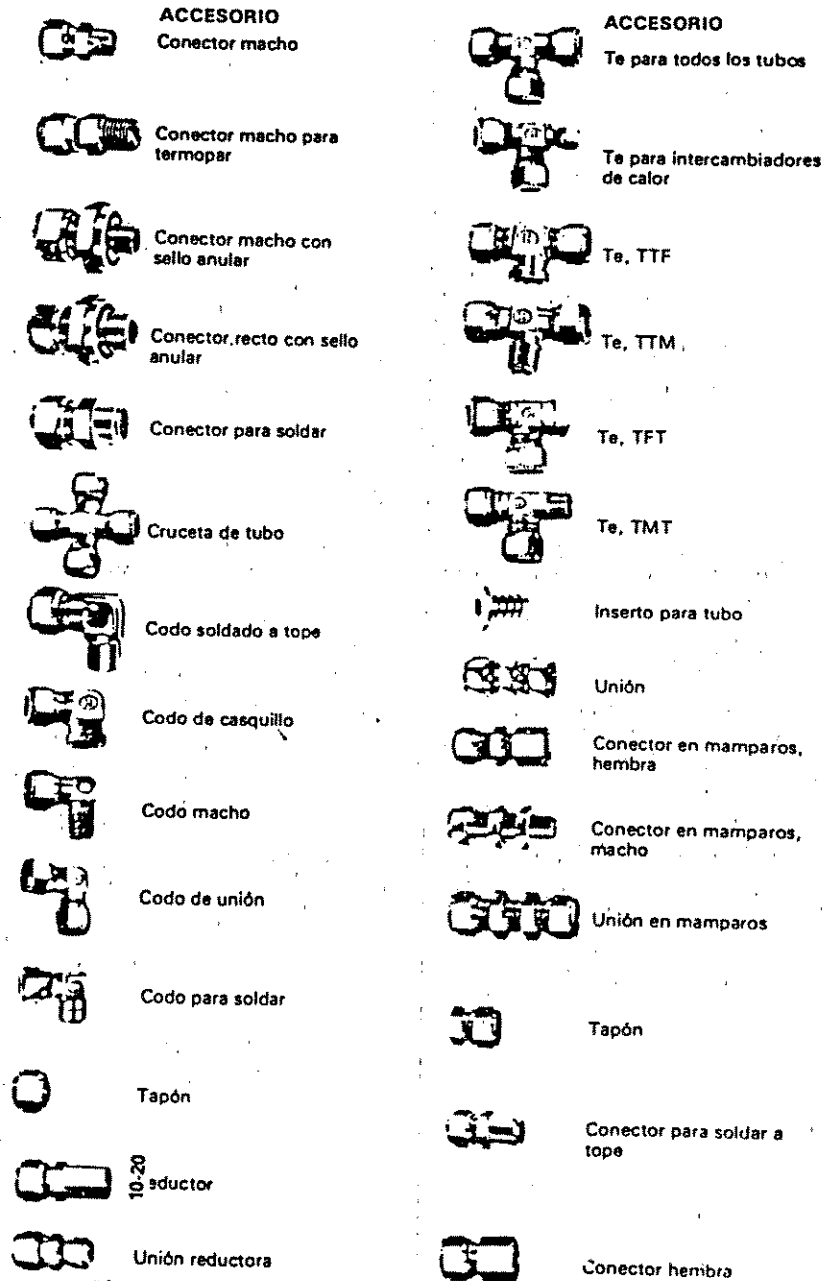


Figura 91 Configuraciones típicas de accesorios para tubos

### Conexiones abocinadas:

La conexión abocinada debe su nombre a la configuración del extremo del tubo, el cual se abocina para instalarlo en la conexión (figura 92) Hay que colocar la tuerca y el casquillo en el tubo antes de abocinarlo; antes de usar la herramienta abocinadora hay que cortar a escuadra el extremo del tubo.

Para tubos pequeños hasta 3/8 de pulgada (10 mm ) de pared delgada se puede usar un abocinador de mano figura 93. Para tubo más grande y de pared más gruesa en especial tubo de acero, hay que usar máquina abocinadora, a fin de aplicar la fuerza necesaria para formar el cuerpo abocinado en el extremo del tubo.

