

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MONTAJE DE UN TURBOGENERADOR DE 15000 KW EN EL INGENIO
SANTA ANA.**

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
POR

MYSON BENJAMÍN LACAN BARRIENTOS

AL COFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JULIO DE 2005

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR



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

**MONTAJE DE UN TURBOGENERADOR DE 15000 KW EN EL
INGENIO SANTA ANA,**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha catorce de mayo de 2003.

MYSON BENJAMÍN LACAN BARRIENTOS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
VOCAL II	Ing. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuel Milson
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Arrivillaga Ramazzini
EXAMINADOR	Ing. José Arturo Estrada Martínez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

Escuintla, 05 de Abril de 2004

Ing.
Alfredo Arrivillaga.
Coordinador de E.P.S
Facultad de Ingeniería
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Estimado Ingeniero:

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

El motivo de la presente, es para informarle que tuve a bien revisar el informe del proyecto de **E.P.S** titulado **MONTAJE DE UN TURBOGENERADOR DE 15000 KW EN EL INGENIO SANTA ANA**, del estudiante Myson Benjamín Lacán Barrientos con No. de Carné 9416225, por lo cual le doy mi visto bueno, para que tenga a bien realizar los trámites correspondientes.

Agradeciendo su atención, sin otro particular me suscribo.

Atentamente,

Gustavo Adolfo De León Escobar
No. de colegiado 4613

ACTO QUE DEDICO

A:

Dios

Por iluminarme en el sendero de la vida.

mis Padres

Levi Timoteo Lacán Batz.

Rosa Lidia de Lacán.

mi Familia en General

mi Esposa

Lilian Karina Ordóñez de Lacán.

mi Hijo

Cristian Alexander Lacán Ordóñez.

mis Compañeros y amigos

la Facultad de Ingeniería

la Universidad de San Carlos de Guatemala

AGRADECIMIENTOS

A:

Ingeniero Gustavo Adolfo de León por su apoyo y asesoramiento en el presente trabajo de tesis;

Ingenio Santa Ana por permitirme elaborar este punto de tesis y proporcionarme todo el material didáctico y apoyo técnico;

Personal de la Compañía Agrícola Industrial Santa Ana, S. A., especialmente al personal que participó en el montaje del turbogenerador;

Todos mis compañeros de trabajo por haberme apoyado en la realización de este proyecto de tesis;

Ingeniero Erick Monroy por el apoyo que me brindó para que pudiera desarrollar este trabajo de tesis.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. GENERALIDADES DEL TURBOGENERADOR	1
1.1. Descripción general de sus componentes	1
1.1.1. Turbina de vapor	1
1.1.2. Sistema de lubricación	17
1.1.3. Gobernador	22
1.1.4. Excitatriz	30
1.2. Descripción del turbogenerador de 15,000 Kw que esta instalado	35
1.3. Descripción del turbogenerador de 15,000 Kw a instalarse	42
1.4. Comparación costo-beneficio	72
2. MONTAJE DEL TURBOGENERADOR	77
2.1. Descripción del montaje	77
2.1.1. Estructura para la base del turbogenerador	77
2.1.2. Instrumentos de montaje	82
2.1.3. Proceso de montaje	85
2.2. Alineación, nivelación y calibración	89
2.2.1. Instrumentos de medición	89
2.2.2. Dispositivos	96
2.3. Instrumentación	103

2.3.1. Panel de control	103
2.3.2. Medidores de presión	108
2.3.3. Medidores de temperatura	111
2.3.4. Medidores de vibraciones	114
2.4. Pruebas de funcionamiento	123
2.4.1. Disparo de sobrevelocidad	127
2.4.2. Disparo por baja presión de aceite	128
2.4.3. Disparo de sobrevoltaje	129
CONCLUSIONES	135
RECOMENDACIONES	137
BIBLIOGRAFIA	139

INDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

No.	Título	Página
1	Características de los álabes de reacción	2
2	Características de los álabes de acción	3
3	El principio de acción	4
4	Flujo de vapor a través de las etapas de la turbina	5
5	Turbina de condensación	8
6	Turbina de contrapresión	9
7	Sistema de control turbina de vapor – sistema en bloque	24
8	Gobernador de velocidad	25
9	Referencia y relevador de velocidad	26
10	Servomotor	26
11	Posición del servomotor – torque	27

12	Válvula de cierre rápido	48
13	Disparador del cierre rápido	50
14	Relé de cierre rápido	53
15	Válvula de regulación	57
16(a)	Servomotor	59
16(b)	Servomotor	60
17(a)	Cimentación de la base del turbogenerador	78
17(b)	Base del turbogenerador	79
17(c)	Detalles de la cimentación del turbogenerador	80
18	Grúa viajera eléctrica	83
19	Grúa automóvil hidráulica	84
20	Malacate de cadena de alta velocidad	85
21	Posición del generador en la base	87
22	Aseguramiento con pernos de anclaje	88
23	Partes del calibrador vernier	90
24	Partes de un indicador de carátula	91

25	Indicador de carátula con su soporte	91
26	Calibrador micrómetro de exteriores cortado mostrando su construcción	92
27	Calibrador micrómetro para interiores	93
28	Calibrador de profundidades con dos vástagos de extensión	94
29	Calibrador de linternas en centésimas de milímetro	95
30	Calibrador de linternas en milésimas de pulgada	95
31	Instrumento de alineación y nivelación	96
32	Diagrama de medición con cuerda de piano	97
33	Dispositivo de nivelación de tornillo	98
34	Dispositivo de nivelación con cuñas	98
35	Alineamiento preliminar con cuerda de piano	99
36	Alineamiento con platinas colocadas	100
37	Nivelación de platinas	101
38	Panel de control de la turbina	103
39	Tipos de tubo bourdon	109

40	Sensor de fuelle	110
41	Sensor de presión de cápsula	111
42	Sensor bimetálico	112
43	Sensor de bulbo y capilar	112
44	Sensor de sonda	113
45	Principio de un sensor termopar	114
46	Bently nevada 3500	114
47	Ejemplo de instalación de un sensor de proximidad	116
48	Esquema de un sensor de velocidad	117
49	Acelerómetro piezo-métrico	120
50	Gráfica de rangos permitidos de voltaje	121
51	Sensor de proximidad PROXPAC	122
52	Dimensiones del sensor de proximidad PROXPAC	123
53	Relé multifunción SR-489	129
54	Diagrama de instalación y de medición	130

TABLAS

No.	Título	Página
I	Exámenes para aceites lubricantes	19
II	Clasificaciones de la NEMA para los sistemas reguladores de velocidad	29
III	Condiciones de trabajo	43
IV	Materiales de la turbina	44
V	Condiciones de vapor de la turbina	44
VI	Reductor de velocidad	44
VII	Bomba principal de aceite (acoplada al reductor)	46
VIII	Instalación hidráulica – datos generales	61
IX	Bomba principal de aceite	61
X	Moto bomba auxiliar	62
XI	Turbo bomba de emergencia	62
XII	Enfriador doble de aceite	63
XIII	Valores de referencia para la calidad del vapor	68

XIV	Características de los generadores de vapor antes de la modificación	73
XV	Características de los generadores de vapor después de la modificación	75
XVI	Tipos de transductores	115

LISTA DE SÍMBOLOS

ppm	partes en peso del constituyente por millón de partes de agua
ph	valor de una solución que designa la acidez o alcalinidad
Hp	caballos de fuerza
psi	símbolo de libras por pulgada cuadrada, Pound Square Inch
Kw	símbolo de kilowatt
V	velocidad absoluta
U	velocidad relativa
W	masa
P	densidad
°F	grados fahrenheit
°C	grados centígrado
AC	corriente alterna
DC	corriente directa

Ne	eficiencia total
Nt	eficiencia
Ng	eficiencia del generador eléctrico
Nm	eficiencia mecánica de la turbina
r.p.m.	revoluciones por minuto
Hz	hertz (número de ciclos)
Volts	voltaje
PF	factor de potencia
Lb/hr	caudal de vapor a la turbina
Lb/kw	consumo específico de vapor en la turbina
cm	centímetro
plg	pulgada
%	porcentaje
<i>h</i>	entalpía
kg	kilogramo
Q	caudal

D	diámetro
C-1	caldera No. 1
C-4	caldera No. 4
C-6	caldera No. 6
C-7	caldera No. 7

GLOSARIO

Alabe	es un elemento móvil de una turbina de reacción y tiene forma de una gota doblada.
Bagazo	es lo que se obtiene después de haber pasado la caña por los molinos, esta fibra de la caña de azúcar se quema dentro de los generadores de vapor, luego este vapor es enviado hacia los turbogeneradores.
Bently nevada	equipo que sirve para medir la posición axial y la vibración de la turbina por medio de unos sensores que envían una señal en milivoltios a este equipo.
Solenoides	es un dispositivo electromagnético que está acoplado a una válvula y cuando está energizada deja pasar aceite de retorno al tanque y cae la válvula de cierre rápido, disparándose automáticamente la turbina.
Soplado	es el proceso de limpiar la tubería de vapor que va hacia el turbogenerador, para evitar que ninguna partícula dañe a la turbina debido a la alta velocidad a la que entra el vapor a la misma.
Tamiz	sirve para limpiar el vapor y está instalado en la entrada de vapor a la turbina.

Tobera	aceleran y dirigen el chorro de vapor hacia el empaletado y a través de éste, de la subsiguiente rueda rotatoria.
Turbina de contrapresión	son las que descargan el vapor a una presión aun elevada utilizándose dicho vapor en procesos industriales.
Válvula de cierre rápido	es una válvula que trabaja a base de presión de aceite y es la que deja o no pasar vapor a la turbina, es la válvula que se cierra cuando ocurre algún disparo del turbogenerador.
Libera turbina	es un botón que se pulsa en el panel de control de la turbina y sirve para activar la válvula solenoide de la válvula de cierre rápido.

RESUMEN

En la puesta en servicio de turbinas de vapor se requiere tomar toda clase de precauciones tendientes a la seguridad personal y del equipo, así como, también, su conservación y buen funcionamiento como parte integral de suma importancia en una central térmica, contribuyendo a la generación de energía eléctrica del sistema nacional.

En el presente trabajo se hace mención de algunas de las pruebas que se realizan a equipos auxiliares durante la puesta en servicio de la turbina, se describen algunos equipos importantes y actividades que se realizan para rodar la turbina hasta llevarla a su velocidad de régimen, se hace mención de métodos y recomendaciones que deben tener en cuenta durante el rodado inicial y operación continua de la turbina.

En el capítulo No. 1 se describen las partes importantes de que consta una turbina de vapor y las clases diferentes que hay, así como sus muy vitales equipos auxiliares para su buen funcionamiento. Se muestran, además, fórmulas para medir la eficiencia de la turbina que es lo que nos ayuda a tener referencias de la buena operación del turbogenerador. Se hace mención del turbogenerador de 15 MW instalado, actualmente, sus características, sus condiciones de operación; así también se hace mención del turbogenerador de 15 MW a instalarse, como funciona, los equipos que lo componen, sus protecciones. Por supuesto se hace una comparación costo beneficio entre ambos turbogeneradores para saber las ganancias que este turbogenerador nuevo traerá para la empresa.

En el capítulo No. 2 se hace referencia en el proceso de montaje del turbogenerador nuevo de 15 MW, los datos que se requirieron para el diseño de la base del turbogenerador, los instrumentos y equipos que se utilizaron para su montaje, las variables de operación a las que trabaja este nuevo turbogenerador.

Se incluye, también, los dispositivos de seguridad que el turbogenerador tiene y las pruebas de que se realizaron en cada dispositivo de seguridad.

En este capítulo No. 2 también se muestran los pasos a seguir para la puesta en marcha del turbogenerador, tanto para arranque en frío o caliente, en este capítulo se incluyen los equipos de monitoreo de vibraciones que posee que es de vital importancia para la buena operación.

Ambos capítulos poseen figuras y tablas que ayudarán a comprender mejor este trabajo.

OBJETIVOS

Objetivo general

Mostrar los beneficios que se obtienen al instalar un turbogenerador más eficiente en un ingenio azucarero, dando resultados favorables en el proceso de fabricación de azúcar, generación de vapor y generación de energía eléctrica a un costo menor, generando así más ingresos.

Objetivos específicos

- 1.- Poder obtener una mayor generación de energía eléctrica con bagazo de la caña.
- 2.- Tener un ahorro de vapor en el ciclo con un turbogenerador más eficiente y, así, sobre más bagazo de la caña.
- 3.- Quemar más bagazo en el generador de vapor a base de bunker C, reduciendo de esta manera los costos de operación del turbogenerador de 25 MW que trabaja con vapor generado con bunker C y bagazo.
- 4.- Cumplir con la calidad de vapor necesaria en el turbogenerador para que se pueda cumplir con las eficiencias nominales descritas por el fabricante.

INTRODUCCION

A medida que las turbinas de vapor son de mayor capacidad, requieren de una inspección mas minuciosa desde su montaje, alineamiento, limpieza en sus tuberías auxiliares, como, también, de una mayor aplicación en las pruebas de cada uno de sus componentes, de tal manera que al término de cada una de estas pruebas y ajustes del equipo auxiliar de la turbina en reposo darán como resultado la confiabilidad de continuar las pruebas de la máquina rodando.

Durante el rodado inicial de la máquina se realizaran pruebas de verificación y ajuste del equipo de control y de seguridad, si estas son satisfactorias, se continuara con las demás pruebas que le corresponden hasta que la turbina llegue a la velocidad de sincronismo y posteriormente, se concluirán con las pruebas en la unidad con carga conectada al sistema.

Las turbinas de vapor son compañeras fieles para las industrias de procesos, han dado pruebas de confiabilidad básica y en la actualidad, están dando muestras de una nueva adaptabilidad al ir de la mano con todas las demandas de mayor capacidad, velocidad y confiabilidad.

Donde quiera que se examinen las industrias de procesos, existen mas turbinas de transmisión mecánica; en cualquier parte que se mire, tanto el caballaje como la velocidad se van hacia arriba, año con año. Y, dondequiera que se mire, se están incorporando avances tecnológicos en las turbinas modernas de vapor.

1. GENERALIDADES DEL TURBOGENERADOR

1.1 Descripción General de sus componentes

1.1.1 Turbina de vapor

Las turbinas de vapor son turbomáquinas en las que solo se efectúa el proceso de expansión. Sin bien existen turbinas a vapor del tipo radial, la inmensa mayoría son del tipo axial. El fluido de trabajo es comúnmente el vapor de agua, por obvias razones económicas y técnicas. En comparación con otras máquinas alternativas a vapor, de combustión interna ofrecen una mayor relación potencia/tamaño. Estas turbinas de vapor han establecido su gran utilidad como motores primarios, y se fabrican en muchas formas y distribuciones diferentes. Se emplean para accionar muchos diferentes tipos de aparatos, por ejemplo, generadores eléctricos, bombas, compresores, y para impulsar hélices de barcos, a traves de mecanismos adecuados cuando se diseñan para operación con velocidad variable, una turbina puede trabajar dentro de un rango considerable de velocidades, lo que puede resultar ventajoso en muchas aplicaciones.

En una turbina de vapor, las toberas y diafragmas se diseñan para dirigir el flujo de vapor a chorros bien formados y a alta velocidad, a medida que ese vapor se expande desde la presión de admisión hasta la de escape. Estos chorros chocan contra filas en movimiento de alabes montados en el rotor. Los álabes convierten la energía cinética del vapor en energía de rotación de flechas.

Existen dos tipos principales de turbinas: de reacción y de acción. En una turbina de reacción, el vapor se expande a presiones menores tanto en los álabes fijos como en los móviles. Los álabes móviles se diseñan para utilizar la energía del chorro de vapor de los álabes estacionarios y para actuar también como toberas. Debido a que son toberas móviles, una fuerza de reacción – producida por la caída de presión a través de ellas incrementa la fuerza del chorro de vapor de los álabes estacionarios. Estas fuerzas combinadas causan la rotación.

Para operar eficientemente, la turbina de reacción se debe diseñar para minimizar las fugas en torno a los álabes móviles. Esto se logra al hacer la mayor parte de los intersticios internos relativamente pequeños. La turbina de reacción también suele requerir un émbolo compensador (semejante a los usados en los grandes compresores centrífugos), debido a las grandes cargas de empuje que se generan, en la figura No. 1 se muestra el diseño de estas turbinas.

Figura No. 1 Características de los álabes de reacción.



La turbina de acción tiene poca caída de presión, o ninguna, a través de sus álabes móviles. En estas el vapor se expande a una presión menor en toberas estacionarias alcanzando gran velocidad, luego el vapor fluye en los alabes móviles sin mayor expansión. La energía del vapor se transfiere por completo al rotor por medio de los chorros de vapor que chocan contra los alabes móviles.

Ya que, teóricamente, no se tiene caída de presión a través de los alabes móviles (y, por tanto, no hay reacción), los intersticios internos son grandes y no se necesita émbolo compensador. Estas características hacen que la turbina de acción se una maquina robusta y durable que puede soportar el servicio pesado de las aplicaciones de propulsión mecánica de hoy en día, en la figura No. 2 se muestra el diseño de las turbinas de acción y en la figura No. 3 el principio de acción.

Figura No. 2 Características de los alabes de acción.

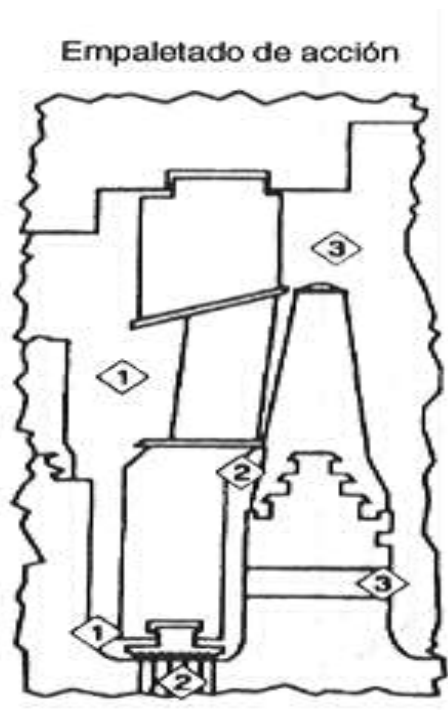
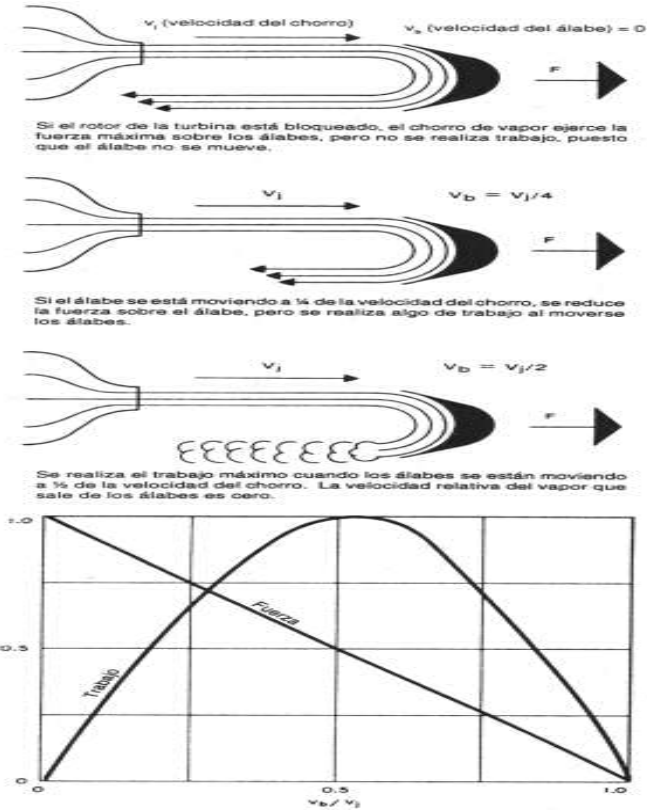


Figura No. 3 El principio de acción.



Según el principio operativo se distinguen las turbinas de Acción y de Reacción, tanto de una como de varias etapas. La diferencia fundamental es que en las turbinas de acción no hay cambios de presión en la rueda móvil, obteniéndose el intercambio de energía por el cambio de velocidad absoluta de fluido.

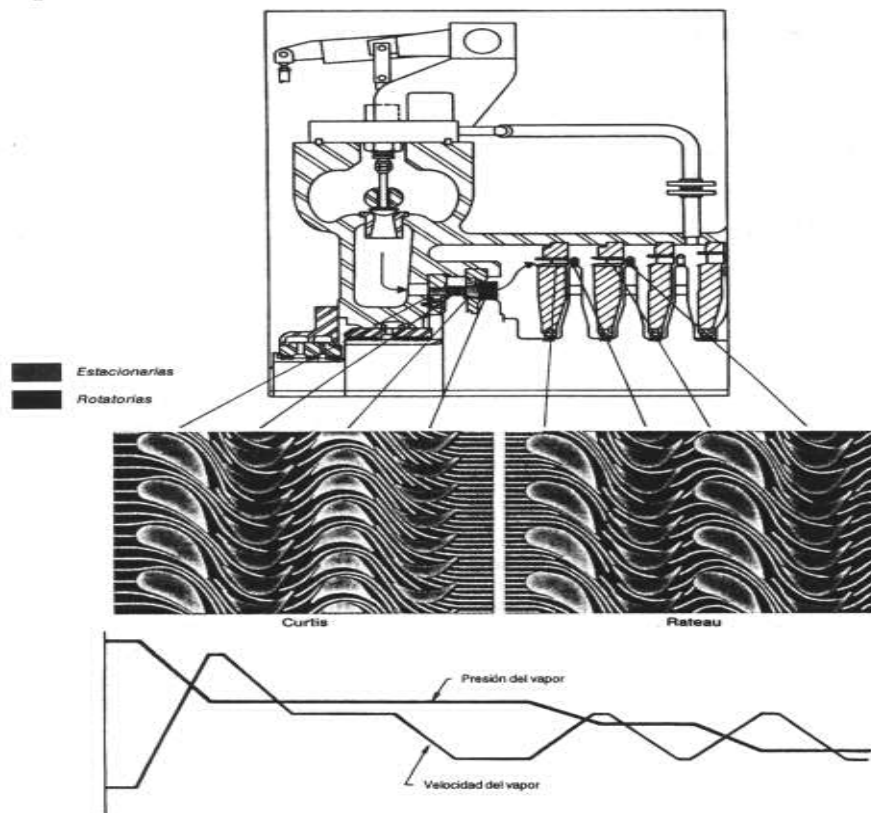
Las etapas de las turbinas de vapor pueden variar

En primer lugar, considérense las etapas compuestas según la velocidad (Curtís). Una etapa curtís consta de dos filas de alabes móviles. Las toberas estacionarias dirigen el vapor contra la primera fila; a continuación, alabes de inversión (no boquillas) lo vuelven a dirigir a la segunda fila.

En las etapas compuestas según la presión (Rateau), la energía calorífica del vapor se convierte en trabajo por medio de toberas estacionarias (diafragmas) que dirigen el vapor contra una sola fila de alabes móviles. Como en una etapa Curtís, las caídas de presión ocurren casi por entero a través de las toberas estacionarias.

La gran caída de presión a través de la tobera produce un chorro de vapor de alta velocidad. Esta alta velocidad es absorbida en una serie de pasos a presión constante como se muestra en la figura No. 4, las dos filas rotatorias de alabes hacen un uso eficaz del chorro a alta velocidad, lo que conduce a diámetros de las ruedas y velocidades en la puntas pequeñas y a una turbina mas corta y mas robusta, para una capacidad nominal dada.

Figura No. 4 Flujo de vapor a través de las etapas de la turbina.



Diseño Moderna de Acción

La importancia de la eficiencia de la turbina de vapor ha seguido creciendo durante la última década. En la actualidad, no existe una turbina de acción pura. Los fabricantes están utilizando una combinación de características de diseño de reacción y de acción con el fin de mejorar todavía más la eficiencia de la turbina. Los fabricantes de la turbina tradicional de acción, quienes utilizan la construcción básica de rueda y diafragma, han sido capaces de lograr, y muchas veces sobrepasar, el rendimiento de una turbina de reacción pura. Esto se realiza en etapas de alta presión, al añadir una pequeña cantidad de reacción para mejorar el rendimiento, sin necesidad de controles herméticos contra fugas o de incrementar las fuerzas de empuje. Se diseñan paletas altas de baja presión, con mas reacción que nunca antes, con la aplicación de códigos aerodinámicos avanzados para esta forma compleja de alabes. Los intersticios generosos de la construcción de rueda y diafragma disminuyen la dependencia en el control hermético de las fugas. Los datos de campo han demostrado que estas turbinas modernas de acción mantendrán su alto nivel de rendimiento con el transcurso del tiempo y son mucho más tolerantes a la incrustación, lo cual puede tener un impacto significativo sobre las cargas de empuje.