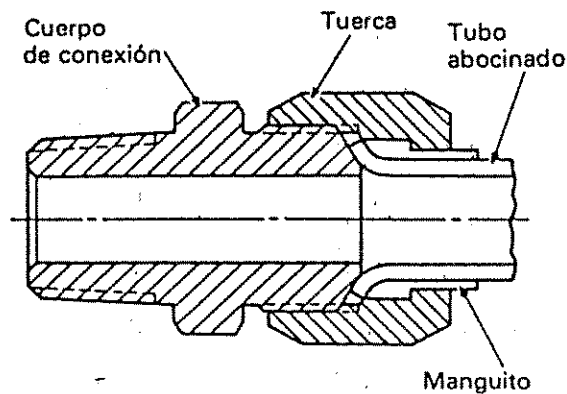


Fig. 92 Conexión abocinada en corte transversal

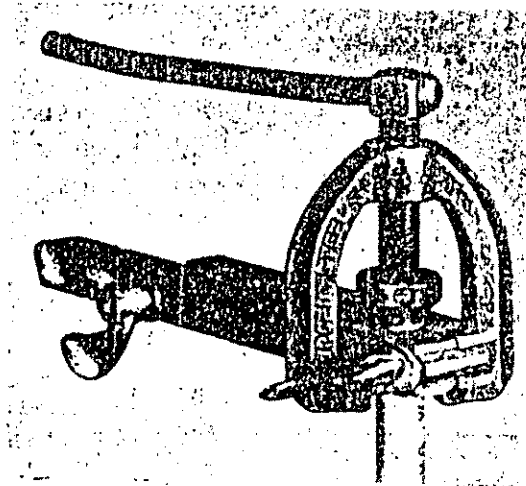


Fig. 93 Herramienta abocinadora manual para tubo de pared delgada

## 5.2 Medidores de presión y vacío:

La presión es una fuerza que se ejerce sobre un área determinada y se mide en unidades fuerza por unidad de área. Cada vez que se ejerce una fuerza se produce una deflexión o cambio de volumen.

### 5.2.1 Tipos de manómetros empleados

**Manómetro de tubo de Bourdon:** Es el medidor industrial de presión más empleado ya que se puede emplear para medir presiones y vacíos combinados como en el caso de las últimas extracciones. Los manómetros de tubo de Bourdon se pueden fabricar en cualquier tipo de material que tenga las características adecuadas para el rango de presión y la resistencia al medio corrosivo que se va a medir en la aplicación particular. Algunos de los materiales que se usan son: latón, aleación de acero, aceros inoxidables, bronce, cobre. El tubo de Bourdon puede tener forma de una C, espiral o hélice. Se sella uno de los extremos del tubo y se le ajusta a un mecanismo indicador. Cuando la presión se aplica al extremo abierto del tubo tiende a enderezarse a su forma original y produce la suficiente fuerza para mover un sector dentado u otro mecanismo indicador o de control.

El tubo de Bourdon se sujeta por su base fija de manera que la presión ejercida es proporcional al movimiento lineal de la aguja indicadora sobre una escala calibrada o un mecanismo de registro. Figura 94.

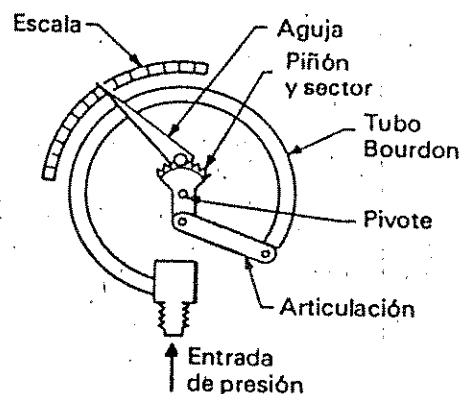


Figura 94 Manómetro con Tubo de Bourdon

**Medidor de vacío:**

El medidor de MCLEOD (fig. 95) es un medidor de mercurio utilizado para medir presiones absolutas inferiores a una atmósfera. Este vacuómetro es el más común de los medidores de vacío, se construye de material de vidrio, pyrex o borosilicato y se basa en el principio de la ley de Boyle. Si se somete a compresión isotérmica a un volumen de gas, su proporción aumenta con la reducción de su volumen.

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

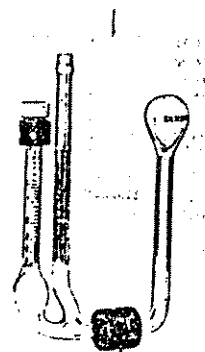


figura 97 4. Vacuómetro  
McLeod.