Clasificaciones de las turbinas

La clasificación de las turbinas se efectúa desde distintos puntos de vista:

1. Según las condiciones de suministro y escape del vapor, por ejemplo, con condensación, sin condensación, con extracción automática, con presiones mixtas (en las que el vapor se suministra desde varias fuentes a distintas presiones), con extracción regenerativa, con recalentamiento.

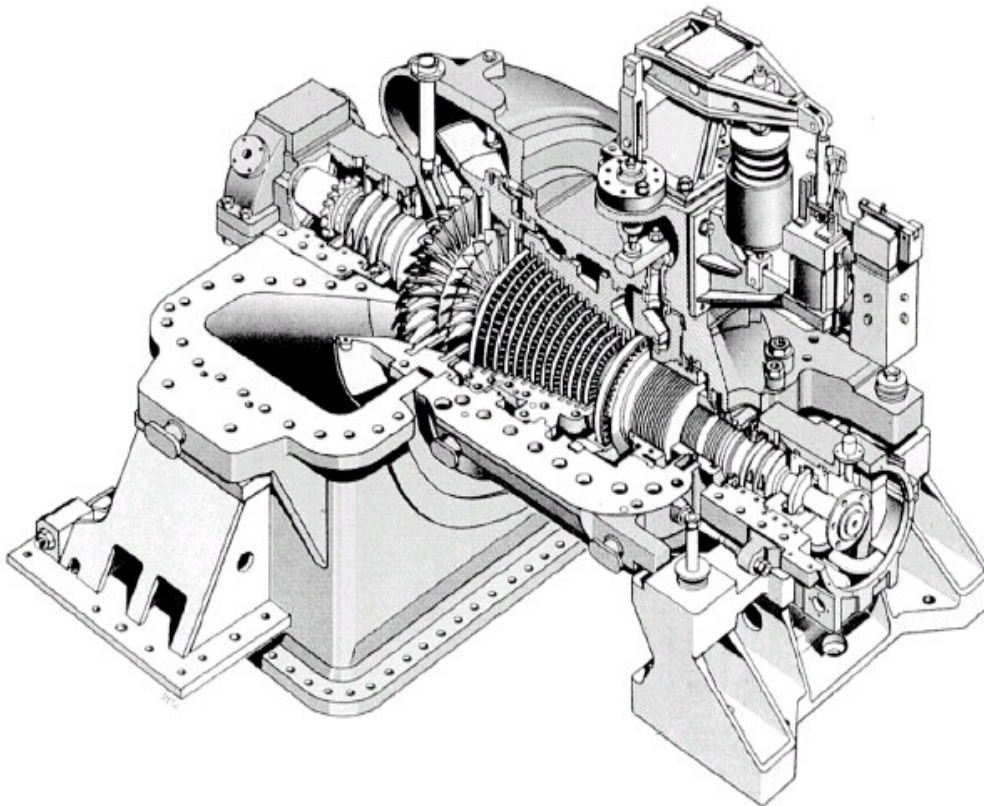
2. Según la disposición de las carcacas o de los árboles, por ejemplo, de una sola carcaca, compoud en tandem (dos o mas carcacas con los árboles acoplados en línea), compoud cruzado (dos o mas árboles no en línea, con frecuencias a distintas rpm).
3. Según el número de etapas de escape en paralelo, en cuando al flujo de vapor, por ejemplo de flujo doble, triple, de seis flujos.
4. Según los detalles en el diseño de las etapas de expansión por ejemplo de acción o de reacción.
5. Según la dirección del flujo del vapor dentro de la turbina, por ejemplo, flujo axial, flujo radial, flujo tangencial.
6. Según sean de expansión simple o de expansiones múltiples. Las turbinas pequeñas, o las que se diseñan para la caída pequeña de energía, pueden tener una sola expansión; las unidades mas grandes siempre son de expansiones múltiples.
7. Según el tipo de aparato de impulsado, por ejemplo, impulsión de un generador eléctrico, un dispositivo mecánico, un barco, etcétera.
8. Según la naturaleza del abastecimiento de vapor, por ejemplo, caldera que quema combustible fósil, o bien reactor nuclear de aguas ligera.

Cualquier unidad de turbina puede describirse según una o mas de estas clasificaciones, por ejemplo, una unidad de combustible fósil, de carcaca sencilla, con condensación y extracción regenerativa, o bien, una unidad nuclear, compoud en tandem, triple carcaca, flujo cuádruple y de vapor recalentado.

De acuerdo al uso del vapor en el escape o vapor intermedio, las turbinas pueden ser de:

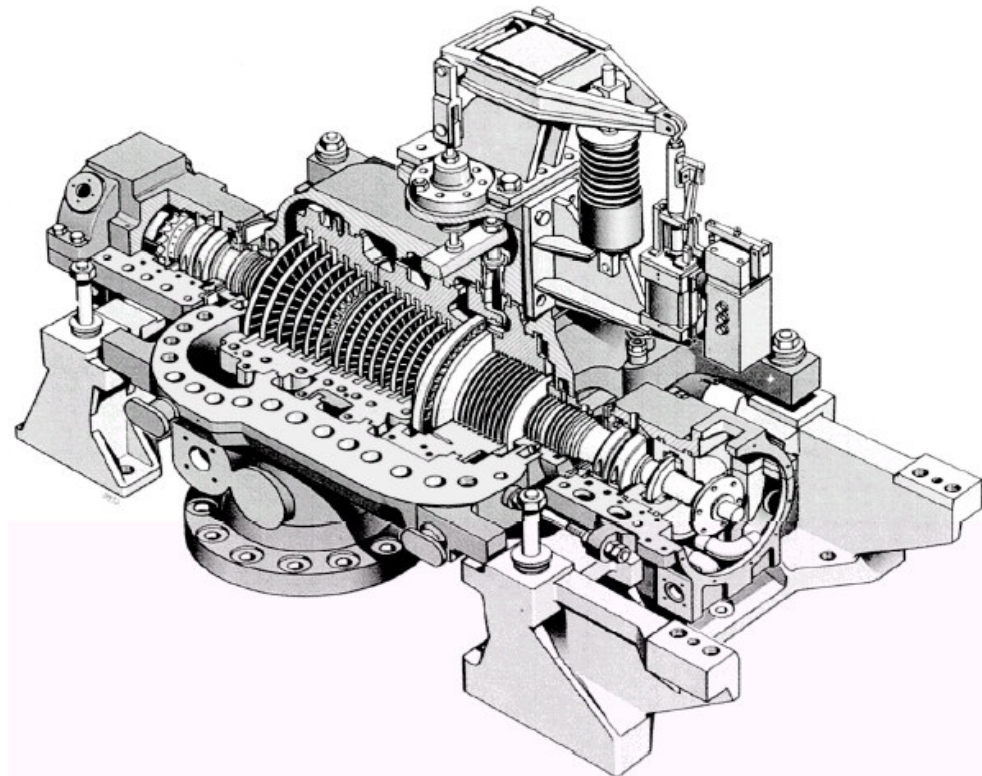
- **Turbinas de descarga atmosférica:** son generalmente de baja potencia, antieconómicas si utiliza agua tratada. No utilizan condensador de salida.
- **Condensación Directa:** son las de mayor tamaño, utilizadas en centrales térmicas. La presión de descarga puede ser inferior a la atmosférica debido a la condensación del vapor de salida, como se muestra en la figura No. 5.

Figura No. 5 Turbina de condensación.



- **Contrapresión:** se utilizan como expansoras para reducir la presión del vapor generado al mismo tiempo energía. Descargan el vapor a una presión aún elevada, para ser utilizado en procesos industriales, ver figura No. 6

Figura No. 6 Turbina de contrapresión



En las turbinas de vapor, éste se mueve de acuerdo a un flujo firme, por lo cual pueden ser aplicables las fórmulas correspondientes.

$$W = A_1 V_1 P_1$$

$$W = A_2 V_2 P_2$$

$$W = A_1 U_1 P_1$$

$$W = A_2 U_2 P_2$$

V= Velocidad Absoluta

W= Masa

U = Velocidad Relativa

P = Densidad

Equipo Auxiliar de un turbogenerador

- **Bomba de Lubricación Auxiliar AC-DC:** Es la bomba que provee el aceite a presión para lubricación y control durante los períodos de arranque y parada, durante el arranque debe salir de servicios al momento en que la bomba principal ha levantado presión suficiente, debiéndose asegurar que esto se realiza sin interrupción de presión, durante la parada de la turbina deberá entrar en servicio al descender la presión de la bomba principal. Puede ser de corriente alterna o directa: AC-DC.
- **Bomba de Lubricación Principal:** Es la bomba que provee el aceite a presión para lubricación y control en la operación normal, es accionada mecánicamente por la turbina. Debe controlarse la uniformidad de su presión de descarga para detectar posibles deterioros.
- **Bomba de Vacío:** Es la bomba utilizada en las turbinas de condensación para producir vacío en el escape de la turbina antes de ponerla en rotación con vapor.
- **Eyectores de Vacío:** Estos eyectores cumplen la misma función de la bomba pero realizándolo con el uso del mismo vapor que acciona la turbina.
- **Sistema de Purgas en la Turbina de Vapor:** En la entrada del vapor a la turbina debe existir una estación de purgas que permitan extraer el condensado que se acumula antes de las válvulas de entrada a la turbina, para evitar que entre agua a la misma, lo que producirá daños severos en los componentes de la turbina; en la operación normal el condensado que se forma con cierta periodicidad debe ser desalojado en igual forma mediante una trampa de vapor convenientemente dimensionada.

- **Enfriador de Aceite:** Es un intercambiador de calor instalado en la línea de aceite con el objetivo de mantener el lubricante a una temperatura constante, especificada por el fabricante del equipo que no altere las características originales: para controlar un buen funcionamiento debe tomarse en cuenta la presión y temperatura tanto del agua como del aceite, en la entrada y salida del enfriador.
- **Filtros de Aceite:** Estos filtros tienen por objeto recoger todas las impurezas con que se puede contaminar el aceite y de preferencia no debe tolerar partículas iguales o mayores al grueso de la película de aceite en los cojinetes.
- **Motor de Volteo:** Es el dispositivo utilizado para girar el rotor de la turbina del generador después de entrar en reposo al salir de servicios, con el objeto de que tenga un enfriamiento lento que no introduzca deformaciones permanentes que provoquen vibración al poner la máquina en servicio nuevamente.
- **Calentadores del Generador:** Los calentadores son utilizados todo el tiempo que el generador no esta produciendo energía eléctrica con el objeto de mantener al aislamiento en valores seguros y existe la posibilidad de condensación de agua.
- **Calentador de la turbina para paros largos:** El calentador es un ventilador de aire caliente que evita la condensación de agua que provoca corrosión en las partes internas de la turbina, en algunos casos es conveniente utilizar algún tipo de compuestos preservante.

Empuje Axial

Si se considera el rotor de la turbina de vapor simplemente como un objeto cilíndrico en una carcasa, se observa que un extremo está sometido a la alta presión del vapor de entrada y el otro a una presión de descarga que es muy inferior. Como resultado el rotor experimenta un empuje axial hacia la descarga. Dadas las altas presiones de alimentación y los grandes diámetros de las turbinas de potencia, el empuje puede ser sumamente elevado, más de lo que razonablemente pudiera soportarse con cojinetes de empuje axial.

Para reducir este empuje se utilizan técnicas de balance de fuerzas utilizando la misma presión de vapor. Una técnica efectiva es la del émbolo compensador.

El conducto de interconexión aplica la presión de descarga a la cara frontal del émbolo, cuya cara posterior recibe la presión de admisión, y cuya área está calculada para balancear el empuje axial sobre el rotor. El laberinto de sellos de la periferia del émbolo tiene un gran diámetro y será causa de pérdidas de vapor, indicadas por el flujo de retorno en el conducto de interconexión.

Rendimiento de la turbina

El comportamiento de la turbina puede ser expresado de la siguiente manera:

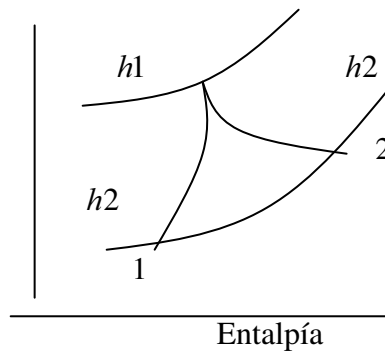
- a) La curva de expansión del flujo de vapor dentro de la turbina.
- b) La cantidad de vapor a través de la turbina.
- c) Comparándola con la turbina ideal.
- d) Midiendo su consumo de calor (heat rate) o eficiencia térmica.

e) Midiendo sus pérdidas (escape, radiación, etc.).

Con la ayuda del diagrama de mollier se pueden definir las condiciones del flujo de expansión, desde su condición inicial hasta su condición de escape para fines prácticos en el cálculo, la línea de expansión se asume igual a los puntos de extracción.

La eficiencia de una turbina sin extracción será:

$$N_i = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2}$$



Para comparar la eficiencia real y la eficiencia ideal, se utilizan términos de eficiencia, siendo para una turbina sin extracción.

$$N_e = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2} \quad N_g \quad N_m = \frac{3413}{W_s(h_1 - h_2)}$$

Donde:

N_e = eficiencia Total

N_g = eficiencia del generador eléctrico

N_m = eficiencia mecánica de la turbina

W_s = flujo de vapor 16/Kw hr.

Las fórmulas anteriores deben ser modificadas para los diferentes tipos de turbinas. En el código ASME (Power Test Code of Steam Turbines), se da para una turbina sin extracción la siguiente fórmula:

$$Ne = \frac{3412.7 (Pg \text{ ó } Pc)}{(W_1 - SWg)(h_1 - h_{sx}) + SWg (h_1 - h_{sg}^2)}$$

Y para una turbina de extracción:

$$Ne = \frac{3412.7 (Pg \text{ ó } Pc)}{S[w_{b_2} (h_1 - h_{sb_2}) + w_{b_3} (h_1 - h_{sb_3}) + w_4 (h_1 - h_{s_4})] + S w_g (h_1 - h_{sg_2})}$$

Donde:

Ne = eficiencia total

Pc o Pg = Potencia de acoplamiento de la turbina o en la salida del generador

W1 = flujo de vapor entrando a la turbina

Wg = vapor en la caja de válvulas que no regresa al sistema lb/hora

Wb1 y Wb2 = caudal de vapor de cada extracción

W4 = caudal de vapor en el escape

h1 = entalpía del vapor de entrada BTU/lb

hsx = entalpía del vapor de escape a la entalpía inicial BTU/lb

hsg2 = entalpía en la caja de válvulas a la presión de fuga y entropía inicial BTU/lb

h2b2, hsb3, hs4 = entalpía del vapor a la presión de extracción o de escape y entropía del vapor suplico BTU/lb

El consumo de calor de la turbina es la cantidad de energía de calor necesaria por la unidad para generar una unidad de energía.

$$\text{BTU / Kwh} = \text{H.R. (Heat Rote)}$$

Del código ASME Power Test Code se tiene para una turbina de expansión total.

$$H.R. = \frac{(W1 - Wg) (h_1 - h_{fx}) + Wg (h_1 - h_{fg_2})}{Pc \text{ ó } Pg}$$

y para una turbina de extracción:

$$H.R. = \frac{W1 (h_1 - h_s)}{Ps \text{ ó } Pc}$$

En donde:

hfx = Entalpía del liquido saturado a la presión de escape BTU/lb

hfg2 = Entalpía del liquido saturado a presión en la caja de válvulas BTU/lb

hs = Entalpía del agua de alimentación después del último precalentador

Nt. = Eficiencia

$$Nt = \frac{3413}{H.R.}$$

Mantenimiento Preventivo de la Turbina

El mejor mantenimiento preventivo es el que se realiza debidamente planificado consecutivamente en los períodos de mantenimiento (inspección de la máquina).

Consideraciones generales para la planificación del mantenimiento preventivo:

- a) **Operación de la Planta:** Análisis de las inspecciones y/o reparaciones anteriores y las presentes características de operación. Desgaste, Erosión, Depósito, Incrustaciones en los pasajes de vapor, corrosión, Distorsiones, Desalineamientos, Grietas por fatiga térmica, Problemas de control y Medición.
- b) **Recomendaciones del fabricante:** Recomendaciones que se puedan implementar en el tiempo de mantenimiento.
- c) **Rotor de la turbina:** Determinar ensayos no destructivos aplicables, rebalanceo, si ha habido necesidad de maquinar el rotor.
- d) **Albes:** Erosión debido a partículas sólidas o gotas de agua, corrosión, así como cualquier daño mecánico, revisión del tipo de operación cíclica.
- e) **Toberas y Diafragmas:** Erosión debido a partículas sólidas o gotas de agua, corrosión, así como cualquier daño mecánico, cambio de temperatura y presión en la admisión, evaluación de contaminantes que ingresan a la turbina.
- f) **Sistema de Lubricación:** Limpieza, análisis de aceite, análisis de desgaste por abrasión.
- g) **Válvulas de Admisión:** revisión de huelgos y contactos, problemas de cierre.
- h) **Sellos de vapor y diafragmas:** Evaluar su reemplazo, comparando con las medidas originales, evaluar daños por vibraciones e inducción de agua.
- i) **Realineamiento:** Problemas en los cojinetes, historial de vibraciones.

- j) Instrumentación:** revisión y calibración, así como chequeo o inspección, de todos los instrumentos de operación y control, vigilancia y disparos (manómetros, termómetros, termocoplas, registradores, sensores de gas).

1.1.2 Sistema de Lubricación

Es el arte de introducir lubricantes entre elementos de maquinas para reducir y producir enfriamiento. Los mejores lubricantes que se ajustan mejor a una necesidad solo son parte de una buena lubricación.

La investigación sobre lubricación óptica esta basada en el desgaste, fricción y tipo de superficie pero los avances en el diseño de los cojinetes y sellos de retención tienen un papel muy importante en la lubricaron.

Las pérdidas por fricción en los sellos que tienen que retener el lubricante se deben indirectamente a la lubricación.

Existen diseños de sellos elípticos, o sea, que tienen mayor huelgo arriba y abajo evitando con ellos deterioro de los sellos por movimientos de los ejes en dichos sentidos, así mismo se aplican sellos de retención que no produzcan fricción. La forma ovalada del cojinete da mejores resultados, manteniendo un área de contacto relativamente pequeña 30%.

En la lubricación por un método de circulación las tuberías, válvulas, filtros, enfriadores e instrumentación deben ser cuidadosamente diseñados, para efectos de caudal y reducida posibilidad de condensación.

La limpieza de todo el sistema de lubricación debe realizarse antes de poner en servicio la instalación. En el sistema de lubricación debe evitarse la condensación de agua, debiéndose utilizar un ventilador extractor en el tanque y tratar periódicamente el aceite, los filtros deben remover todas las partículas que pueden pasar por los huecos 1-3 micrones, ya que estos producen efecto de rayado o raspado en la superficie del metal (Babbitt).

El almacenamiento, manejo de los lubricantes tiene también especial importancia y algunos aspectos que se deben tomar en cuenta son los siguientes.

- Un lugar relativamente seco.
- Que no exista peligro de contaminación.
- Que no exista peligro de absorber sustancias químicas.

Análisis de Lubricante

Actualmente un buen análisis es una excelente herramienta para diagnosticar, tanto el estado del lubricante como del estado de la máquina, no solo la temperatura, ruido, vibración o inspección visual son suficientes para conocer el estado del equipo.

Selección de Lubricante

La mejor selección, es la basada en el cumplimiento de análisis de acuerdo a las normas ASTM, como se muestra en la tabla No. 1.

Tabla No. 1 Exámenes para aceites lubricantes

Tipo de Examen	Norma
• Viscosidad	ASTM – D567-3
• Punto de Oscuridad	ASTM – D97-47
• Punto de fluidez	ASTM – D97
• Densidad	ASTM – D1298-55
• Densidad API	ASTM – D287-55
• Punto de Inflamación	ASTM D-92-56
• Emulsión con Vapor de Agua	ASTM – D157-57T
• Número de Emulsión N° 5E	Número de segundos necesarios para que le aceite se separe de la emulsión
• Residuos de Carbón	ASTM – D524-52T
• Ceniza	ASTM – D482-46
• Ensayos de Residuos Sulfatados	ASTM – D874-55
• Oxidación	ASTM – 5943-54
• A 65 °C	Es un punto crítico para que el aceite se acidifique, engruese y se le formen depósitos.
• Antiespumante	ASTM – D892-46T
• Numero de Neutralización	Mg KOH/g aceite

Mantenimiento y Conservación del Aceite Lubricante

Durante la operación normal de las turbinas de vapor, el aceite es susceptible de contaminarse con vapor de agua, mayormente cuando se tiene un desgaste excesivo en los sellos, llegándose a emulsionar a tal grado que la desmulsificación no se da en el tanque de lubricación por el tiempo de resistencia antes de volver al sistema de lubricación, esto hace necesario llevar a cabo la desmulsificación y limpieza de cualquier otra impureza diferente del agua en un equipo de filtrado adicional que normalmente es llamado por el nombre del fabricante de los filtros (BROWSER), el equipo consta de un tanque relativamente grande en relación con la capacidad del tanque de la turbina, la cual es adecuado con cortinas metálicas para llevar a cabo un mejor asentamiento de las impurezas, un sistema de bombeo para recircular el aceite y un juego de filtros de suficiente capacidad para eliminar todas las impurezas, luego de ser debidamente filtrado el aceite puede volver nuevamente al sistema de lubricación de la turbina. La cantidad de aceite con que se debe constar en el Bowser debe ser igual a la cantidad total de aceite de la turbina para poder asegurar un cambio total en caso de una fuerte contaminación.

Los sistemas de lubricación para las turbinas de vapor no son significativamente diferentes de las alimentaciones de aceite para los compresores centrífugos y otras turbomaquinas aun cuando los sistemas de alimentación del aceite lubricante vienen en numerosas disposiciones y configuraciones.

Cuando una máquina de proceso se impulsa a través de un engranaje, a menudo la bomba principal del aceite es accionada por una flecha de engrane. En las unidades de alta confiabilidad, tres bombas independientes de aceite aseguran que los cojinetes reciban suficiente aceite lubricante en todas las condiciones de operación.

- **La bomba principal del aceite**, accionada por fuera de la flecha de la turbina o a través de una flecha con engranajes, suministra aceite para lubricación mientras el turbogruppo esta funcionando.
- **La bomba auxiliar del aceite**, diseñada para una capacidad de 100%, alimenta aceite lubricante mientras el grupo se esta arrancando o parando. Suele ser una bomba de engranes (como la bomba principal) y es accionada por un motor de C.A.
- **La bomba de urgencia del aceite**, accionada por batera, en general es una centrifuga y está diseñada para suministrar el 40% de la cantidad requerida de aceite. En el caso de falla de la bomba auxiliar, asegura que el turbogruppo recibe aceite suficiente mientras esta parando.

Para disminuir el par motor de arranque en los cojinetes de la máquina impulsada, a veces se suministra una bomba reciproca de alta presión. En las turbinas grandes, los cojinetes también se alimentan con aceite de sostén. Una bomba para el aceite de sostén asegura que exista una película de aceite entre las superficies del cojinete y el muñón (flecha) desde el instante preciso en que comienza la rotación.

El enfriador y el filtro de aceite están duplicados, de modo que se les pueda dar mantenimiento mientras el grupo esta funcionando. El filtro del aceite tiene un ancho de malla de 10 a 15 μm .

En muchas turbinas se satisfacen las necesidades de lubricación a partir de un sistema combinado que también sirve para impulsar maquinaria y que, por lo general, seria proporcionado por el vendedor del equipo impulsado.

El sistema de lubricación es dimensionado para suplir aceite lubricante en cantidad, presión y temperatura requerido por las condiciones de operación y característica del equipo.

1.1.3 Gobernador

El gobernador tiene por objeto controlar la velocidad de la turbina, la que afecta directamente la frecuencia de la corriente eléctrica producida por un generador C.A. La frecuencia debe mantenerse entre límites satisfactorios respecto al valor nominal (60Hz).

Regulación de Velocidad

La regulación de velocidad, expresada como un porcentaje de la velocidad nominal, se define como el cambio en la velocidad cuando se cambia gradualmente la salida de potencia de la turbina, desde la salida nominal hasta salida cero, en las siguientes condiciones:

- Condiciones constantes de vapor.
- Cambiador de la velocidad ajustado a las condiciones nominales
- Turbina sin dispositivo externo del control

% de regulación de velocidad =

$$\frac{(r / \text{min} @ \text{salidacero}) - (r / \text{min} @ \text{salidapoten})}{(0.01)(r / \text{min} @ \text{salidano})}$$

Variación de Velocidad.

La variación de velocidad, expresada como porcentaje, es la magnitud total del cambio de velocidad, o sea, las fluctuaciones respecto de la velocidad de control. Esta característica incluye la bondad muerta y la oscilación sostenida.

% de variación de velocidad =

$$\frac{(\text{cambio en } r / \text{min arriba vel. de control}) + (\text{cambio en } r / \text{min debajo vel. de control})}{(0.01)(\text{velocidad no min al})}$$

Banda Muerta

La banda muerta es una característica del sistema regulador de velocidad que suele conocerse como **desviación**. Es la insensibilidad del sistema regulador de velocidad que se define como el cambio total en la velocidad durante el cual no se tiene cambio resultante en la posición de las válvulas reguladoras para compensar ese cambio en la velocidad.

Estabilidad

La estabilidad es la medida de la capacidad del sistema regulador de velocidad para colocar en posición a las válvulas controladas por regulador de modo que no se produzcan oscilaciones sostenidas de velocidad durante una demanda sostenida de carga, o bien, al seguir un cambio hacia una nueva demanda de carga. A la oscilación extrema en torno al punto de control se le llama **penduléo**.

Aumento de velocidad

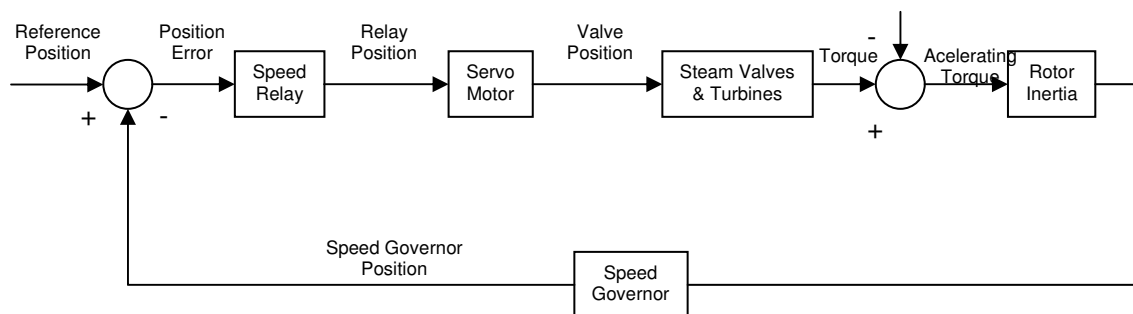
El regulador debe poder capturar el aumento de velocidad cuando la carga se cae instantáneamente y regresar el sistema al punto de control. El aumento de velocidad se define como el aumento de velocidad máximo momentáneo cuando la turbina esta desarrollando la salida nominal de potencia a la velocidad nominal y la carga se cae repentinamente hasta cero.

% de aumento de velocidad =

$$\frac{(\text{velocidad máxima @ salida a cero potencia}) - (\text{velocidad nominal})}{(0.01)(\text{velocidad nominal})}$$

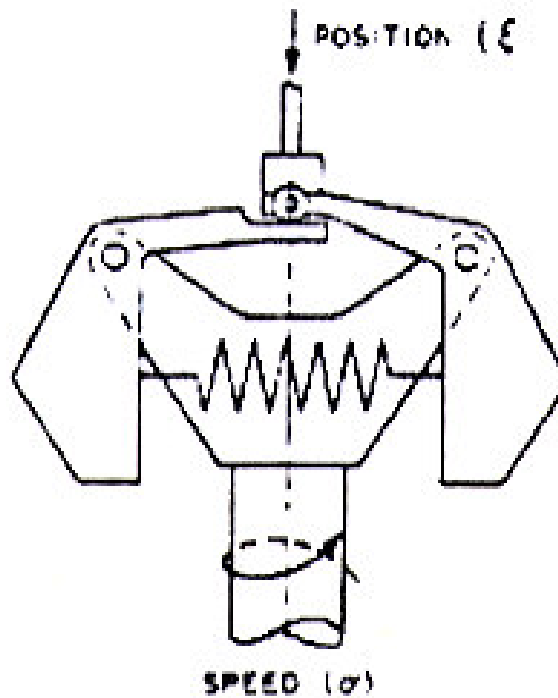
El sistema completo de control de velocidad esta conformado con los siguientes componentes descritos en la Figura No. 7

Figura No. 7 Sistema de Control Turbina de Vapor – Sistema en Bloque



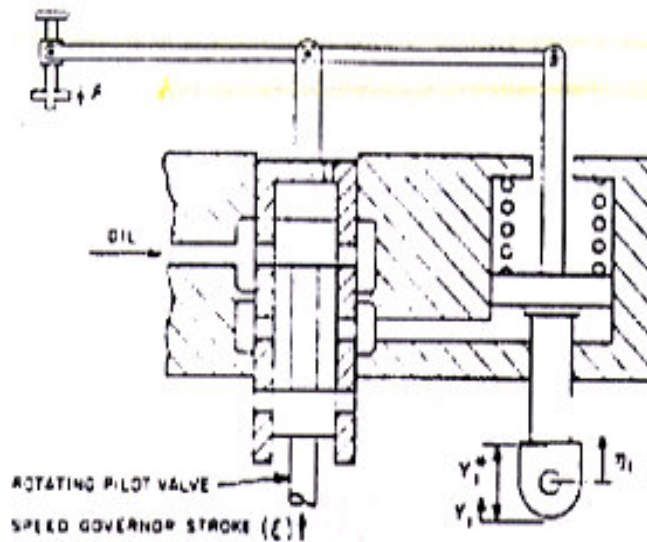
- **Gobernador de Velocidad:** Es el elemento que transforma la señal de velocidad en una señal de posición por medio de fuerzas centrífugas opuestas a un resorte o a una presión de aceite, también puede ser el emisor de pulsos eléctricos, como se muestra en la figura No. 8

Figura No. 8 Gobernador de velocidad



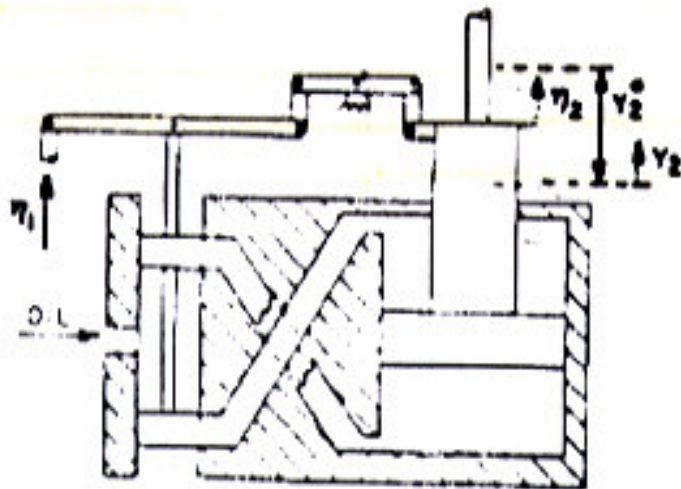
- **Relevador de Velocidad y Referencia:** Elemento en el cual se compara la señal de posición de la velocidad con la señal de referencia, la cual es la posición del cambiador de velocidad o elemento de sincronización, y la diferencia obtenida es convertida en otro señal de mayor valor, como se muestra en la figura No. 9

Figura No. 9 Referencia y relevador de velocidad.



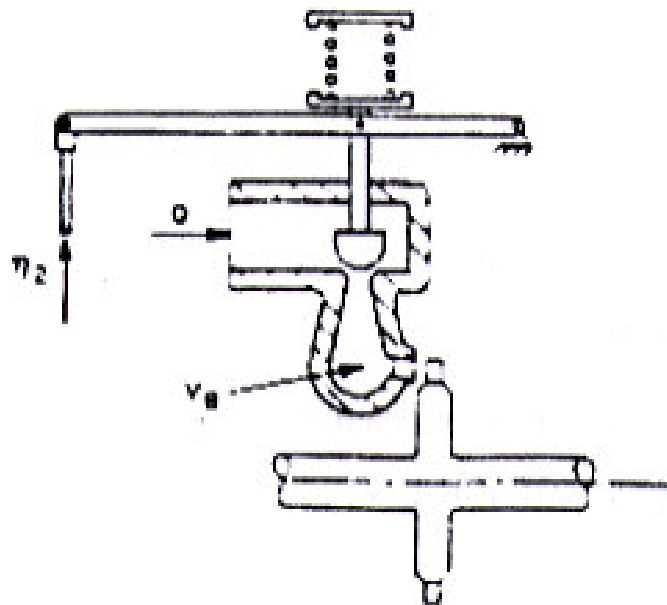
- **Servomotor:** Modifica la señal producida en el relevador de velocidad ampliándola a un valor que pueda operar las válvulas de admisión de la turbina, en la figura No. 10 se muestra un diagrama típico de un servomotor.

Figura No. 10 Servomotor

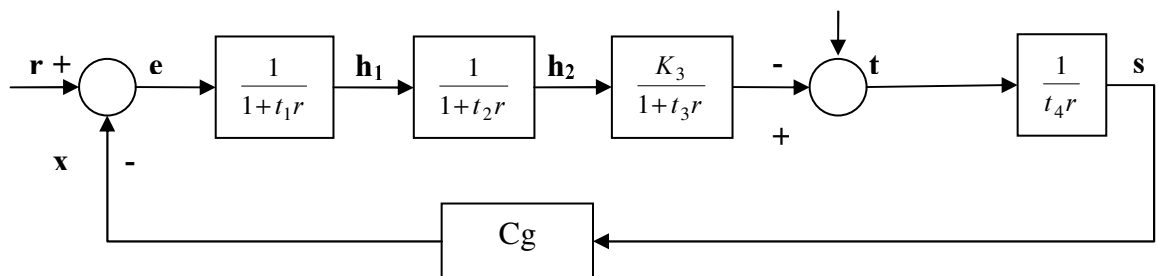


- Válvula de Admisión:** En los elementos que conforman este conjunto se produce la transformación de la señal producida en el servomotor en un aumento de volumen de vapor al rotor de la turbina produciéndose un par ó torque, como lo ilustra la figura No. 11

Figura No. 11 Posición del servomotor – torque



A continuación se detalla un diagrama de flujo de los elementos que intervienen en la señal que es enviada al servomotor para que se produzca el torque.



r	= Posición de Referencia
e	= Señal de error de la velocidad
x	= Cambio Relativo del Generador de Velocidad
t1	= Constante de tiempo del servomotor
h1	= Cambio relativo del relevador de velocidad
t2p	= Constante de tiempo del servomotor
h2	= Cambio relativo de la posición del servomotor
k3	= Ganancia de las válvulas al punto de 0 carga
t3	= Constante de tiempo de la caja de vapor
1	= Cambio relativo de carga
t	= Cambio relativo del torque en la turbina
t4	= Tiempo característico de la turbina
s	= Cambio relativo de velocidad
Cg	= Constante normalizada del gobernador de velocidad

Gobernador Isócrono

Cuando la turbina funciona independientemente, el gobernador es obligado a mantener una velocidad constante, independientemente de la carga, a lo cual se le llama operación isócrona. La mayor parte de las turbinas de vapor tienen alguna caída en la velocidad; es decir, se tiene una caída en la velocidad a medida que se aplica carga a la turbina. Un regulador que no tiene caída; es decir, de velocidad constante, con cambios de carga, se le conoce como regulador isócrono. Básicamente, un regulador NEMA Clase D es un regulador **Isócrono**.

La tabla No. 2 muestra las clasificaciones de la NEMA (Notional Electrical Manufacturer`s Association, Asociación Nacional de Fabricantes de Productos Eléctricos), para los sistemas reguladores de velocidad.

Tabla No. 2 Clasificaciones de la NEMA para los sistemas reguladores de velocidad

Clase Nema	Rango de velocidad ajustable %	Regulación máxima de velocidad de estado estacionario, %, sin carga hasta plena carga	Variación máxima de velocidad, en más o menos, %, a las cond. nominales	Aumento máximo de velocidad, %
A	10-65	10	0.75	13
B	10-80	6	0.50	10
C	10-80	4	0.25	7
D	10-80	0.50	0.25	7

Ajustes del sistema de disparo por sobrevelocidad.

Clase Nema	Velocidad de disparo, % arriba de la velocidad nominal
A	15
B	10
C	10
D	10

Speed Droop

Es la característica del gobernador que decrece con la posición del servo, está provee estabilidad y sirve para compartir carga, es prácticamente una resistencia a cambiar la carga o posición. Puede interpretarse también como el decrecimiento que tendría la velocidad del turbogruppo al ser cargado al 100% (suponiendo que el cambio de velocidad no actúa para mantener constante la velocidad), expresado en porcentaje.

1.1.4 Excitatriz

El sistema de excitación de un generador es la fuente de corriente del campo de excitación incluyendo los medios para su control, el sistema consta de las partes principales:

- El excitador que produce la corriente de campo el campo del generador.
- El regulador de voltaje que controla la salida del excitador de acuerdo a las características propias del regulador.

Generalmente se usan tres tipos de excitación:

1. Excitadores rotativos con carbones.
2. Excitadores rotativos sin carbones.
3. Excitadores estáticos.

Los excitadores rotativos con carbones, consisten en un generador de corriente directa, accionado directamente por el eje del generador, utilizando un conmutador con carbones para producir la tensión y la corriente de excitación en C.C., aplicándola al campo del generador a través de anillos deslizantes.

Los excitadores rotativos sin carbones, consisten en un generador trifásico con bobinas de C.A., montados en su rotor y el campo montado en el estator, acoplado este generador al eje del generador principal, la C.A., producida se rectificada por medio de rectificadores rotativos montados en el eje del generador principal. Con esto se evita el uso de conmutadores, anillos deslizantes y carbones.

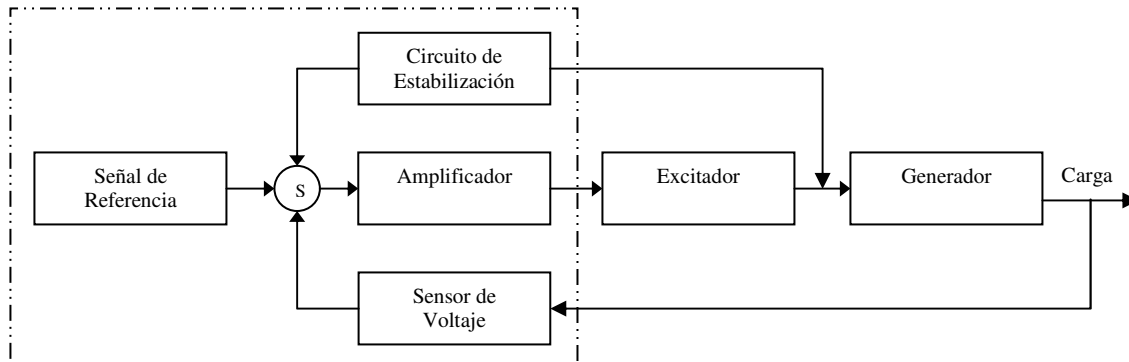
Los excitadores estáticos no utilizan una fuente adicional para genera la C.C., para el campo del generador, sino utilizan la energía del mismo generador principal, siendo así un sistema auto excitado, utilizando para ello transformadores CVT monofásicos, controlados con C.C y un rectificador de potencia de onda completa.

Los transformadores de potencia baja al valor necesario en el campo de excitación enviando una señal a los transformadores de corriente y voltaje, los reactores en el circuito secundario del transformador de potencia, cambian la corriente del secundario 90° en fase con respecto a un voltaje para comparar la salida del excitador con los requerimientos de excitación del generador. El embobinado de corriente de los CVT es conectado en serie con el embobinado del generador. El embobinado del voltaje de CVT produce voltaje proporcional al voltaje del generador, a la corriente y al factor de potencia, la salida de los CVTs es rectificada para ser alimentada como C.C. de excitación del campo generador.

Reguladores de Voltaje

Los reguladores de voltaje, son sistemas de control que mantienen el voltaje del generador a un valor predeterminado, o para variar de acuerdo a las condiciones de operación del generador, básicamente consisten en un circuito que censa la desviación entre el voltaje del generador y un valor dado, utilizando esa señal de error para controlar el nivel de excitación necesario, de acuerdo al sistema típico.

A continuacion se detalla un diagrama de flujo para el proceso de regulación de voltaje.



Controles y señalización

Los elementos principales de indicación y control de un generador son los siguientes:

- **Frecuencia:** (Velocidad de la Turbina), durante el arranque el valor puede ser ajustado mediante el regulador de la turbina, y durante la operación puede variar solo debido a los cambios bruscos en las condiciones de operación, manteniéndose normalmente constante.
- **Corriente de Excitación:** Varía de acuerdo a las condiciones de la operación.
- **Voltaje de Excitación:** Varía de acuerdo a las condiciones de operación en cambio de carga Activa y Reactiva.
- **Factor de Potencia:** Generalmente debe mantenerse entre los límites especificados para cada generador, aunque puede variar de acuerdo a las necesidades de potencia Activa y Reactiva.

- **Voltaje de Salida:** Es controlado por un regulador respectivo, de acuerdo a la operación deseada.
- **Potencia:** Esta es controlada por medio del regulador de turbina de acuerdo a las necesidades, aumentando el par motor o disminuyéndolo de acuerdo a la carga.

Los generadores cuentan, además, con señalización de:

- Temperatura en las bobinas del estator.
- Temperatura del aceite de lubricación.
- Presión del aceite de lubricación (con disparo).
- Temperatura del agua de enfriamiento.

Lubricación

La lubricación de los cojinetes del generador y excitador (si es necesario), se obtiene del sistema de lubricación de la turbina, contando con presostatos en los cojinetes que envían señal de alarma y/o disparo en caso de que la presión descienda por debajo del valor normal de la lubricación.

Durante el arranque debe vigilarse que exista buena lubricación para evitar desgaste en los cojinetes al sacar del reposo al rotor del generador, en aumento en la temperatura de los cojinetes anormal puede indicar que no son convenientemente lubricados.

Protecciones

Además de las protecciones de tipo mecánico (presión de aceite, vibración, temperatura excesiva), el generador cuenta con protecciones de tipo electrónico como las siguientes:

- **Relevador de potencia inversa:** Este relevador es utilizado principalmente para proteger a la turbina, ya que si se motoriza el generador, la turbina sobrecalienta debe producir disparo.
- **Relevador Diferencial del Generador:** Cuando hay una tierra en el generador se presentan diferencias de corriente en las bobinas de las diferentes fases del generador que pueden causar daños severos, generalmente actúan con un tiempo menor o igual a un ciclo, debe dar disparo.
- **Relevador de Tierra:** Aunque el relevador diferencial puede detectar una tierra, en sistemas de gran impedancia aterrizadas, un relevador en el neutro a tierra produce protección adicional pues puede ser ajustado sin importar las corrientes bajo carga puede dar alarma o disparo.
- **Relevador de Secuencia Negativa:** una corriente de secuencia negativa es una corriente que fluye en caso de fallas de desbalance de carga por problemas fuera del generador y se puede dañar el rotor, debe producir disparo.
- **Relevador de Sobre Temperatura:** Este relevador es conectado al sensor que produce la temperatura más alta en el estator y puede ser aplicado para dar alarma o disparo.

- **Relevador de pérdida de Excitación:** Este relevador prevé la diferencia de corriente de excitación, la que produce inestabilidad; puede ser usado para dar alarma o disparo ya que el operador puede restablecer la excitación.
- **Relevador de Tierra en el Rotor:** Sirve para proteger el rotor cuando se detecta una sola tierra, con una segunda tierra existe desbalance y vibración, puede reproducir sola alarma.

Los relevadores de protección están combinados con la capacidad de interrupción del interruptor del generador, el cual cuenta con sus características de apertura de acuerdo a la capacidad o potencia del generador.

1.2 Descripción del turbogenerador de 15,000 Kw que esta instalado

Es una unidad de contrapresión de 15,000 Kw, a 3,600 RPM, con condiciones de vapor normales de 600 PSIG, 750°F temperatura de vapor por entrada de 36 PSIG, presión de escape. El generador sincronizado tiene un porcentaje de 19,531 KVA, 6.9 KV, 3 fases, 60 Hz, 0.8 factor de potencia. El porcentaje del sistema estático de excitación es de 48 Kw, 250 Volts. DC. Tanto la turbina como el generador son General Electric.

Condiciones de Servicio

- La turbina esta diseñada para una carga completa con las siguientes condiciones:

Presión de Vapor: Normal 600 y máxima 630

Temperatura de vapor: 750° F

Presión de escape: 36 +- 10

Eficiencia de la turbina: 19 lbs de vapor/kw

- En una operación normal, la unidad debe estar diseñada para resistir un repentino aumento o un retiro de carga o un corto circuito del generador.

Diseño y Construcción

Todas las fundiciones y las forjaduras usadas en la construcción de esta unidad son de alta calidad. Tienen las inspecciones necesarias de la partícula magnética, los procesos de fundiciones, las pruebas radiográficas, y pruebas sonicas realizadas de acuerdo con las especificaciones ASTM aplicadas actualmente. Todas las partes de la turbina son accesibles como posibles y capaces de estar listas para trasladarse o para ser reemplazadas. Un dispositivo terrestre esta entre las partes estacionarias y giratorias de la turbina para prevenir el flujo de las corrientes de ventilación entre el rotor o pieza giratoria y los cojinetes.

Fundición de la Turbina

La fundición de la turbina es construida de materiales, los cuales han sido comprobados adecuadamente para una operación exitosa bajo las condiciones específicas de vapor. Esas porciones de la fundición de la turbina la cual, en una operación normal, puede ser sometida a temperaturas bajas de vapor de 450° F. Las porciones de la turbina que están expuestas a altas temperaturas y donde esta sometida a una sobrecarga están hechas de acero-carbono, el resto de la fundición es hecha de hierro fundido.

Es de alta calidad tratada térmicamente, esta diseñada y construida para que no ocurran distorsiones perjudiciales con cambios en la carga de la unidad. La pieza giratoria completa esta en un balance estático y dinámico para que corra suavemente con menos de 3 milésimas de vibración del eje a 3,600 rpm. El álabe de la turbina esta seguro y sujeto, esta listo para ser cambiado y hecho al 12% de hierro – cromo.

Diafragmas de la Turbina

Los diafragmas de los anillos del alabe estacionario están divididos desde la línea central horizontal y están diseñados para facilitar el traslado de estas partes para que sean inspeccionadas y reparadas. El diseño esta hecho para minimizar el tiempo requerido para una inspección o una reparación.

Las válvulas de cierre rápido.

La válvula accionada por presión de aceite esta instalada en la línea de vapor principal y contiene lo siguiente:

- Un resorte de soporte
- Una señal para operar la válvula desde el tablero de control mientras la unidad esta en operación
- Un interruptor para disparar el interruptor automático cuando la válvula este cerrada.
- Un interruptor para indicar la posición de la válvula a través de luces indicativas instaladas en el tablero de control.
- Un botón de llamada operado a un interruptor de un dispositivo solenoide.
- Una pantalla de malla fina temporal para filtrar el vapor que va hacia la turbina cuando la unidad esta en servicio.

La caja de las válvulas reguladoras de vapor

Las válvulas reguladoras son diseñadas para minimizar los vapores perdidos de la turbina. La posición de las válvulas están controladas por un aceite regulador de la velocidad a través de un enlace mecánico a las válvulas.

Las válvulas están cargadas con un resorte en la dirección de cierre para proveer una cerradura positiva sobre la pérdida de la presión de aceite hidráulico.

Regulador

El regulador es del tipo hidráulico o regulador de aceite, poniendo las válvulas reguladoras a través de un servomotor operado con aceite. Todo el aceite proporcionado al sistema de control del regulador durante una operación manual (mientras la unidad esta subiendo su carga) esta proveída con bomba de aceite principal la cual es conducida por una turbina principal o es instalada directamente sobre el eje de la turbina. El control del aceite hidráulico es proporcionado desde una bomba separada cuando la maquina esta siendo arrancada o parada. El regulador esta equipado con una velocidad cambiante y un dispositivo de carga el cual puede ser operado manualmente o puede ser operado con el motor por medio de un interruptor de control que esta instalado en el tablero de control eléctrico. Este dispositivo esta proveído con contactos eléctricos los cuales indicaran las posiciones máximas y mínimas del regulador, a través de las luces indicativas instaladas en el tablero eléctrico. El sistema del regulador tiene un dispositivo de límite de carga el cual es operado manualmente. Un dispositivo para el disparo de sobrevelocidad esta incorporado en el sistema de control de regulación si por alguna razón la unidad sobrepasa aproximadamente un 10% su velocidad normal de operación.