Fig. 95 Vacuómetro MCLEOD

### **5.3 Medidores de temperatura**

Ya que los cambios de temperatura y la transmisión de calor están considerados con gran importancia en un turbogenerador, la medición de temperatura juega un papel importante en la instrumentación del turbogenerador.

La mayor parte del equipo mecánico se opera de acuerdo a la escala Fahrenheit en esta escala el punto de congelamiento del agua se encuentra a los 32 °F y su punto de ebullición al nivel del mar a los 212 °F; los aparatos eléctricos se diseñan y operan por lo general en la escala centígrada en la cual los puntos de referencia mencionados anteriormente se encuentran entre 0°C y 100°C respectivamente.

#### **5.3.1 Tipo de medidores de temperatura empleados**

##### **5.3.1.1 Termómetro de líquido en vidrio**

Este tipo de termómetro es uno de los instrumentos más simples para medir temperaturas funciona en base a expansión volumétrica. La figura 96 muestra un termómetro industrial típico. Conforme aumenta la temperatura el líquido del pozo absorbe el calor y se expande o dilata, esta expansión hace que el líquido (mercurio) se eleve en el tubo capilar en proporción a la temperatura aplicada. Estos termómetros se utilizan en la medición de temperatura de vapor, agua y aceite en su respectivo rango.

##### **5.3.1.2 Termómetro bimetalico**

Este tipo de termómetro se construye de dos tiras delgadas de materiales diferentes y se unen a todo lo largo en una forma de bobina helicoidal, un extremo de la bobina va soldado al vástago y el otro al eje indicador (figura 97). El principio de operación es el siguiente: los metales tienen diferentes coeficientes de dilatación, y al aplicarles calor se expanden en velocidades y magnitudes diferentes. La bobina helicoidal se forma colocando el metal con el mayor coeficiente de expansión en el lado externo. Cuando se aplica calor al vástago del termómetro la bobina se enrolla y este movimiento hace que el eje y el indicador giren. Estos termómetros son recomendados para rangos no muy altos de temperatura, por lo que se emplean en medición de temperatura de agua, aceite, y no de vapor.

### 5.3.1.3 Termopares

Las mediciones industriales que oscilan entre  $-185$  y más de  $541^{\circ}\text{C}$  ( $300$  a  $1000^{\circ}\text{F}$ ), se logran normalmente con termopares. El termopar consiste en dos conductores metálicos diferentes unidos en un extremo, denominada unión detectora, y que van conectados a algún instrumento de medición fem (fuerza electromotriz) o sea un milivoltímetro potenciómetro, los termopares se emplean generalmente para llevar mediciones de temperatura hasta el panel de control.

Generalmente para protegerlos se emplea un tipo de fundas llamadas termopozos. (Fig. 98 y 99).



Fig. 96 Termómetro de Líquido en Vidrio

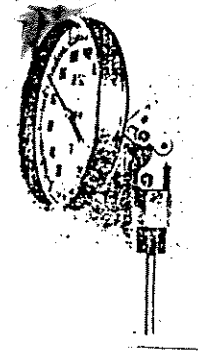


Fig. 97 Termómetro Bimetálico

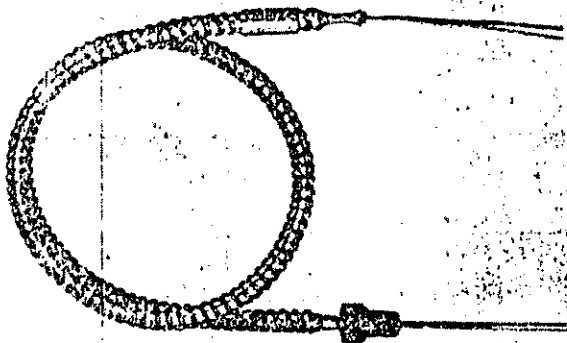
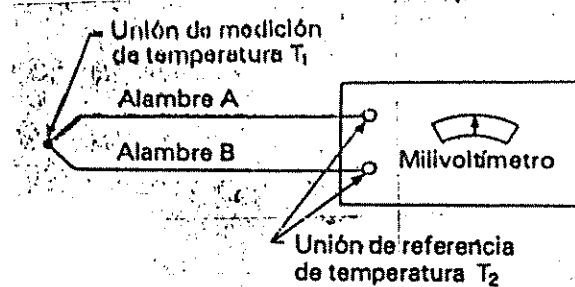


Fig. 98 Termopozo con Funda



Circuito básico de termopar.