Giro Lento.

Esta unidad esta suministrada con un mecanismo para hacer girar el rotor a una velocidad aproximada a 20 rpm impidiendo de esta manera el alabeo temporal del rotor cuando esta parado mientras todavía esta caliente, o mientras se esta calentando.

Después del arranque y la admisión de vapor, este mecanismo se desenclavará automáticamente siempre que el rotor alcance una vez más una velocidad prefijada de 40 a 60 rpm.

Generador

Clasificación:

19,531 KVA

3 fases

60 Hertz

6,900 Volts

16,625 Kw a 0.8 pf

3,600 rpm

Operación

El generador es operado a todas las cargas y soporta cambios repentinos de cualquier cantidad entre cero y el promedio del generador sin daño. La apertura repentina del circuito externo no debe resultar en daños para el generador.

La temperatura total determinada por cualquier método dado en los estandartes de la asociación Americana, no excede a 100 °C para la bobina del estator y 125 °C para el colector y el campo, cuando este operando con carga completa o carga mínima.

Estator

La bobina del estator, la cual esta aislada con capas múltiples y una cinta especial, tiene una mezcla asfáltica forzada hacia adentro de los vacíos entre los alambres de la bobina y la cinta especial mientras la cinta este siendo aplicada.

El aislamiento de los laminados del núcleo del estator son mínimos y de una clase que mantendrá sus propiedades aislativas a temperaturas altas.

Cojinetes

El cojinete del generador esta lubricado a presión del sistema de aceite lubricante de la turbina. La línea de descarga de aceite del cojinete esta suplida con una salida visual, una fuente de termómetro y una segunda fuente para la instalación de una pila termoeléctrica. La capa del cojinete será dividida horizontalmente para permitir el removimiento del cojinete para la inspección o reemplazamiento sin remover el rotor. La amplitud máxima de una onda llena de vibración como ha sido medida en el forro del cojinete no excede de 1 milésima a 3,600 rpm.

Enfriador del generador

El generador esta ventilado por la circulación de aire entre la capa del generador. Un ventilador o varios deben ser montados en el rotor del generador para que provea la circulación del aire. Enfriadores de aire están montados adentro del generador con provisiones para las conexiones del agua externas. Los enfriadores son de un tamaño y numero suficiente para que la unidad pueda operar a 2/3 de la capacidad fijada con un enfriador fuera de servicio, las cabezas o cajas del agua del enfriador son diseñadas para permitir la limpieza sin tener que parar el turbogenerador. Los enfriadores son diseñados para operar con agua fría a un máximo de 125 psig, 95°F.

Dos detectores de temperatura resistentes de cobre (teniendo una resistencia de 10 OHMS a 25°C) están suministrados para cada enfriador en el generador. Un detector esta colocado para medir la temperatura del gas caliente del enfriador y el segundo detector será colocado para medir la temperatura del gas frío saliendo del enfriador.

Sistema de excitación

El sistema de excitación es de una clase estática con la capacidad suficiente para hacer que la maquina corra, en todas las condiciones especificadas para operar. El refinador esta protegido contra el alto voltaje y las sobrecorrientes.

El regulador automático de voltaje es de una clase activa de alta velocidad continua. El voltaje regulado esta preparadamente ajustado entre mas y menos 10% de la montadura normal y es relativamente moderado por cambios en frecuencia sobre la escala de 55 – 65 Hertz.

El sistema de excitación tiene los aparatos siguientes:

- Un transformador de poder potencial de tres fases para secado de clase de aire fríos para operación a 55 °C ambiente.
- Tres transformadores saturables de corriente
- Un cubiculo de excitación conteniendo los siguientes componentes:
 - Dos unidades refinadoras – aire frió
 - Interruptor para refinadoras aisladas
 - Resistor de descarga para el campo
 - Dos interruptores automáticos de circuito para el campo
 - Un regulador automático para el voltaje
 - Un regulador manual para el voltaje
 - Contadores de servicio
 - Compensador reactivo
 - Toma corrientes para encender

Todos los controles necesarios, los interruptores, reóstatos, contadores, luces indicadoras, etc. Requeridas para la operación del sistema excitador incluyen lo siguiente:

- Dos interruptores de control para el campo de clase SBM, con el mango nudoso y las luces indicativas.
- Un interruptor de control manual para el regulador, de clase SBM, con un mango en forma de pistola y luces indicativas.
- Un interruptor para encender el regulador transferido.
- Un potenciómetro de voltaje con centro en cero del regulador transferido.
- Los contactos de la alarma están suplidos por los siguientes puntos:
 - Refinador del frente temperatura alta
 - Refinador trasero temperatura alta
 - Fundamento del campo
 - Un regulador que pueda ser transferido de automático a manual hecho por el tiempo excesivo de voltaje.

1.4 Descripción del turbogenerador de 15,000 kw a instalarse:

En una turbina de acción y contrapresión modelo TM 15,000 bi-partida horizontalmente, con cuatro válvulas de regulación integradas en la parte superior de la caja de la turbina, accionadas independientemente por medio de cuatro servo motores hidráulicos garantizando excelente estabilidad de rotación y parcialización de la carga. La turbina dispone de una válvula de cierre rápido fijada en la caja superior accionada por cilindro hidráulico que permite la partida del conjunto bajo total control de la operación.

El conjunto rotor es formado por una rueda de regulación y un número adicional de etapas para lograr las condiciones de eficiencia garantizada. El rotor es soportado por un cojinete radial – axial con pastillas axiales y un cojinete radial con pastillas. El rotor es provisto de un buje de compensación par equilibrar el conjunto en relación a la presión de salida del vapor, reduciendo el empuje axial el sello es hecho por cintas tipo laberinto. La turbina es provista de aislamiento térmico y cubierta en plancha metaliza sellos en acero inoxidable son montados entre las etapas, en el eje y en los canales de los diafragmas.

El sistema de regulación de la turbina consiste en un regulador electrónico, apto para controlar la frecuencia del generador y permite operar en paralelo con la concesionaria y/o con otros turbo-generadores existentes, si es requerido.

Reductor de simple etapa marca Renk-Zanini, de dientes bi-helicoidales y ejes paralelos, caja en hierro fundido, bi-partida horizontalmente, ejes montados sobre chumaceras de deslizamiento de metal patente. Dientes tratados térmicamente, cementados y rectificadas de acuerdo con lo más regidos parámetros de calidad. Contactos entre dientes y chumaceras con aceite en circuito cerrado a presión.

Tabla No. 3 Condiciones de trabajo

Presión del vapor de entrada	Psig	850
Temperatura del vapor de entrada	°F	900
Caudal de vapor vivo	lb/hr	214,500
Consumo específico de vapor vivo	lb/kw	13
Presión de escape	Psig	20
Velocidad turbina	rpm	6,000
Velocidad de salida reductor	rpm	1,800
Potencia en los bornes del generador	kw	16,500
Tolerancia	%	3

Notas

- Sentido de rotación visto de la turbina hasta el generador anti-horario
- Eficiencia estimadas: 98.5% (para reductor), 97% (para generador) para 100% de carga.

Tabla No. 4 Materiales de la turbina

Partes de entrada de vapor	ASTM A217 WC6
Caja de la turbina	ASTN A 217 W C6
Rotor/eje	AISI/SAE 4340
Inyectores	AISI 410
Alabes	AISI 410
Partes internas de las Válvulas	SAE 4340 Nitrado
Revestimiento de las chumaceras	Metal patente
Tubería de aceite	ASTM A 53/SAE 1010

Tabla No. 5 Conexiones de vapor de la turbina.

Flanges de la turbina	PN LB	DN Pulgadas	NORMA
Entrada	900	10"	ANSI B 16.5
Salida	150	28"	ANSI B 16.5

Tabla No. 6 Reductor de velocidad

Modelo		Renk TA 63 N
Tipo		Engranaje/Ejes paralelos
Potencia		16,500
Rotación entrada/salida	KW	6,000/1,800
Relación de reducción	Rpm	3.333
Engranamiento tipo		Bi-helicoidal
Tratamiento de los dientes		Cementado y rectificado
Cojinetes		Deslizamiento/metal
Caja		patente
Factor de servicio AGMA		Hierro Fundido
Eficiencia considerada	%	1.3 98.5

Su carcasa bipartida horizontalmente es construida en acero especial fundido, capaz de resistir las mas diversas solicitaciones durante la operación, obedeciendo las normas que regulan la construcción de este tipo de máquinas.

En la parte superior se encuentra el bloque superior de válvulas, también construido en acero, donde de un lado es acoplada a la válvula de cierre rápido, responsable por el volqué de vapor, accionada por un sistema hidráulico manual, del otro lado es acoplado el servo-motor, que es comandado por el Regulador de velocidad electrónico que es responsable por la actuación de las válvula de regulación la cual controla el flujo de vapor de acuerdo con las necesidades de carga.

El conjunto del rotor es formado por seis discos de alabes siendo una rueda de regulación mas cinco etapas, por bujes espaciadores y de compensación, conjunto disparado de cierre rápido y anillos deflectores de aceite, acoplamiento y rueda de polos, todos fijados en un eje debidamente calculado. Todo el conjunto es construido en acero forjado especial que después de rigurosas pruebas de resistencia mecánica y ensayos no destructibles, recibe el tratamiento térmico controlado, alivio de tensiones y balanceamiento dinámico después de su montaje final.

El rotor es apoyado en sus extremidades sobre los cuerpos de cojinetes donde están montados los cojinetes: radial en la extremidad posterior y radial axial (o cojinete de escora) en la extremidad anterior.

Los esfuerzos axiales son reducidos al mínimo debido a un principio de pistón de compensación donde se consigue equilibrar el rotor en operación, compensando esfuerzos axiales que actúan sobre la rueda de regulación, evitando que partes del eje y del cojinete axial se dañen.

Fijados en la carcasa se encuentran los grupos expansores constituidos de inyectores y diafragmas dispuestos de modo de permitir el máximo aprovechamiento de vapor por parte del conjunto de alabes. En los diafragmas entre las etapas son montados anillos de separación o laberintos construidos en bronce especial.

La turbina es aislada con mantas de fibra de vidrio rellenas con lana mineral y sujeta en la carcasa de manera que puedan ser desmontadas y reutilizadas nuevamente.

Como recubrimiento final recibe una armazón de planchas de espesura fina (carenaje) con aperturas y cortes que facilitan la verificación de los instrumentos de control y mantenimiento de componentes.

Tabla No. 7 Bomba principal de aceite (acoplada al reductor)

Marca		Netzsch
Tipo		Fuso
Aceite		ISO VG 68
Accionamiento		Montada en el eje de baja rotación
Presión	Kgf/cm ²	8
Caudal requerido	L/min	1,270

Dispositivos de protección y seguridad

La turbina TM 15,000 posee varios tipos de dispositivos de seguridad, protección y advertencia instalados en puntos estratégicos, que garantizan total protección a la turbina, operadores y componentes comprendidos. Son responsables por el monitoreo constante de los equipos, programados para actuar instantáneamente a cualquier señal de anomalía durante la operación. Cada uno con sus particularidades, en funciones y locales diferentes, tienen como objeto común evitar daños de cualquier naturaleza.

Los dispositivos de protección y seguridad actúan de forma independiente aunque estén ínter ligados en algunas situaciones, poseen características propias en el lugar donde están instalados, teniendo funciones y límites predefinidos.

Otro punto común entre los dispositivos de seguridad es que la mayoría de ellos actúan sobre la válvula de cierre rápido de la turbina. Esta válvula es responsable por el bloqueo de entrada de vapor antes de la válvula de regulación haciendo que la turbina pare de funcionar inmediatamente.

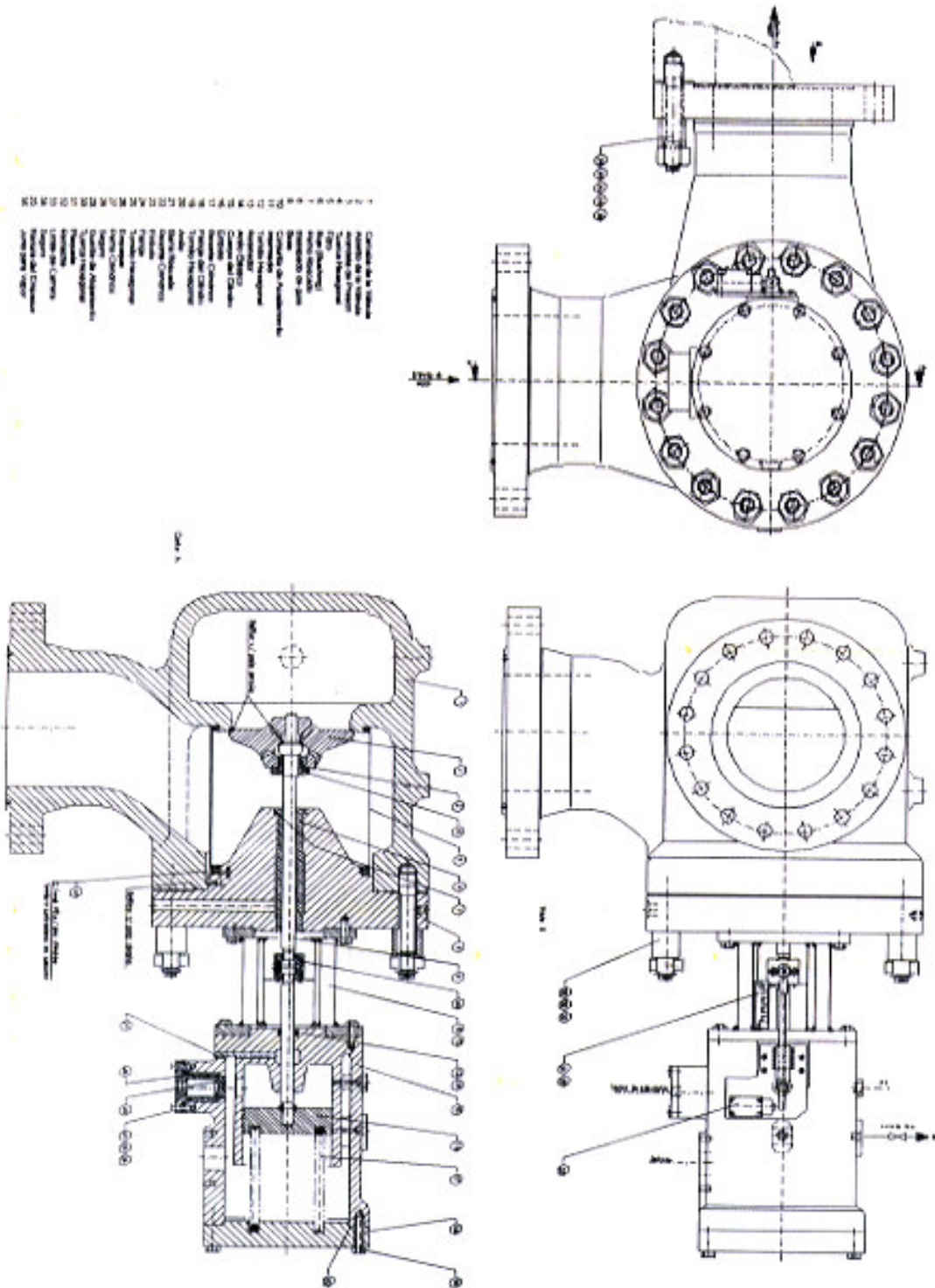
Sobre los dispositivos de desconexión (trip), que actúan sobre la válvula de cierre rápido podemos nombrar: disparador de cierre rápido, relé de cierre rápido, desconexión manual mecánico, desconexión manual eléctrico, presostatos electro-hidráulicos, válvula solenoide, válvula manual hidráulica y desconexión por sobre velocidad eléctrico.

Válvula de cierre rápido.

La válvula de cierre rápido se encuentra acoplada al bloque de válvulas en la parte superior de la turbina.

Es a través de ella que el vapor va a pasar antes de entrar en el sistema de regulación y posteriormente en la turbina. Responsable por la “parada rápida” de la turbina a través de varios dispositivos que actúan sobre ella, posee también la característica de librar el vapor de forma controlada por el operador y evitar que la turbina vuelva a operar en alta rotación. La válvula se muestra en la figura No. 12

Figura No. 12 Válvula de cierre rápido



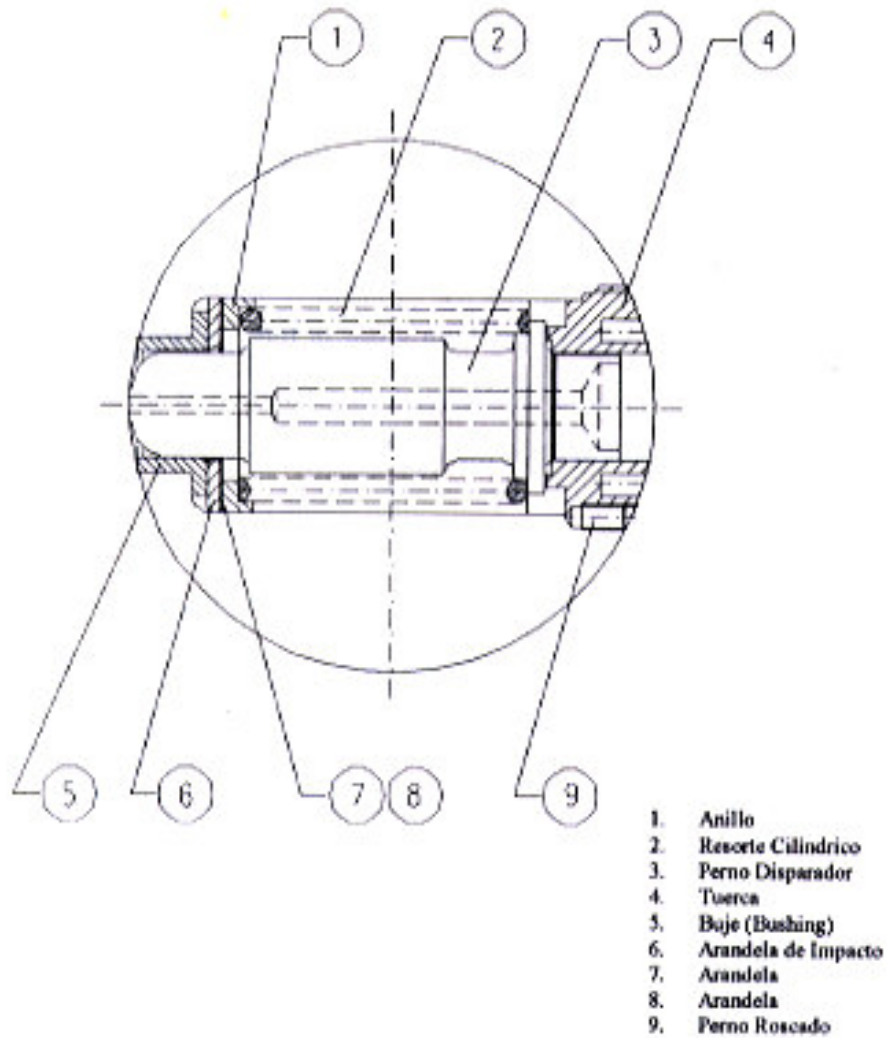
Disparador del cierre rápido

Este dispositivo de protección mecánico actúa todas las veces que la rotación de la turbina sobrepasa el límite estipulado de rotación (aproximadamente 10% sobre la rotación nominal), desarmando la turbina automáticamente.

El disparador del cierre rápido consiste en un vástago montado radialmente en el eje de la turbina. El buje sirve como guía del vástago y como alojamiento de la arandela. El plato del resorte se aloja y centra el resorte cilíndrico y se apoya en la arandela. El vástago es guiado por el buje y por la tuerca (esta es impedida de soltarse por el tornillo). La excentricidad del vástago en relación a la línea del centro del eje es determinada por una perforación en la línea del centro del vástago.

La regulación de la rotación del cierre rápido es afectada por las arandelas y que pre-tensionan el resorte, y con eso alteran la rotación del desarme. Esta será tanto mayor cuanto mayor sea la pre-tensión en el resorte y viceversa, en la figura No. 13 se ilustra el disparado del cierre rápido.

Figura No. 13 Disparador del cierre rápido



Funcionamiento

El vástago disparador es montado de manera que el centro de gravedad este fuera del centro del eje de la turbina. Hasta la máxima rotación nominadle la turbina el vástago es mantenido en su posición por la fuerza del resorte que equilibra la fuerza centrifuga generada por la excentricidad del vástago.

Al ser alcanzada la rotación del cierre rápido, prevalece la fuerza centrifuga sobre el resorte y el vástago sale de 4 a 5 mm radicalmente del eje y pega contra el disparador del relé de cierre rápido, accionándolo. Este, interconector hidráulicamente al cilindro de la válvula del cierre rápido, después de ser accionado, bloquea el pasaje de aceite desarmando la turbina.

Con la disminución de la rotación de la turbina, la fuerza centrifuga disminuye y prevalece la fuerza del resorte. El proyecto es hecho de tal manera que con cerca de 50% de la rotación nominal, el vástago retorna a su posición inicial.

Después de la corrección de los problemas que ocasionaron el desarme de la turbina (trip), rearmar el relé de cierre rápido y la válvula de cierre rápido, conforme el procedimiento de partida.

Relé de cierre rápido

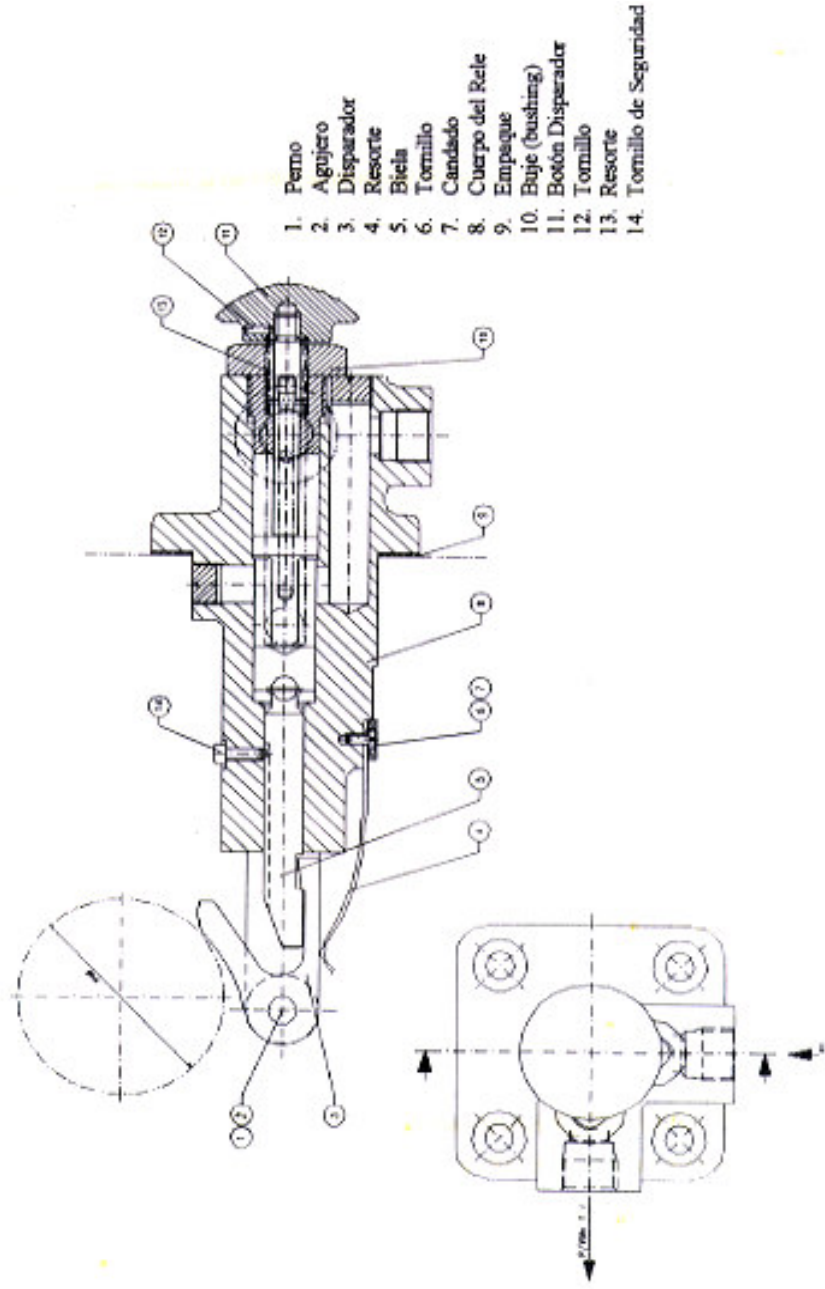
El relé de cierre rápido y el disparador de cierre rápido trabajan en conjunto dentro del sistema de desarme de emergencia de la turbina.

El disparador del relé accionado mecánicamente por el vástago del disparador del cierre rápido (cuando haya exceso de rotación), se desbloquea del émbolo principal que es automáticamente impulsado para atrás desarmando la turbina. Este movimiento instantáneo sucede porque el émbolo al ser armado, es forzado contra un resorte manualmente por el manipulador fijo en su extremidad. El émbolo es empujado a través de la carcasa del relé hasta que se encaja con el disparador que guiado por otro resorte, mantiene la posición del sistema armado.

Cuando se alcanza la rotación de trip o sobrevelocidad el vástago del disparador actúa sobre el disparador que se destraba rápidamente del émbolo, este forzado por un resorte en movimiento para bloqueando la entrada de aceite en el cilindro de la válvula de cierre rápido y simultáneamente descargándolo a través de orificios internos en la línea del retorno. Con la pérdida de presión de aceite principal, la válvula de cierre rápido es desarmada paralizando la turbina automáticamente.

Otra forma de desarmar el sistema a través del relé es usando el manipulador de desarme manual. Con un toque rápido y seco usando la palma de la mano sobre el manipulador es posible desencajar el émbolo del disparador y el principio se repite hasta el desarme de la turbina, el relé disparador se describe en la figura No. 14

Figura No. 14 Relé de cierre rápido



- 1. Perno
- 2. Agujero
- 3. Disparador
- 4. Resorte
- 5. Biela
- 6. Tornillo
- 7. Candado
- 8. Cuerpo del Relé
- 9. Empaque
- 10. Buje (bushing)
- 11. Botón Disparador
- 12. Tornillo
- 13. Resorte
- 14. Tornillo de Seguridad

Válvula Solenoide

Otro dispositivo importante para seguridad de la turbina es usada en el circuito hidráulico también actuando sobre la válvula de cierre rápido par el desarme de emergencia.

El tipo usado en este caso es la válvula 3 vías, normalmente cerrada en el voltaje de acuerdo con la alimentación local y tamaño, conforme las dimensiones del circuito hidráulico donde será montada.

Cuando la bobina es energizada, el émbolo sale de la posición de reposo y sube dando pasaje de aceite para el cilindro de la válvula de cierre rápido. Al ser desenergizada el émbolo baja bloqueando el flujo de aceite para el cilindro simultáneamente librando el aceite de la línea y del cilindro para retorno. En este funcionamiento, el desarme de la turbina es instantáneo.

Protección de turbogeneradores

Botones “Desarme de emergencia”

Estos dispositivos de protección están puestos próximos al panel de control de la turbina y en el panel central del control. Ellos actúan sobre las válvulas de cierre rápido para evitar una rotación descontrolada de la turbina. El desarme en estos es hecho a través de una válvula solenoide, y puede ser señalizada óptica o acústicamente.

La desconexión del generador (disyuntor) ocurre solamente cuando el relé de potencia inversa actúa, ó sea, cuando el generador pasa a funcionar como motor.

La desconexión de emergencia posee capacidad de auto enclavamientos, pudiendo basarse en dos principios de funcionamiento: corriente de trabajo y corriente de reposo, en la mayoría de las veces se da preferencia al primero.

Con el auto enclavamiento se atiende a dos condiciones básicas de seguridad:

- Después de soltar el botón, no es posible rearmar la(s) válvula(s) de cierre rápido
- Con el menor toque en el botón, desarma el sistema de cierre rápido

Solamente después de accionar la tecla liberadora se puede retornar a la condición de operación de la(s) válvula(s) de cierre rápido.

Válvula manual

El sistema también está provisto de una válvula de accionamiento manual para desarmar el sistema caso haya algún problema con los otros dispositivos de seguridad.

La válvula manual 3 vías también es montada en la línea donde se alimenta el cilindro de la válvula de cierre rápido. Así que detectado algún problema, estando el operador próximo a la turbina, se puede desarmar con un simple movimiento, girando la palanca de la válvula, bloqueando el flujo de aceite y parando la turbina.

Sistema de Regulación

El sistema de regulación está ubicado en la parte de la turbina y como el sistema de cierre rápido, también se acopla al bloque de válvulas.

El conjunto al cual también llamamos de válvula de regulación tiene por objeto controlar de acuerdo con la necesidad de carga, el flujo de vapor a ser enviado al interior de la turbina.

La válvula de regulación es compuesta de tres servo motores hidráulicos que actúan bajo impulso de aceite regulado, una varilla proyectada gradúa su apertura, librando el flujo de vapor en cantidad calculada y distribuida, conforme sus respectivos grupos.

El sistema básicamente hidráulico es accionado y el servomotor, -acoplado al vástago de la válvula por el acoplamiento- recibe el regulador de velocidad un impulso de aceite regulado. A medida que este impulso comienza a alcanzar la faja pre-establecida de presión (aproximadamente 28.5 a 57 Psig) el servomotor comienza a actuar moviendo la baía de la válvula en sentido de apertura haciendo que el vapor ya liberado por la válvula de cierre rápido, estando la maquina en operación varia abriendo o cerrando la válvula conforme la solicitud de carga interpretada y transmitida por el regulador.

El curso de apertura de la válvula de indicado por un disco fijo acoplado que se mueve en operación, sobre una escala o plaqueta graduada fijada en el intermedio de la válvula

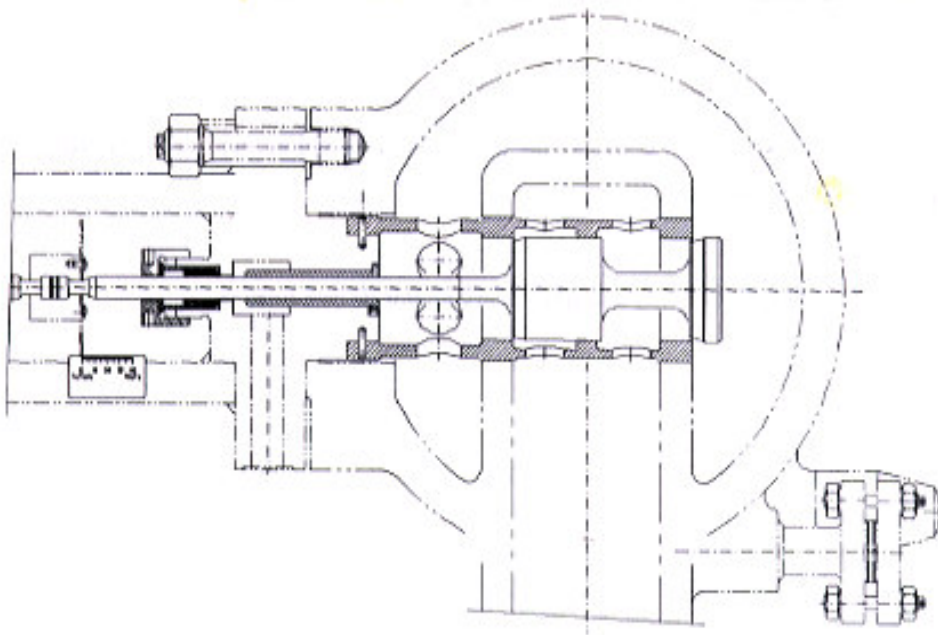
Válvulas de Regulación

La carcasa del bloque de válvulas posee en su interior divisiones de cámaras capaces de individualizar el flujo de vapor por grupos, de acuerdo con el caudal requerido por el grupo inyector respectivo. Son fijados a las paredes de estas cámaras los costos de las válvulas que sirven como guía del vástago del asiento para vedar el vapor.

El vástago también es guiado por un buje especial montado en el flange de agua interconectada a través de orificios con la cámara de drenaje.

El cesto, el vástago y el buje son fabricados en acero inoxidable de alta resistencia y alta temperatura, además de recibir tratamiento térmico y superficial, aumentando su resistencia a la corrosión y al desgaste por fricción, en la figura No. 15 se describen la válvula de regulación.

Figura No. 15 Válvula de Regulación



Regulador de Velocidad

El regulador de velocidad eléctrico / hidráulico tiene la función específica de convertir impulsos eléctricos enviados por sus sensores, en impulsos hidráulicos, corrigiendo con rapidez y precisión la velocidad de la turbina en relación con su variación de carga. Este sistema de control automático puede ser comandado y acompañado a la distancia a través de instrumentos y dispositivos propios.

Servomotor

El servo motor es un eslabón de unión entre el regulador de velocidad y las válvulas reguladoras de vapor. El es el responsable por el correcto posicionamiento de las válvulas, debiendo su actuación ser precisa y libre de oscilaciones

El servo motor opera según el principio de la retroalimentación, o sea, a cada posición del émbolo piloto corresponde apenas una posición del pistón. Cualquier eventual desvío es auto compensado.

Las figura No. 16 (a) y (b) describe el servomotor de esta turbina.

Figura No. 16 (a) Servomotor

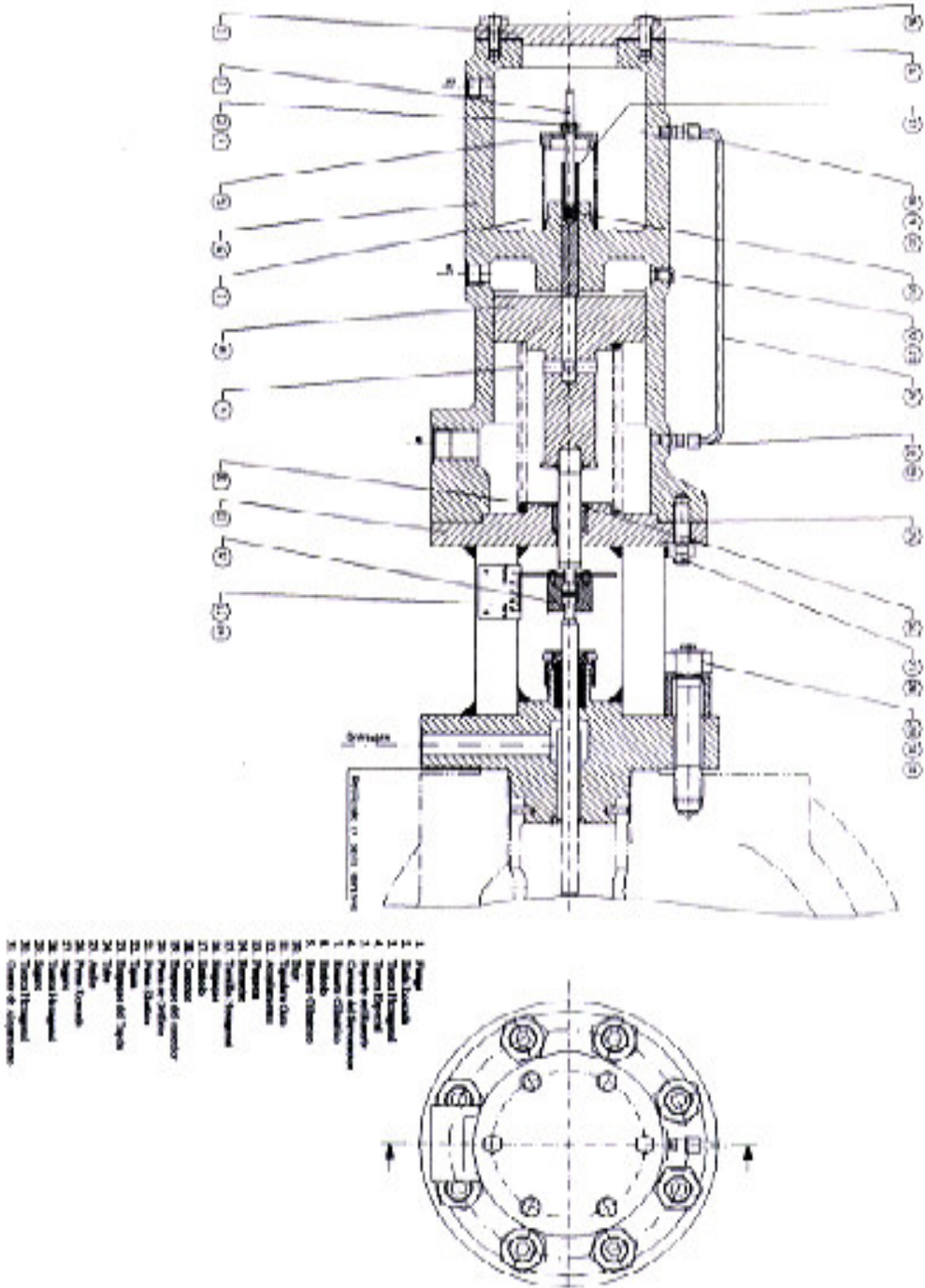
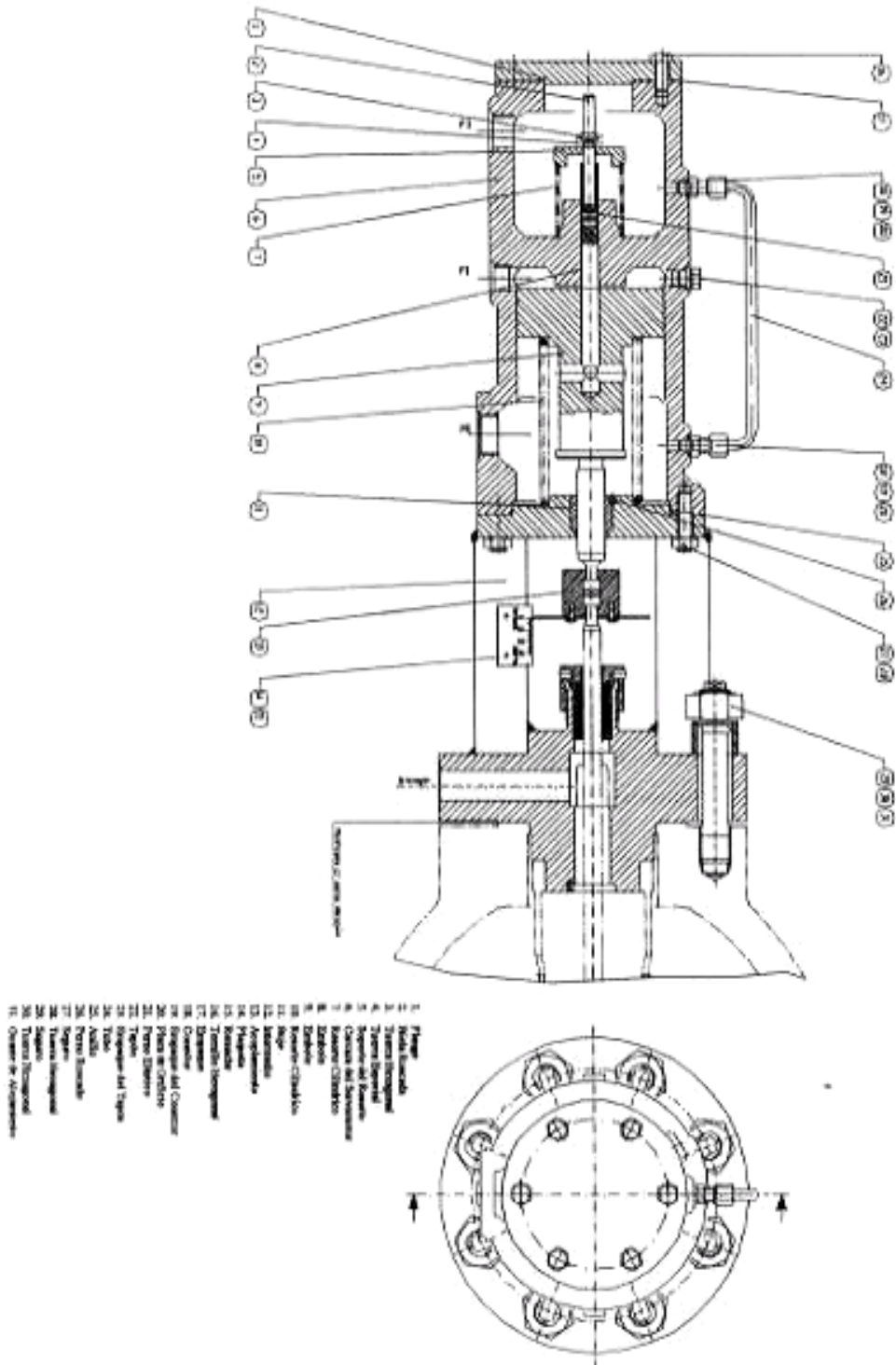


Figura No. 16 (b) Servomotor



Datos del Sistema hidráulico

Tabla No. 8 instalación hidráulica – Datos generales

Calidad de aceite	ISO VG 68
Presión del aceite de lubricación	57 Psig
Presión del aceite en los cojinetes Turbina	17-27 Psig
Reductor Renk TA 63 N	17-27 Psig
Temperatura del Aceite en los cojinetes	113°F
Temperatura del Metal patente	131-158°F 158-203°F

El tanque de aceite tiene una capacidad de 4,000 litros y con una circulación de aceite de 12 L/h.

Tabla No. 9 Bomba principal de aceite

Tipo construcción	Netzsch LN 82 / 140
Rotación de operación	Fuso
Presión de operación	1800 rpm
Caudal	142 Psig
Accionamiento	44.4 m ³ / h
Potencia	Redactor
Sentido de rotación (mirando para el eje de la bomba)	30 CV
	Antihorario

Tabla No. 10 Moto Bomba Auxiliar

Tipo	Netzsch LN 82 / 140
construcción	Fuso
rotación de operación	1750 rpm
Presión de operación	142 Psig
Caudal	43.2 m ³ / h
Accionamiento	Motor eléctrico
Potencia del motor	30 CV
tensión / Frecuencia	220 / 380 / 440 / 760 V/60Hz
Clase de protección	IP 54

Tabla No. 11 Turbo bomba de Emergencia

Modelo	Racine PFR 20350-A3-E3
construcción	Engranajes
Presión de operación	142 Psig
Caudal	12.1 m ³ / h
Accionamiento	Reductor
Potencia	5 CV
tensión	125 VCC
Clase de protección	IP 54

Tabla No. 12 Enfriador doble de aceite

Tipo	Evacon Duplex
construcción	Doble / casco-tubos horiz
Ares de Cambio	52.4 m2
Casco	383,134 Kcal/h
Caudal	Aceite
Presión de operación (g)	37.9 m3/h
Presión de prueba (g)	142 Psig
Temperatura de entrada	213 Psig
Temperatura de salida	140°F
Tubos	Agua
Caudal	76.6 m3/h
Presión de Operación	57 Psig
Presión de prueba (g)	128 Psig
Temperatura de entrada	90°F
Temperatura de salida	99°F

Sistema hidráulico

Cada uno de los equipamientos del conjunto turbo-generador necesita para su operación un suministro de aceite para lubricación y enfriamiento de los cojinetes, y en el caso de la turbina, para el sistema de regulación, debe ser colocado a disposición atendiendo las características de cada máquina. El sistema de aceite consiste básicamente de: deposito de aceite, bomba principal de aceite, bomba auxiliar de aceite, enfriador doble de aceite, filtro doble de aceite 25 μ y válvula reductora de presión.

Después de la salida de las bombas, el aceite pasa por el enfriador y filtro derivándose para las líneas de regulación y seguridad a una presión de 113 Psig y para el sistema de lubricación a presión de 57 Psig, después de pasar por una válvula reductora de presión.

Los cojinetes de la turbina y del generador son alimentados a través de placas de orificio en las líneas individuales de alimentación.

Todo el sistema de aceite es monitoreado rigurosamente por dispositivos que accionan la bomba auxiliar desarmando el turbo en situaciones críticas. Estos dispositivos también evitan la partida o rotación de la turbina cuando la presión del aceite es suficiente.

Tanque de aceite

El sistema hidráulico es equipado con un depósito de aceite con capacidad para 4,000 litros, instalado separadamente del conjunto turbogenerador. Internamente el tanque de aceite es separado por un tamiz y una plancha. Esta separación permite individualizar la succión de las bombas de aceite y el retorno del aceite de los equipamientos para el tanque, obligando el aceite a circulación en el tanque y a pasar por el tamiz antes de la cámara de succión. Este proceso envía que impurezas pasen para la cámara de succión, además de auxiliar el enfriamiento de aceite en movimiento y depositar partículas de impurezas en el fondo del tanque.

Estas impurezas son decantadas en el fondo de la cámara de retorno y con el auxilio de un fondo con inclinación para este punto podrá ser drenado con mayor facilidad.

El tanque posee un respiradero y un extractor de gases no condensables que son responsables por el retiro de aire y gases que son creados encima del nivel de aceite debido a la circulación del mismo.

Para minimizar esta formación de gases no condensables es previsto una tabulación interna de retorno de aceite que lo conduce horizontalmente y evita choques con el fluido almacenado.

La turbina es arrancada con una temperatura de aceite en el tanque superior a 77°F, si no se cumpliera esta condición el tanque es equipado con una resistencia de calentamiento que es conectada en el arranque.

Bombas de aceite

Son del tipo engranaje, siendo la bomba principal accionada directamente por el reductor y la bomba auxiliar acoplada a un motor eléctrico. Esta bomba cuenta con un conmutador de comando para la partida manual y automática.

Durante el arranque del conjunto turbo reductor, la lubricación y regulación son mantenidas por la bomba auxiliar, mientras en operación normal la bomba principal abastece todo el sistema.

Un eventual fase de para, cuando la presión de lubricación baja o cuando surge algún problema con la bomba principal, el presostato conecta la bomba auxiliar automáticamente.

Para situaciones de emergencia, o se, en fallas del sistema principal o cualquier incapacidad de la bomba auxiliar es previsto una moto bomba de emergencia para abastecer la lubricación de los cojinetes del turbo generador durante la parada de la turbina.

El conjunto se constituye de una bomba de engranaje accionada por un motor eléctrico de corriente continua, lo que garantiza su funcionamiento mismo con la ausencia de energía.

Como se nota, esta bomba solo tiene capacidad para abastecer el sistema de lubricación, no teniendo ninguna función de abastecer el sistema de regulación de la máquina lo que impide la operación de la turbina por la turbo bomba de emergencia.

El conjunto es accionado por una señal emitida por el presostato cuando la presión de aceite en la línea sea inferior a 50.7 Psig.

Enfriador de aceite

Esta previsto en la instalación hidráulica un enfriador doble de aceite instalado después de la salida de la bombas con el objeto de transferir el calentamiento del aceite generado por los cojinetes para el agua de refrigeración.

Se trata de dos intercambios de calos tipo casco / tubo en paralelo, quedando siempre uno en stand – by. Esto permite limpieza o mantenimiento sin que sea necesario parar la turbina. La conmutación es realizad por el volante que a través de una varilla, acciona dos válvulas esferas (entrada y salida de aceite). Antes de la conmutación es realizado el llenado y desaeración del intercambiador que entrara en operación para evitar choques en línea.

Después del enfriador de aceite una válvula termo estática que a una elevación de temperatura en la salida del aceite, abre la línea de salida de agua posibilitando un mayor caudal del fluido refrigerante.

Filtrado doble del aceite 25 μm

Dando secuencia al circuito hidráulico es instalado después del enfriador de aceite un filtro doble con grado de filtrado **25 μm** . El filtrado doble es intercambiable en operación con sistema de conmutación con volante y dos válvulas esferas sin interrupción de flujo.

Además de las conexiones de drenaje y desaeración los filtros poseen eliminadores de aire que evitan cualquier perturbación en el sistema de operación.

Válvula reductora de presión DN 80

Después de la salida del filtro doble de **25 μm** . El circuito se distribuye para el sistema de regulación, seguridad y lubricación. En este punto la presión de la línea es cerca de 114 Psig. Una válvula reductora proporciona una reducción de 114 a 57 Psig en la línea de alimentación de los cojinetes en condiciones nominales de operación.

Girando el tornillo en el sentido de apretar, se aumenta la presión de lubricación y viceversa.

Como todas las piezas móviles están inmersas en aceite, no hay desgaste en operación siendo las válvulas prácticamente exentas de mantenimiento.

Calidad del Vapor

Las incrustaciones en las turbinas provocadas por vapor contaminado pueden llevar a perturbaciones termodinámicas y mecánicas como por ejemplo quebra de los álabes.