Fig. 99 Termopar

## CONCLUSIONES

1. Es de vital importancia que turbogeneradores a vapor sean operados dentro de un margen de seguridad, para la máquina debe tener protección de:

- a) Sobrevelocidad
- b) Sobrepresión
- c) Baja presión de aceite
- d) Baja presión de vacío
- e) Protección eléctrica del generador
- f) Desplazamiento axial del rotor de la turbina
- g) Excentricidad del rotor de la turbina

2. Es importante el aislamiento del cojinete del generador que está próximo al excitador, porque sin este aislamiento se produce un circuito que puede producir serias picaduras en los cojinetes.

3. Se considera que un porcentaje de hidrógeno entre 5 y 75 en la composición de aire en el generador, puede presentar alto riesgo de explosión, por esta razón se debe evacuar el hidrógeno del generador utilizando bióxido de carbono.

4. En el sistema de lubricación de la turbina se debe de instalar una máquina centrífuga para evacuar constantemente las impurezas y el agua contenidos en el aceite.
5. Las cimentaciones en turbogeneradores se deben hacer del tipo de marcos, porque permite instalar el equipo (como condensador calentadores de tuberías) en los niveles inferiores de la cimentación.
6. La tubería de agua de enfriamiento del generador debe tener una soldadura garantizada debido a que no debe existir riesgo de fugas en esta parte ya que se encuentran próximos los cables de alta tensión.
7. El método de alineamiento por medio del árbol es más rápido y da una precisión similar a la del método de cuerda de piano.



## RECOMENDACIONES

1. Usar dos tacómetros para una indicación precisa de la velocidad del rotor, uno en los extremos de la turbina y otro en el extremo del excitador.
2. Mantener la pureza del hidrógeno en el generador entre el 97 y 98% para evitar una explosión.
3. Instalar en el panel de la turbina un amperímetro para medir el amperaje que proporciona el motor del mecanismo de giro con el objeto de monitorearlo, esto es necesario ya que si el amperaje sufre un incremento de lo normal es indicio de que existe un rozamiento.
4. Cuando la turbina se encuentre descubierta no se realicen trabajos que puedan producir escoria o polvillo metálico que se introduzcan a la turbina, porque al operarla la presión del vapor causaría serios daños de abrasión en las partes internas de la turbina.
5. Antes de rodar la turbina por primera vez, se recomienda soplar con vapor la tubería, desde la caldera hasta la válvula principal o de cierre, para remover la escoria de la tubería. Antes de poner en operación el sistema de lubricación se debe de realizar una limpieza del sistema, colocando un filtro en la entrada de cada cojinete y se recirculara los días que sean necesarios para que no existan impurezas en el aceite.

6. Con el objeto de evitar daños parciales o permanentes a la turbina, se recomienda revisar en orden, los siguientes sistemas:
- a) Las alarmas del nivel del tanque de aceite.
  - b) La secuencias de arranque automático de las bombas de lubricación con motor eléctrico AC, con turbina de vapor, y de motor eléctrico DC.
  - c) Disparo de la válvula de cierre o válvula principal.
  - d) Calibración de todos los instrumentos de control.
  - e) Inspección de las escobilla de conexión a tierra del eje.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BRUMEISTER, Theodore. Manual del Ingeniero Mecánico  
México, Mcgraw Hill. 1,990.
2. HOWEL, John. Principios de termodinámica para Ingenieros,  
México, Mcgraw Hill. 1,990.
3. LAUGHIN, Hallowenco. Diseño de Máquinas.  
México, Mcgraw Hill.  
Serie Schaum, 1975
4. ROBISON, Elonka. Operación de Plantas Industriales  
preguntas y respuestas, México:  
Editorial Mcgraw Hill. 1,989.
5. SEVERNS, W. DEGLER, H. Energía mediante vapor, aire  
ó gas. México:  
Reverte Mexicana. 1,997.
7. SHIGLEY, Edward. Diseño en Ingeniería Mecánica  
México: Mcgraw Hill, 1992.
8. SOISSON, Harold E. Instrumentación Industrial  
México: Limusa. 1,998.