El costo del tratamiento del agua es relativamente bajo comparado con los daños provocados por las incrustaciones debido a la presencia de impurezas. En la tabla No. 13 se indican los valores máximos

Tabla No. 13 Valores de referencias para la calidad del vapor

PARAMETROS A 850 PSI	MINIMO	MÁXIMO
Ph Caldera	10.1	10.4
Alcalinidad OH (ppm)	25	75
Alcalinidad Total (ppm)	100	200
Sulfitos (ppm)	10	20
Fosfatos (ppm)	10	20
Sólidos Totales (mmhos)	0	500
Silicatos (ppm)	0	20
Ph vapor	8	9
Dureza (ppm)		0

Manteniendo la calidad del vapor como se menciona arriba, prácticamente no se observaran incrustaciones en el rotor de la turbina, los lavados se hacen innecesarios.

Es importante notar que los valores arriba deberán presentar una tendencia a que se reduzcan mas aun después de la primera semana de operación continua.

El mantener estos índices no garantizan la completa excepción de depósitos e incrustaciones, pues los factores que envuelven estos procesos no son de todos conocidos, sin embargo ellos permiten una operación segura y confiable.

Preparación de la Tubería de Vapor

Para garantizar un buen funcionamiento de la turbina y evitar daños a los álabes es necesario retirar los cuerpos extraños (partículas de soldadura principalmente) retenidos en las turbinas de vapor vivo o en la caldera antes del primer arranque.

La limpieza es hecha por soplado de vapor, en ambiente abierto.

Proceso de soplado

- Retirar la tubería de vapor antes de tamiz de vapor y desviarla para afuera.
- En la salida de vapor, hay una distancia de 0.3 a 0.5 mm, se coloca una plancha (aluminio o cobre pulido de 200 x 200 mm) simétrica con relación a la línea del centro del Angulo recto con relación al flujo de vapor. Se utiliza la plancha en los demás soplados de tubería de vapor.
- Con 80% de la presión y la temperatura nominal del vapor, se sopla la tubería de vapor por aproximadamente 10 minutos para la atmósfera.
- Se examina la plancha arriba mencionada, si es necesario se usa una plancha nueva.

- Se deja enfriar la tubería de vapor.
 - 30 a 60 minutos, si esta sin aislamiento
 - 180 a 240 minutos, si esta con aislamiento.

Un buen enfriamiento es importante, pues la contracción y expansión (calentamiento) hace que las partículas adheridas se suelten.

- Realizar nueva soplado
- Los impactos en la plancha disminuyen, caso contrario suceden impactos grandes y aislados, el soplado debe ser repetido.

Verificación del grado de limpieza

- Se localiza la región de mayor densidad de impactos en la planta.
- En esa región se cuentan el numero de impactos por cm²
- La tubería es considerada limpia cuando hay máximo dos impactos por **cm²**, en la región más densa y cuando hay impactos grandes y aislados.

Tamiz de vapor

En la entrada de vapor de la turbina existe un tamiz que debe ser inspeccionado y limpio en toda revisión.

Caso el grado de limpieza no puede ser alcanzado, se instala antes de la turbina una malla (filtro) con malla fina. Esta malla es removida después de 4 a 6 semanas.

Especificaciones del aceite para la turbina de vapor

Para el sistema de regulación y lubricación, deberá ser utilizado aceite mineral refinado.

Aceite de sustancias activas

Contiene sustancias de protección contra el envejecimiento y corrosión así como eventualmente sustancias adicionales para evitar la espuma.

Los turbogrupos con engranajes sometidos a alta carga, puede tomarse necesario aceite con aditivos EP para aumentar la capacidad de carga específica.

Lavado (“flushing”)

El lavado con aceite tiene por finalidad remover los residuos de decapaje y las contaminaciones introducidas. Para el lavado deber ser usado el mismo tipo de aceite que para el funcionamiento de la turbina. Se utiliza cerca de 35 a 40 % del volumen normal en servicio. La bomba de aceite auxiliar deberá ser puesta en operación y los tamizes del tanque de aceite permanezcan montados. La temperatura del aceite de lavado debe estar si es posible entre 60 a 70°C. Esta faja de temperatura favorece la disolución de las contaminaciones. Calentar el aceite por medio de serpentín o por el propio intercambiador del calor de la instalación. Para calentamiento se utiliza agua caliente o vapor de baja presión

Muestra de aceite

Se toma la primera muestra de aceite después de 2 días de funcionamiento y se envía al fabricante del aceite para análisis. Después, se toman muestras trimestrales o a cada 3,000 horas de funcionamiento.

La decisión del intervalo de cambio de aceite cabe al fabricante del aceite, con base en las muestras enviadas para análisis.

1.4 Comparación Costo – Beneficio

El turbogenerador de 15,000 kw que actualmente esta instalado se utiliza en período de zafra y el vapor de escape de 20 PSI, es enviado al proceso de la producción de azúcar, este turbogenerador tiene una eficiencia de 22 lbs de vapor /kw y tendríamos un consumo de vapor de 330,000 lb de vapor. Debido a la necesidad de aumentar la eficiencia de los procesos y así tener una reducción en los costos de operación dentro del ingenio se ha tomado la decisión de llevar acabo el montaje del nuevo turbogenerador.

Para lograr una mejor eficiencia se ha decidido instalar un turbogenerador TGM de 15,000 kw, que opera a 850 PSI y 900°F con una eficiencia 13.2 lbs de vapor/kw, consumiendo una cantidad de vapor de 198,000 lbs de vapor, el cual al ser comparado con la unidad de 15,000 kw que actualmente esta operado en el ingenio con una eficiencia de 22 lbs de vapor/kw, nos da una diferencia considerable en el consumo de vapor que nos ayudaría a lograr las metas trazadas al incrementar la eficiencia en la utilización del vapor, dicha eficiencia nos ayudaría a utilizar menos bagazo en los generadores de vapor (calderas).

Para dicho montaje se tuvo que modificar la caldera 6 aumentando sus capacidades de presión de vapor 600 PSI a 850 PSI, la temperatura de vapor de 750°F a 900°F, con este montaje se pretende más ahorro de bagazo de bunker C disminuya así el consumo de este combustible en este generador de vapor que lleva el nombre de caldera 5, lo cual nos disminuirá los costos de operación del turbogenerador de 25,000 kw.

En la caldera 5 se quemaba bagazo pero era muy poco, a lo cual se hará referencia mas adelante.

La razón promedio de molida en el ingenio es de 730 toneladas de bagazo y el porcentaje promedio de bagazo en la caña es del 27% el total de bagazo en lbs/hr en la caña es de 394,200 lbs/hr, se utiliza el 95% del bagazo el consumo en las calderas y el 5% para la reserva en las bodegas de bagazo, por lo tanto se obtienen los siguientes resultados:

374,490 lbs/hr de bagazo para consumo en las calderas

19,710 lbs/hr de bagazo para reserva en las bodegas de bagazo

Antes de las modificaciones se contaba con las siguientes características en los generadores de vapor, mostradas en la tabla No. 14:

Tabla No. 14 Características de los generadores de vapor antes de las modificaciones.

Calderas	Lb.vap/lbBag	Vapor(lb/hr)	Bag.(lb/hr)
C-1	2.20	130,000	59,091
C-4	2.14	100,000	46,729
C-6	1.85	211,000	114,054
C-7	1.87	230,000	122,995
Consumo Total de Bagazo en las calderas =			342,869

El bagazo hacia la caldera C-5 del turbogenerador de 25,000 kw se da de la diferencia del bagazo total menos el consumo de bagazo en las calderas, dando los siguientes resultados:

$$374,490 - 342,869 = 31,621 \text{ lbs/hr de bagazo}$$

La caldera 5 tiene una eficiencia de 2.14 lb.vap/lb.Bag y una eficiencia en la turbina de 10.5 lb.vapor/kwh no importa si es con bagazo o con bunker.

Al multiplicar la cantidad de bagazo a la caldera 5 por la eficiencia de la caldera da el siguiente resultado:

$$(31,621) * (2.14) = \mathbf{67,669 \text{ lbs de vapor con bagazo}}$$

Entonces la generación con bagazo se da de la división de las libras de vapor con bagazo entre la eficiencia de la turbina, dando el siguiente resultado.

$$(67,669) / (10.5) = \mathbf{6,445 \text{ kw con bagazo}}$$

De los 25,000 kw que genera el turbogenerador 18,555 kw son con bunker c y 6,445 kw son con bagazo, el consumo específico durante la zafra es de 10.74 kw/gl de bunker

El consumo de bunker total sin bagazo en la caldera 5 es de 45,500 gls, al tener una generación con bagazo de 6,445 kw en base al consumo específico se obtiene un ahorro de bunker siguiente.

$$(6,445) / (10.74) = \mathbf{600 \text{ gls de bunker/hr}}$$

En 24 horas da un ahorro de 14,402 gls, utilizándose únicamente 31,098 gls de bunker para generar los 25,000 kw.

El precio del galón de bunker esta aproximadamente a Q.5.00 y si se multiplicaran por los 45,500 gls de bunker que se utilizan nos da un gasto de Q.27,5000.00 pero como solo se van a utilizar 31,098 gls de bunker el gasto baja a Q.115,490.00 teniéndose un ahorro de **Q.72,010.00** por día.

Con las modificaciones realizadas en la caldera 6 las características en los generadores de vapor son como se muestran en la tabla No. 15.

Tabla No. 15 Características de los generadores de vapor después de las modificaciones.

Calderas	Lb.vap/lbBag	Vapor(lb/hr)	Bag.(lb/hr)
C-1	2.20	130,000	59,091
C-4	2.20	95,000	43,182
C-6	2.18	198,000	90,826
C-7	1.90	230,000	121,053
Consumo Total de Bagazo en las calderas =			314,152

El total de bagazo que va hacia la caldera 5 es el siguiente:

$$374,490 - 314,152 = \mathbf{60,338 \text{ lbs/hr de bagazo}}$$

La cantidad de lbs de vapor generado con bagazo es la siguiente, en base a la eficiencia de la caldera 5 y la eficiencia de la turbina

$$(60,338) * (2.14) = \mathbf{129,123 \text{ lbs de vapor con bagazo}}$$

Entonces la generación con bagazo es la siguiente:

$$(129,123) / (10.5) = \mathbf{12,297 \text{ kw con bagazo}}$$

De los 25,000 kw que genera el turbogenerador 12,703 kw son con bunker C y 12,297 kw son con bagazo, el consumo específico durante la zafra es de 10.74 kw/gl de bunker.

Al tener una generación con bagazo de 12,297 kw y tomando siempre en cuenta el consumo específico se obtiene un ahorro de bunker siguiente:

$$(12,297)/(10.74) = \mathbf{1,145 \text{ gls de bunker/hr}}$$

Como en 24 horas se da un consumo total de bunker normal de 45,500 gls, al realizar la diferencia de cuantos galones de bunker se ahorran en 24 horas al utilizar como combustible el bagazo en la caldera 5, da un ahorro de 27,480 gls, utilizándose únicamente 18,020 gls de bunker para generar los 25,000 kw.

El precio del bunker esta aproximadamente a Q.5.00 si se multiplicaran por los 45,500 gls de bunker que se utilizan nos da un gasto de Q227,500.00 pero como solo se van a utilizar 18,020 gls de bunker el gasto baja a Q90,100.00 teniéndose un ahorro de **Q137,400.00** por día

En conclusión se puede decir que el montaje de este nuevo turbogenerador TGM de 15,000 kw y la modificación de la caldera 6, nos dejaría mejores ganancias para el Grupo Corporativo Santa Ana, quemándose mas bagazo en la caldera 5 que utilizar bunker para enviarle vapor al turbogenerador de 25,000 kw disminuyendo de esta manera el consumo de bunker en la caldera, haciendo mas bajos los costos de operación de este turbogenerador de 25,000 kw.

2. MONTAJE DEL TURBOGENERADOR

2.1 Descripción del Montaje

2.1.1 Estructura para la Base del Turbogenerador

Los turbogeneradores pueden arreglarse mas convenientemente en una cimentación estructurada con marcos, que en una cimentación masiva. La localización de las redes de tuberías, lumbreras, alumbrado eléctrico, etc., puede llevarse a cabo fácilmente a través de la propia estructura. Este tipo de cimentación permite, además el acceso a inspección a las diversas partes de la máquina y facilita el servicio y mantenimiento del equipo.

En relación con el comportamiento estructural, resulta que los hundimientos diferenciales en las cimentaciones masivas, debido a su extremada rigidez a la flexión, frecuentemente dan lugar a agrietamientos que no son usuales en una cimentación de marcos correctamente reforzada.

El efecto de los asentamientos producidos por la sobrecarga, se disminuye en las cimentaciones estructuradas, como consecuencia del menor peso de la cimentación y por la compensación parcial implícita en la excavación que se realiza para localizarla. En la figura No. 17 (a), (b) y (c) se detalla la cimentación de esta estructura donde va motado este turbogenerador con reductor.

Figura No. 17 (a). Cimentación de estructura del turbogenerador.

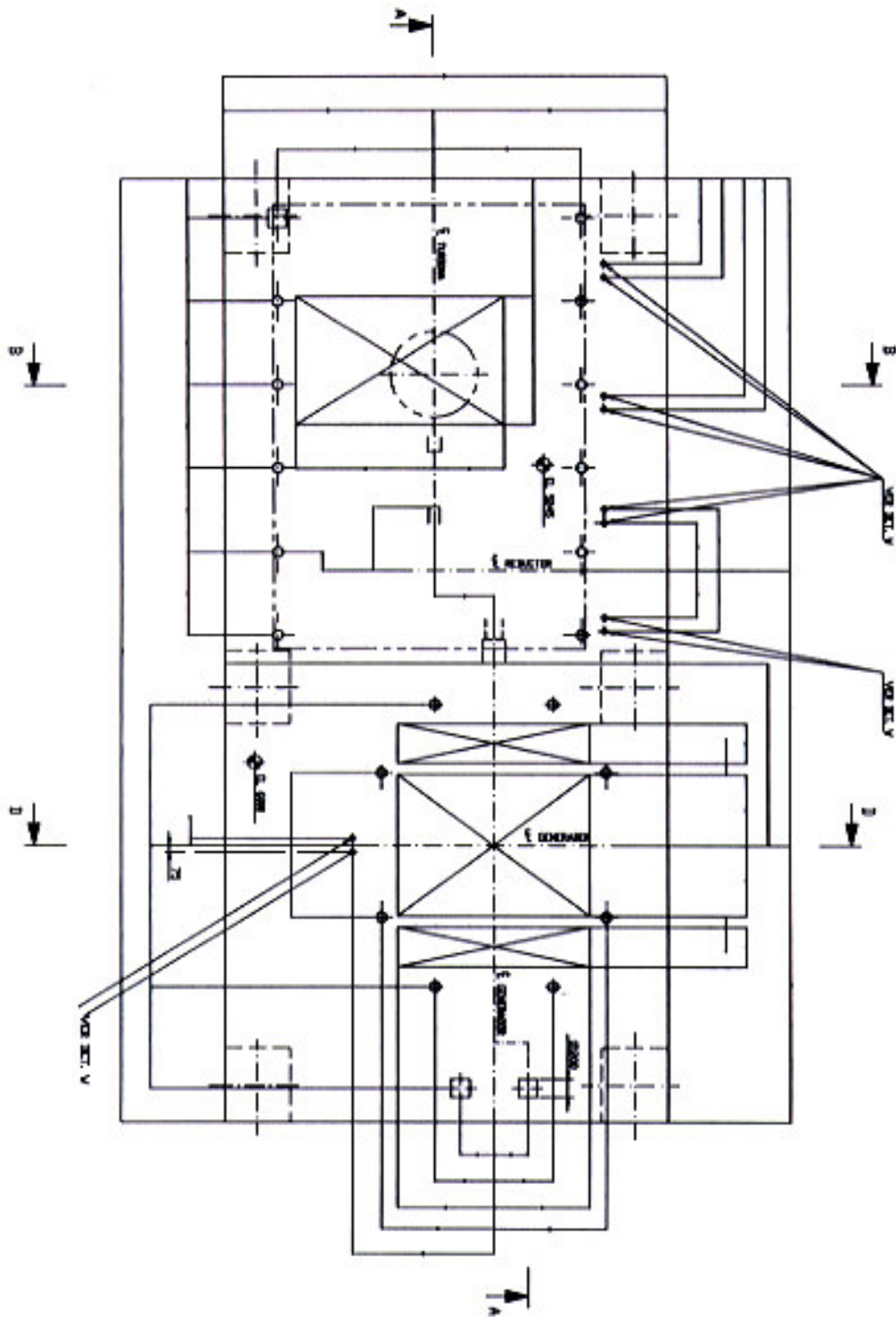


Figura No. 17 (b). Cimentación de estructura del turbogenerador.

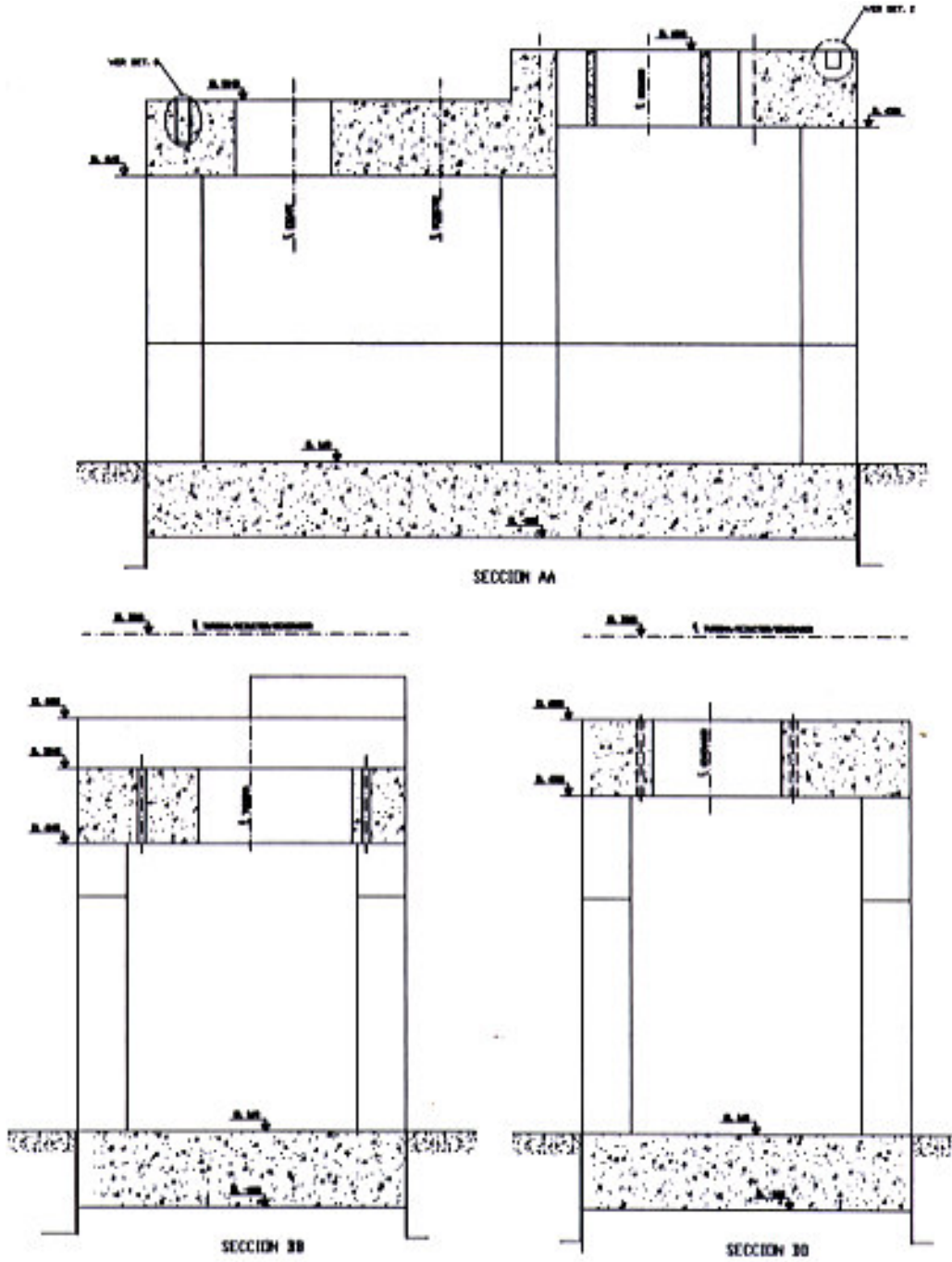
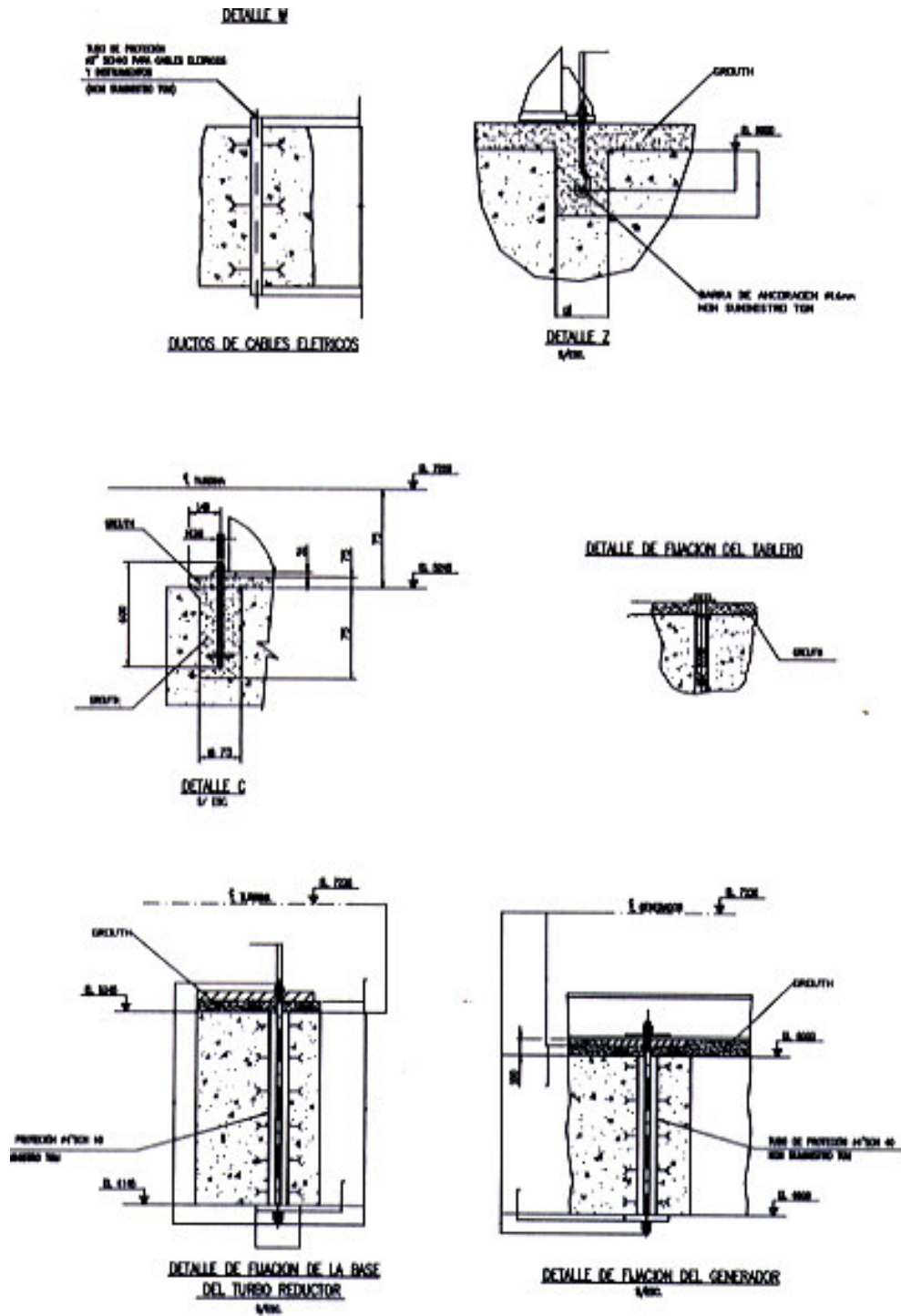


Figura No. 17 (c). Detalles de la cimentación del turbogenerador.



Los datos que se requirieron para este diseño fueron los siguientes:

- Diagrama dimensional y de localización de equipos accesorios.
- Diagrama de la red de tuberías, canales, ranuras, aberturas, anclajes, placas, etc.
- Diagrama de localización y magnitud de las cargas estáticas y dinámicas sobre la cimentación.
- Potencia y velocidades de la máquina.

Se tomaron algunas consideraciones para el diseño de esta estructura con marcos y que son las siguientes:

- Se empotró la estructura de marcos en una losa de cimentación gruesa, generalmente la estructura debe llevar 3 o mas marcos.
- Los marcos rígidos se fijaron en dirección perpendicular a su plano, a través de largueros longitudinales y de la plataforma superior.
- La geometría general de la estructura de cimentación, las secciones de largueros, marcos, refuerzos, etc., están simétricos respecto al plano vertical que pasa por el eje de la máquina.
- El plano de los marcos esta perpendicular al eje de dotación de la máquina.
- La cimentación esta separada de los turbogeneradores y del piso del cuarto de máquinas, con el objeto de evitar transmisión de vibraciones al propio piso y al edificio en general, sobre todo en máquinas de alta frecuencia.
- Los soportes y chumaceras del turbogenerador están perfectamente ajustados. Las flechas de transmisión están directamente horizontales.
- La rigidez de la losa donde esta asentada la estructura con marcos del turbogenerador es de un espesor de 2 mts para evitar asentamientos diferenciales.

Se tomaron los siguientes aspectos constructivos en la fundición de la estructura de marcos del turbogenerador:

- El concreto utilizado es de consistencia plástica (reventamiento de 10 a 12 cm).
- Se empleo esta mezcla en las columnas y plataformas, se llevo un estricto control de la uniformidad.
- El concreto fue colocado en capas horizontales y en forma ininterrumpida.
- El concreto fue colocado directamente sobre la cimbra, no dejándose caer de una altura excesiva para evitar que ocurra segregación.

Instrumentos de Montaje

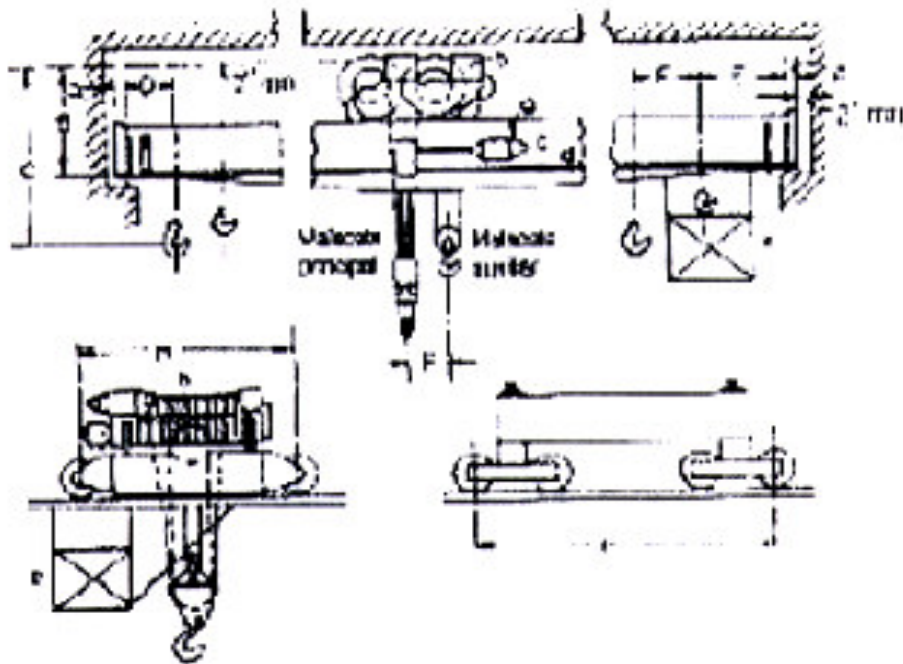
Para este montaje se utilizaron maquinaria y equipo de trabajos pesados, este turbogenerador venia en tres partes: turbina, reductor y generador, por lo cual se utilizó los siguientes equipos y maquinaria.

Grúa Viajera Eléctrica

La grúa viajera eléctrica que se utilizo en este montaje es del tipo de doble riel tal como lo muestra la figura No. 18 y consta en dos vigas puente **(a)**, en la parte superior de las cuales están los rieles sobre los que rueda la unidad compacta de izamiento **(b)** integral, llamada trole cargador. Las vigas están soportadas en los extremos por carros con dos o cuatro ruedas, según el tamaño de la grúa. La grúa se mueve a lo largo de la vía por medio del motor **(c)** a través del árbol (flecha) **(d)** y se engrana a las ruedas del carro. La cabina **(e)** del operador esta suspendida de las vigas en uno de los lados y en ella se encuentran el controlador o interruptores maestros, el cilindro maestro del freno hidráulico, los dispositivos de alarma, etcétera. Las vigas puente para las grúas pequeñas son del tipo de viga “I” pero en los claros grandes se usan vigas de caja para darles rigidez torsional y lateral.

Las vigas están unidas en forma rígida a los bastidores de extremos de los carros, los cuales llevan ruedas de doble pestaña o ceja para soportar el puente. Los bastidores de extremo sobresalen de los rieles, de modo que en caso de rotura de una rueda o un eje, el bastidor descansa sobre el riel e impide la caída de la grúa. Uno de los ejes de rueda en cada carro tiene engranes para impulsar la grúa y está acoplado directo con el árbol que transmite la potencia hasta el reductor de engranes.

Figura No. 18 Grúa viajera eléctrica

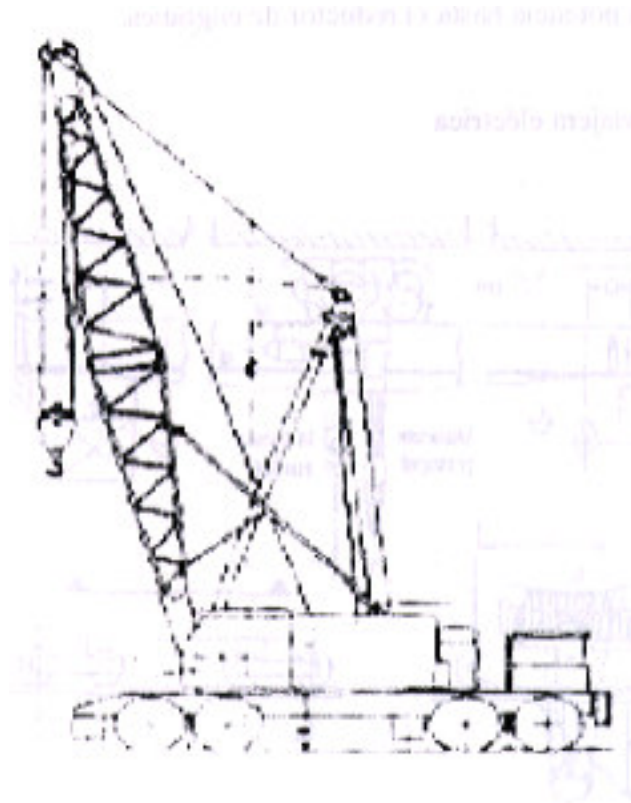


Grúa automóvil hidráulica

Esta motogrúa hidráulica es de 65 toneladas de capacidad marca P & H, modelo T650, equipada con una pluma telescópica hasta de 105 pies mas una extensión de 45 pies dando un total de 150 pies de pluma, tal como lo muestra la figura No. 19 tiene cuatro ejes, dos cabinas; donde la grúa se controla desde la cabina superior.

Las extensiones hidráulicas ahorran el tiempo para montaje y permiten el traslado de un trabajo a otro.

Figura No. 19 Grúa automóvil hidráulica



Malacates de cadena accionados manualmente

Los malacates de cadena de accionamiento manual son aparatos portátiles para levantamiento, suspendidos de un gancho y accionados a mano con una cadena. Se emplean para diversos trabajos de levantamiento y suspensión, en especial para construcción, montajes y mantenimiento, y están disponibles en capacidades hasta de 50 toneladas con distancias casi ilimitadas para levantamiento. Tipo principal mas empleado es el malacate de alta velocidad que se muestra en la figura No. 20.

Figura No. 20 Malacate de cadena de alta velocidad



Proceso de Montaje

El proceso del montaje se realizó en tres etapas, los montajes fueron hechos con la motogrúa hidráulica descrita anteriormente, la primera etapa fue el montaje de la turbina y tanque de aceite, ambos venían ya unidos, la segunda fue el montaje del generador y la tercera etapa que fue el montaje del reductor.

Montaje de la turbina-tanque de aceite

Como se muestra en la figura No. 21 la turbina tiene incorporado de una vez su tanque de aceite, para este montaje se utilizó la motogrúa hidráulica, se utilizaron también cables de acero de alta resistencia de 1-1/2" pulgada de diámetro.

Se tuvo que medir el área donde entraría la motogrúa debido a que antes de iniciar el levantamiento de la carga dicha grúa saca por sus extremos unos brazos que se asientan en el suelo, las características de esta grúa se describen en la sección 2.1.2.

Antes de asentar la turbina-tanque de aceite se colocan sobre la base unos bloques de acero de una medida de 3"x3"x6" para que sea más fácil la nivelación.

Cuando la turbina-tanque de aceite estuvo en su posición se aseguro con sus pernos de anclaje para mayor seguridad.

Montaje del generador.

Se utilizó también la motogrúa hidráulica para este montaje y como ya se tenía la grúa en su posición cuando se realizó el montaje anterior únicamente se procedió llevar el generador hacia la base, se utilizaron siempre cables de acero de alta resistencia de 1-1/2" de diámetro.

Se utilizaron también bloques de acero de 3"x3"x6" para asentar el generador en la base para hacer mas fácil la nivelación, cuando el generador estuvo en su posición en la base se aseguro con sus pernos de anclaje como se muestra en la figura No. 22.

Figura No. 21 Posición del generador en la base.

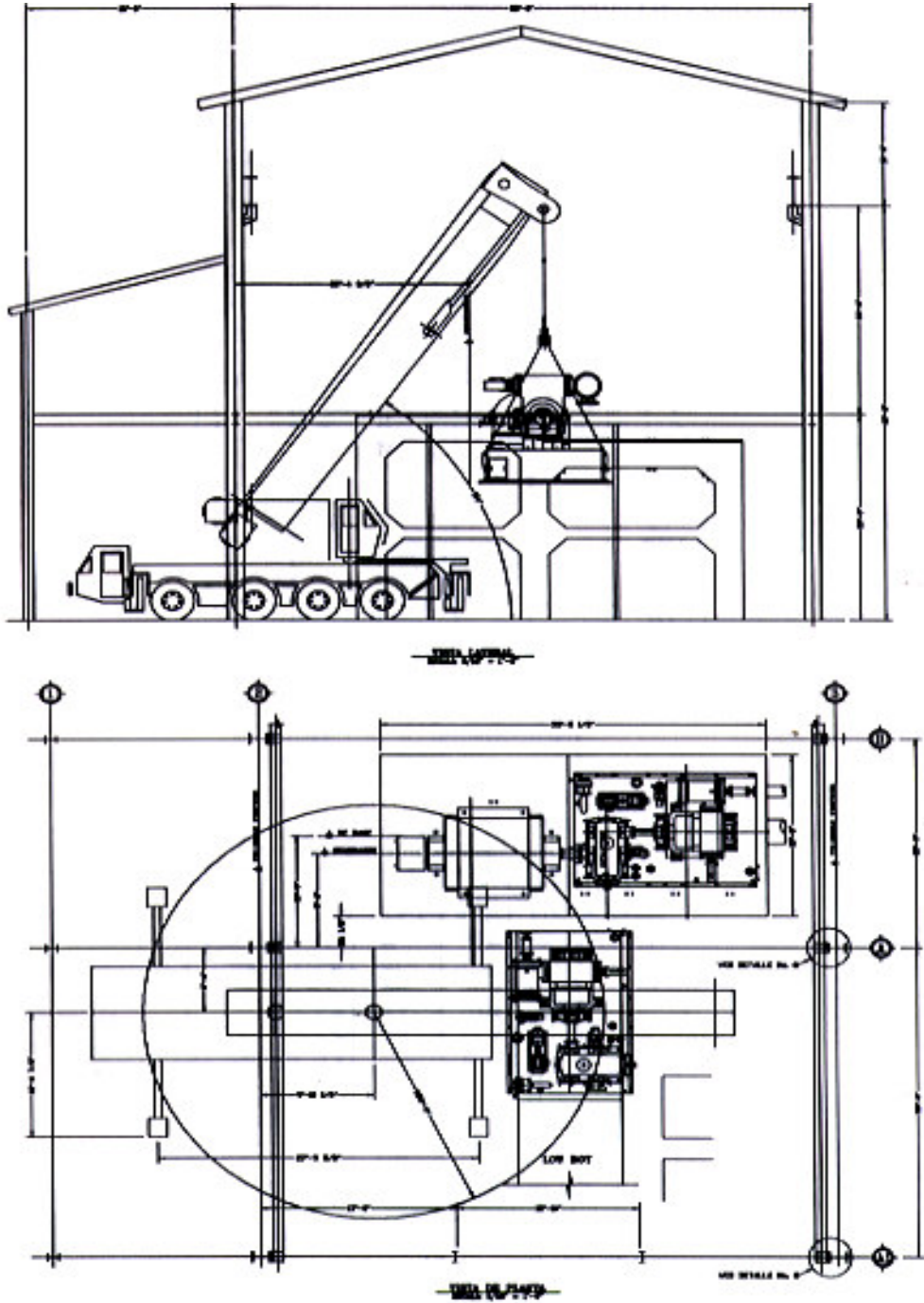
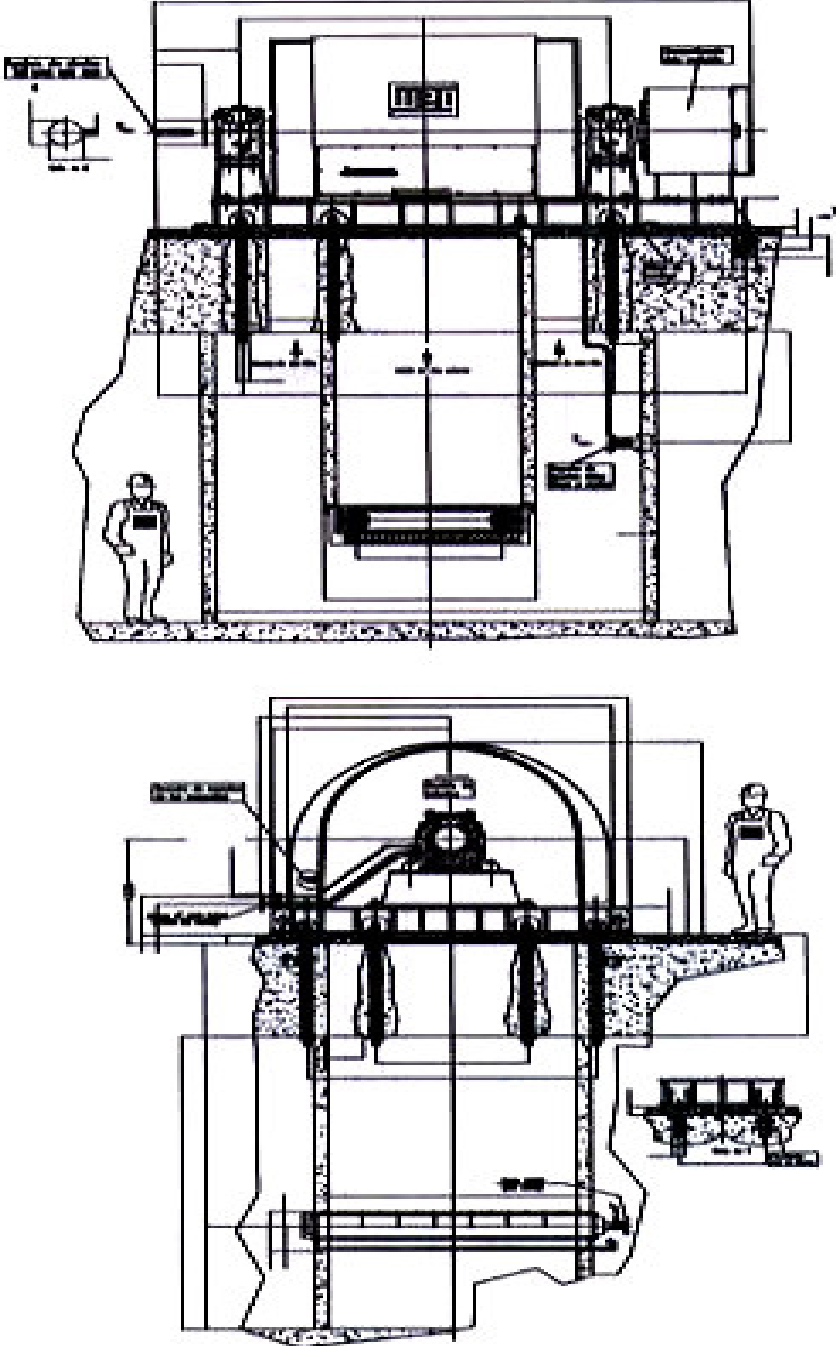


Figura No. 22 Aseguramiento con pernos de anclaje



Montaje del reductor.

El montaje del reductor se realizó con la grúa viajera eléctrica se utilizaron cables de acero de un diámetro de 1", este reductor va exactamente arriba del tanque de aceite entre la turbina y el generador, el reductor va atornillado al tanque de aceite por medio de dos flanges y tiene que ir perfectamente alineado con la turbina y generador para así evitar problemas de vibración y daños en el reductor, la descarga de su aceite de lubricación cae directo al tanque de aceite.

2.2 Alineamiento, Nivelación y Calibración

2.2.1 Instrumentos de Medición

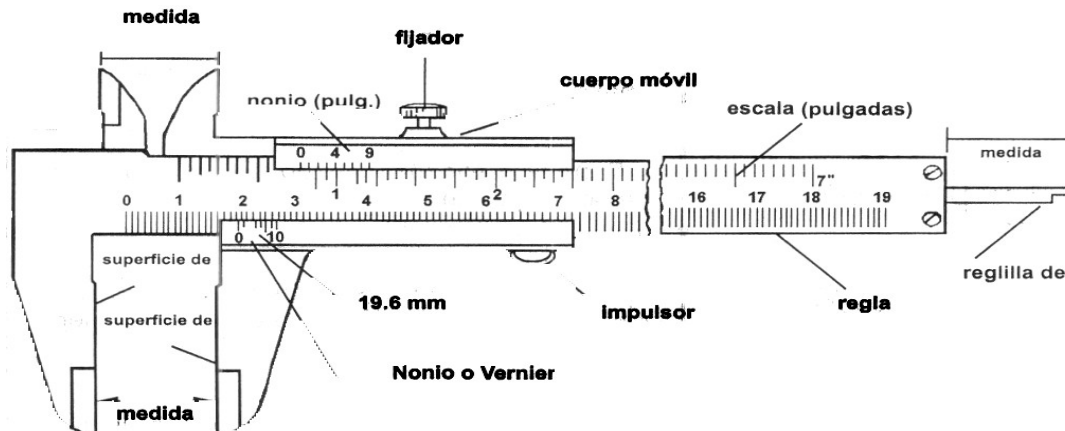
Se utilizaron diferentes instrumentos para el alineamiento, nivelación y calibración de este turbogenerador y a continuación se detallan los más utilizados:

Calibrador Vernier

Es un instrumento para medir longitudes internas, externas y de profundidad que permite lecturas de fracciones de milímetro y de pulgada, a través de una escala llamada Nonio.

Se utiliza para hacer mediciones con rapidez, en piezas cuyo grado de precisión es aproximado hasta de 0.1 milímetros, $1/128''$ ó $0.001''$, según el tipo de calibrador. El calibrador Vernier esta compuesto de dos partes principales: cuerpo fijo y cuerpo móvil. En la figura No. 23 se detalla las partes del calibrador vernier.

Figura No. 23 Partes del Calibrador Vernier

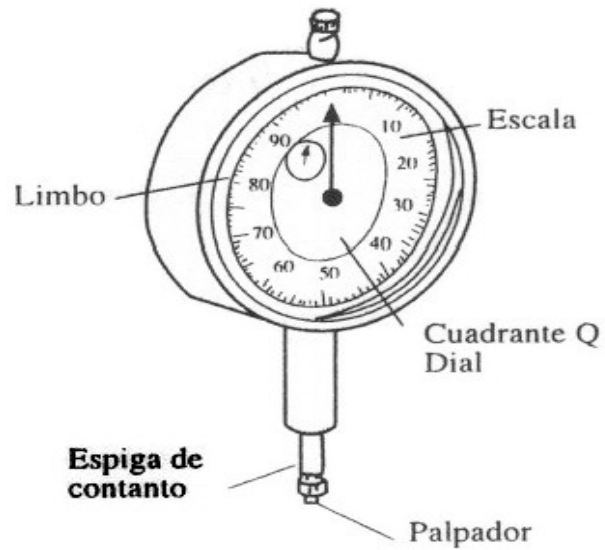


Indicadores de Carátula

El indicador de carátula es un instrumento de precisión y de gran sensibilidad. 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 perfección del acabado de piezas de precisión.

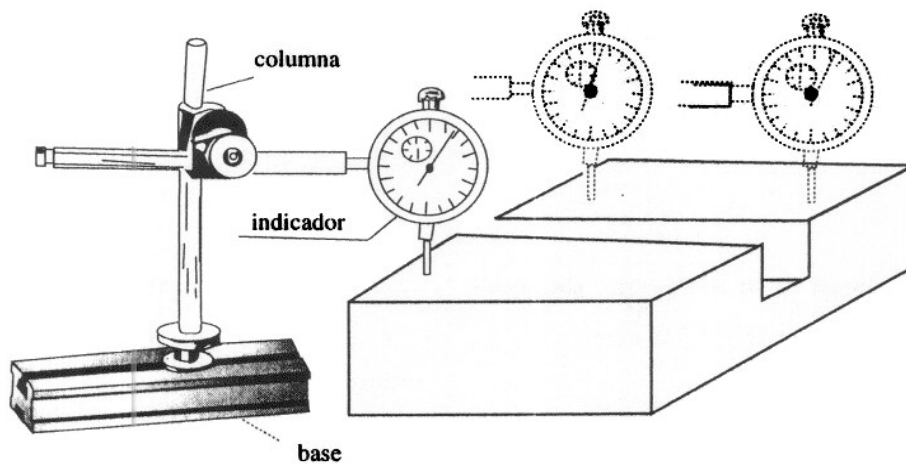
La sensibilidad de la lectura puede ser de 0.01 mm ó 0.001 mm, el funcionamiento del indicador de carátula está basado en el movimiento de la espiga de contacto, el cual es ampliado 100 ó 1000 veces por intermedio de engranajes alojados en el cuerpo del indicador, en la figura No. 24 se detallan las partes del indicador de carátula.

Figura No. 24 Partes de un Indicador de Carátula



Los indicadores de carátula, para su uso, se colocan en soportes adecuados, tales como: soporte universal como lo muestra la figura No. 25, mármol con columna y otros para fines especiales.

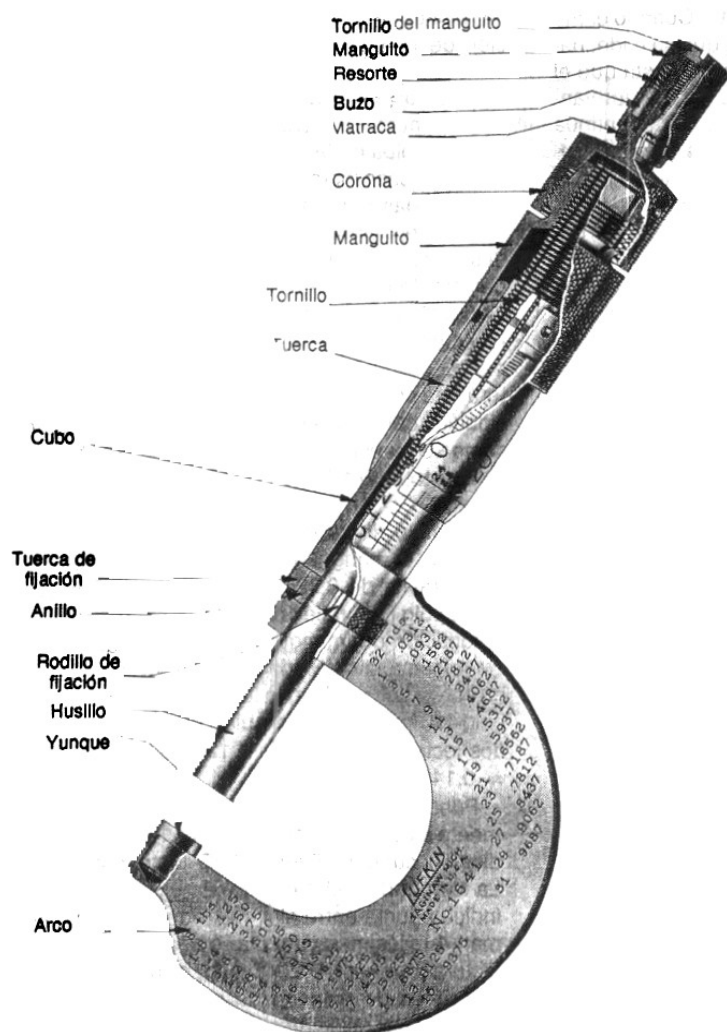
Figura No. 25 Indicador de Carátula con su soporte



Calibradores Micrómetros

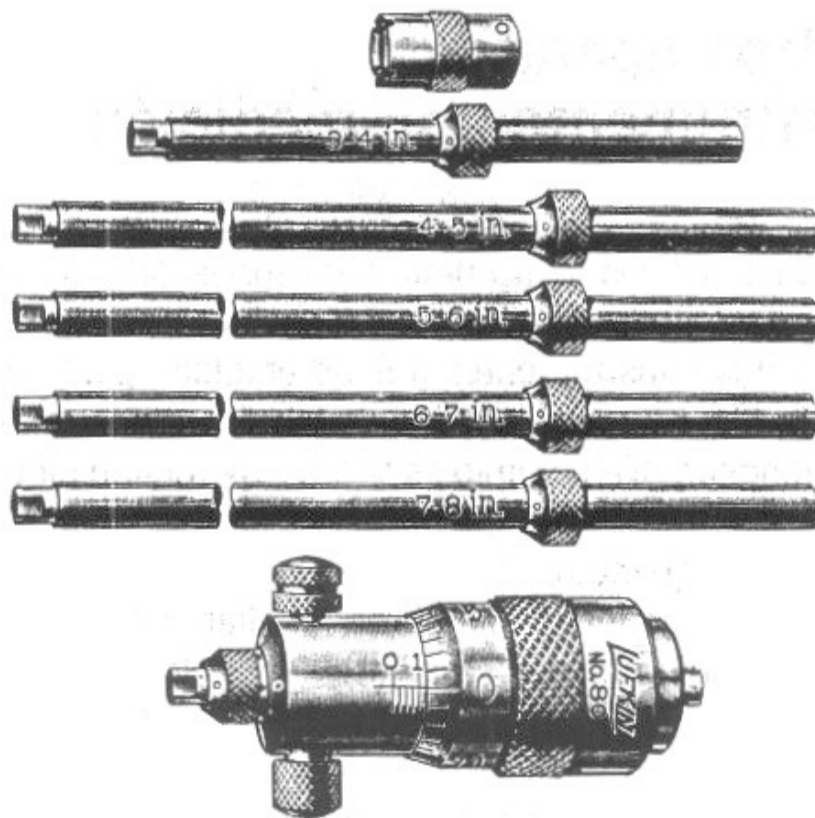
Se llaman calibradores micrómetros o simplemente micrómetros, permiten hacer mediciones con precisión de centésimas de milímetro y de diezmilésimas de pulgada. Se dividen en calibradores micrómetros de exteriores y de interiores, así como también micrómetro de profundidad. En la figura No. 26 se muestra un calibrador micrómetro de exteriores cortado para mostrar su construcción.

Figura No. 26 Calibrador micrómetro de exteriores cortado mostrando su construcción.



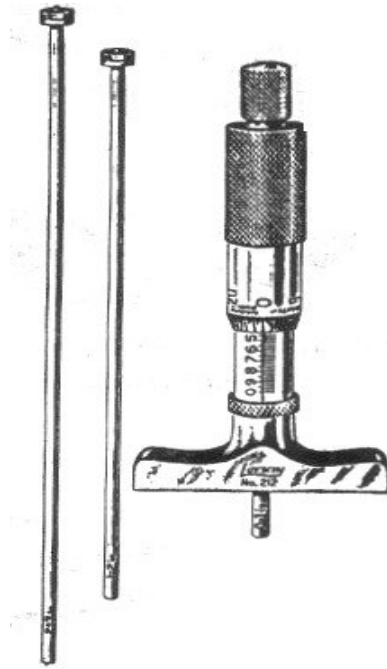
El calibrador micrómetro para interiores se muestra en la figura No. 27, el yunque y el husillo están opuestos, para poder aplicarlos a superficies interiores. Por lo general cuentan con una serie de barras de extensión que aumentan su alcance. Cada barra lleva grabados números que indican las mediciones que pueden efectuarse con ellas. Pueden usarse con extensiones de 5 a 25 centímetros.

Figura No. 27 Calibrador micrómetro para interiores.



Los calibradores de profundidad se fabrican también con micrómetro, para efectuar mediciones en trabajos de precisión. En la figura No. 28 el calibrador de profundidad tiene dos vástagos de extensión, con los cuales pueden medirse profundidades hasta de 3 pulgadas.

Figura No. 28 Calibrador de profundidades con dos vástagos de extensión.



Calibrador de Lainas

Los calibradores de laines se emplean extensamente para medir, comprobar y ajustar los juegos o espacios libres de diversas partes de maquinaria; por ejemplo, el juego de chumaceras, de los vástagos de válvulas. Estos calibradores consisten en varias hojas de lámina 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 en milésimas de pulgada según el sistema que se utilice. En la figura 29 se muestra el calibrador de laines donde el espesor esta indicado en centésimas de milímetro y en la figura No. 30 se muestra el calibrador de laines donde el espesor esta indicado en milésimas de pulgada.

Figura No. 29 Calibrador de lanas en centésimas de milímetro

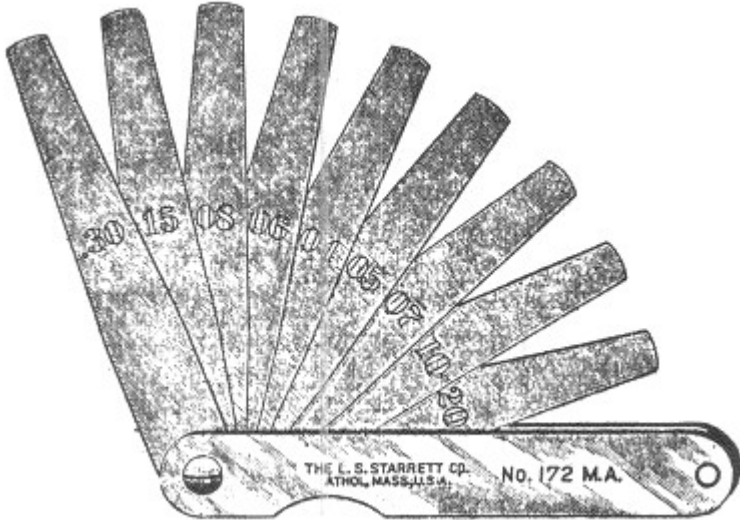
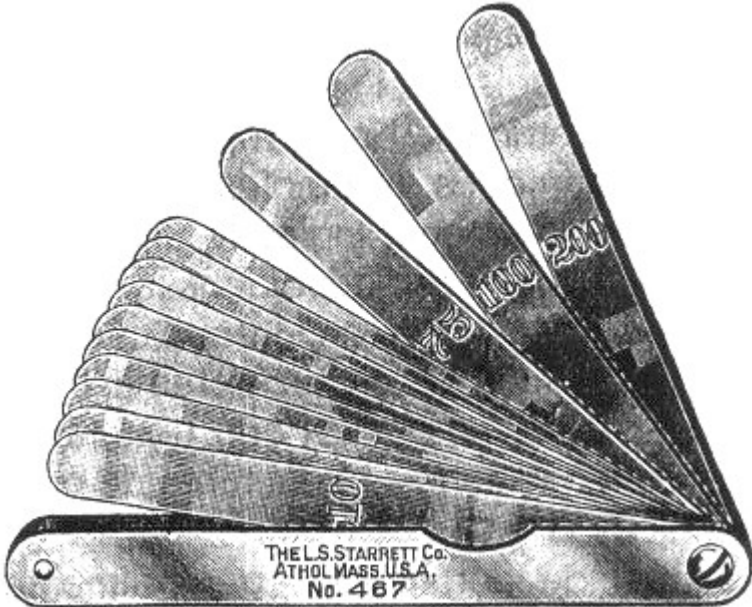


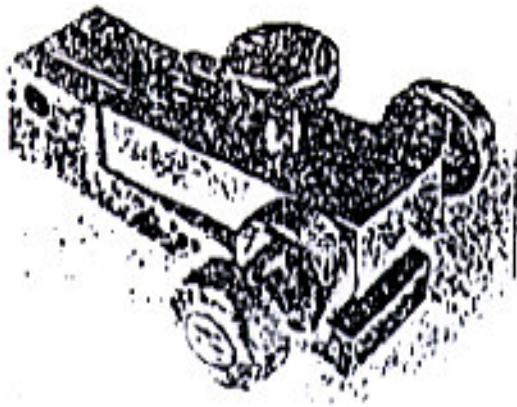
Figura No. 30 Calibrador de lanas en milésimas de pulgada



Dispositivos

Un dispositivo útil para la medición y el alineamiento se muestra en la figura No. 31, por medio de un hilo y su fácil construcción en un taller de tornos 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 llevara un tornillo de rosca fina, el cual lleva en un extremo una contratuerca y en el otro una pequeña polea en la cual girara el hilo de alineamiento; esta fijada por dos contratuercas, el objeto del tornillo es para poder alinear en sentido transversal.

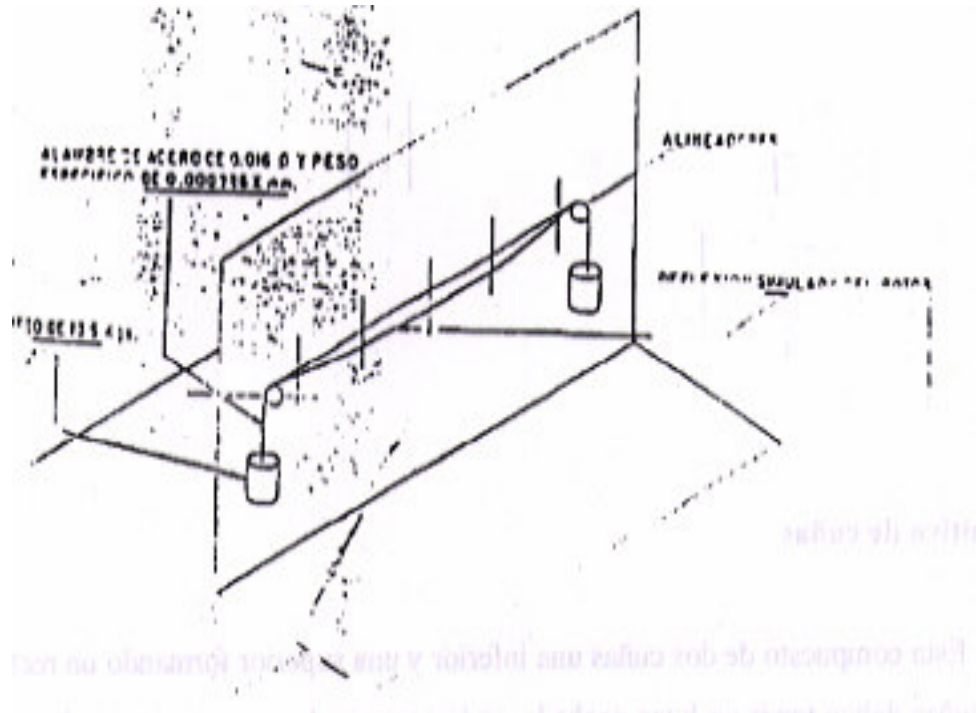
Figura No. 31 Instrumento de alineación y nivelación



Cuerda de piano

La cuerda de piano esta 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, en la figura No. 32 se muestra el diagrama de instalación de la cuerda de piano.

Figura No. 32 Diagrama de medición con cuerda de piano.



Dispositivos de nivelación de platinas

Los dispositivos que existen para nivelar platinas son dos los más utilizados y de fácil construcción, estos dispositivos son el de tornillos y el de cuñas.

Dispositivo de tornillos

Esta compuesto de una pieza giratoria cilíndrica roscada en su interior donde llevara un tornillo que servirá de sostén a la platina y la levantará según se requiera, esta pieza lleva dos placas, una inferior y una superior, es esta ultima quien lleva un tornillo que evitara que la platina se mueva, cada platina debe llevar tres dispositivos, dos en los extremos y uno en el centro. En la figura No. 33 se muestra el dispositivo de nivelación de tornillos.

Figura No. 33 Dispositivo de nivelación de tornillo.

Dispositivo de cuñas

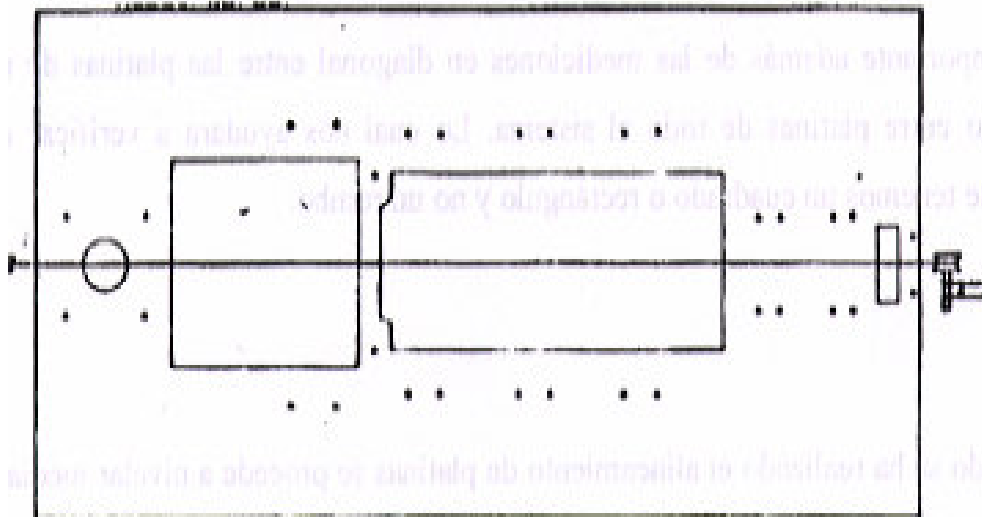
Esta compuesto de dos cuñas una inferior y una superior formando un rectángulo. Estas cuñas deben tener un buen acabado en la cara que hace contacto con la cuña para tener un buen deslizamiento, son necesarios tres juegos de cuñas para cada platina, en la figura No. 34 se muestra el dispositivo de nivelación de cuñas.

Figura No. 34 Dispositivo de nivelación de cuñas

Método de alineamiento de platinas

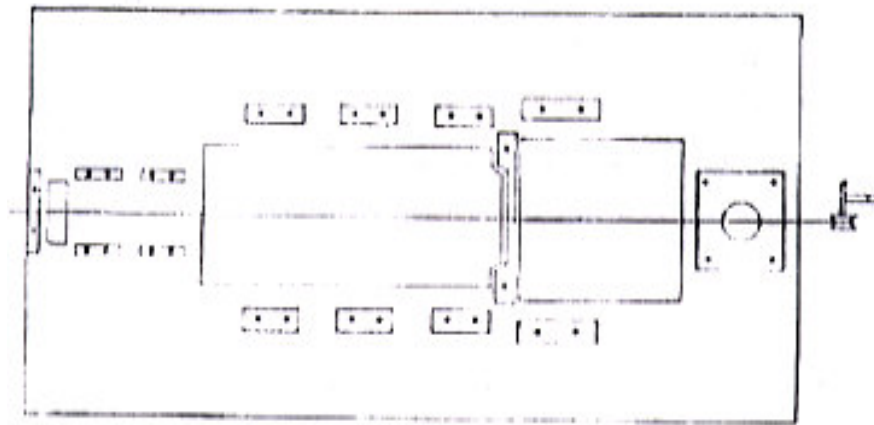
Para alinear las platinas de la maquina debemos fijar la línea de centro longitudinal de la estructura con dos alineadores y la cuerda de piano. Habiendo comprobado la simetría de la línea de centro respecto a los lados de la estructura, se procede a colocar las platinas las cuales deben ser sostenidas por dispositivos de nivelación. En la figura No. 35 se muestra un diagrama de alineamiento preliminar con cuerda de piano.

Figura No. 35 Alineamiento preliminar con cuerda de piano.



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 fundición donde se sujetaran los pernos de anclaje tal como se muestra en la figura No. 36.

Figura No. 36 Alineamiento con platinas colocadas



Es importante además de las mediciones en diagonal entre las platinas de una parte y luego entre platinas de todo el sistema. Lo cual nos ayudara a verificar que efectivamente tenemos un cuadrado o rectángulo y no un rombo.

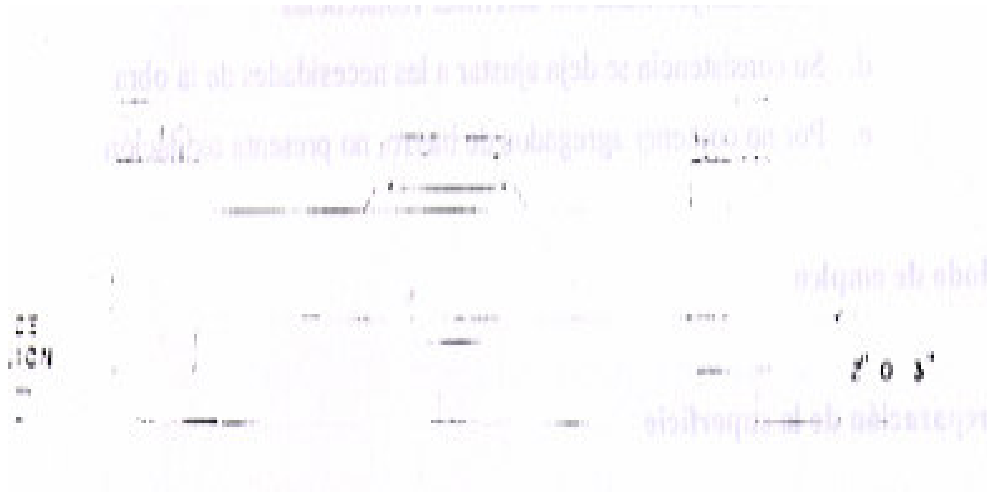
Nivelación

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

Generalmente la fundición de la estructura se deja 2 o 3 pulgadas abajo del nivel requerido para poder levantar las platinas, sentarlas parcialmente sobre bloques de concreto fundidos debajo de las platinas. Las platinas levantadas entre 2 y 3 pulgadas dependiendo del nivel indicado en el plano; se nivelan individualmente con un nivel de precisión longitudinal y transversalmente como se muestra en la figura No. 37. Cuando todas las platinas están niveladas pasamos a nivelar al conjunto para lo cual empleamos un nivel óptimo 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 este libre de vibraciones porque esto nos daría medidas erróneas.

Definimos la medida de la 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 otras partes: reductor, generador.

Figura No. 37 nivelación de platinas



Las platinas es aconsejable se dejen 1/16” abajo del nivel requerido y luego se ajusten con láminas calibradas.

Fundición del Grout

Entre la base o cimentación y las platinas del turbogenerador va la fundición de grout que ayuda a alinear y nivelar las platinas, cuando se ha realizado el alineamiento y nivelación se realiza la fundición. El grout es un compuesto de cemento, arena de granulometría controlada y aditivos adecuadamente dosificados. Los usos se aplican en relleno de expansión controlado y de alta adherencia en áreas confinadas para: Anclaje de pernos en maquinaria con poca o ninguna vibración, nivelación de platinas y apoyos (que trabajen a compresión) de máquinas, columnas, vigas o cualquier otro elemento estructural.

Ventajas

- a. expansión controlada
- b. Alta resistencia mecánica
- c. Alta manejabilidad sin sacrificar resistencias
- d. Su consistencia se deja ajustar a las necesidades de la obra
- e. Por no contener agregados de hierro, no presenta oxidación

Modo de empleo

Preparación de la superficie

La superficie de concreto debe estar rugosa, limpia, sana y libre de grasa, polvo, partes sueltas u otras materias extrañas que pueden impedir su adherencia. Antes de colocar el grout, la superficie debe saturarse con agua evitando encharcamiento. Las superficies metálicas deben estar limpias, libres de grasa, oxidación, pinturas defectuosas u otras materias extrañas.

Preparación del producto

Primeramente debe vertirse el agua de mezclado agregando enseguida el grout vaciándolo gradualmente; se efectúa un mezclado de 3 minutos como mínimo hasta obtener una consistencia homogénea. Con la finalidad de permitir la expulsión del aire atrapado durante el mezclado, es recomendable dejar el grout en reposo 1 minuto por lo menos; se debe dar un remezclado ligero (5 a 10 seg.) antes de vaciarlo. El tiempo de manejo es de aproximadamente 30 minutos y estará en función de la temperatura de los materiales y del ambiente.

Curado

El curado de las áreas expuestas debe hacerse inmediatamente después de la aplicación del producto con **Antisol** protegiéndolo con costales húmedos durante 7 días como mínimo.

2.3 Instrumentación

2.3.1 Panel de Control

Cada modelo de turbina tiene un tablero de control equipado con instrumentos de alta tecnología, garantizando alta seguridad y fácil operación.

El panel de la turbina tiene las siguientes mediciones digitales con medidores Fertrom DSI-500.

Figura No. 38 Panel de control de la turbina



El panel de control posee las siguientes mediciones que son muy importantes para la operación correcta del turbogenerador, además el panel tiene una señal sonora la cual nos avisa cuando las mediciones están llegando al nivel de alerta y cuando sobre pasa el nivel de alerta pueda hasta disparar por completo el turbogenerador, las mediciones que tiene el tablero de control son las siguientes.

Temperatura cojinete axial externo

La alarma en 203 °F y el disparo en 221 °F.

Temperatura cojinete radial anterior

La alarma en 203 °F y el disparo en 221 °F.

Temperatura cojinete axial interno

La alarma en 203 °F y el disparo en 221 °F.

Temperatura cojinete radial posterior

La alarma en 203 °F y el disparo en 221 °F.

Temperatura cojinete reductor eje de alta lado acople

La alarma en 203 °F y el disparo en 221 °F.

Temperatura cojinete reductor eje de alta lado no acople

La alarma en 203 °F y el disparo en 221 °F.

Temperatura cojinete reductor eje de baja lado no acople

La alarma en 203 °F y el disparo en 221 °F.

Temperatura cojinete reductor eje de baja lado acople

La alarma en 203 °F y el disparo en 221 °F.

Temperatura después de enfriador de aceite

La temperatura mínima del aceite en la salida del enfriador debe ser 105 °F y la temperatura máxima del aceite en la salida del enfriador debe ser de 113 °F. Cuando la temperatura del aceite llega a los 125 °F se da una señal de alarma en el panel de control de la turbina.

Temperatura vapor de admisión

La temperatura del vapor de admisión es 900 °F, pero se tiene un disparo de la turbina por baja temperatura de vapor de admisión en 550 °F y también se tiene disparo por alta temperatura de vapor en 960 °F.

Temperatura vapor de escape

La temperatura del vapor de escape de la turbina se mantiene entre 295 °F y 350 °F, no se tiene ninguna alarma y disparo de la turbina con esta medición.

Presión vapor de admisión

La presión de vapor de admisión nominal en la es de 850 PSI, no se tiene ninguna alarma o disparo de la turbina cuando la presión de vapor de entrada sube o baja de su valor nominal.

Presión vapor cámara de la rueda

La presión de vapor en la cámara de la rueda o dicho en otras palabras la presión de vapor en la primera etapa de la turbina es de 420 PSI, pero no se tiene ningún disparo de la turbina si esta presión sube o baja de su presión nominal.

Presión de escape

La presión de escape en la turbina tiene su alarma en 30 PSI y el disparo de la turbina esta en 35 PSI.

Presión aceite hidráulico

La presión de aceite hidráulico tiene un valor mínimo de 114 PSI y un valor máximo de 142 PSI, teniendo una alarma cuando baja la presión de aceite hidráulico a 86 PSI, no se tiene ningún disparo de la turbina cuando la presión varía de estos valores.

Presión aceite lubricación

La presión de aceite de lubricación tiene un valor máximo de 57 PSI y un mínimo de 40 PSI y tiene una alarma por baja presión de aceite de lubricación en 36 PSI y el disparo inmediato de la turbina en 28 PSI.

Presión aceite diferencial en el filtro

La presión de aceite diferencial en el filtro debe tener un mínimo de 10 PSI y un máximo de 12 PSI, se tiene una alarma de esta presión diferencial en 11 PSI, no se tiene disparo de la turbina cuando esta presión diferencial varía de estos valores.

Presión aceite de impulso

La presión de aceite de impulso de las válvulas de control de la turbina tiene un mínimo de 28 PSI y un máximo de 96 PSI, no se tiene ninguna alarma o disparo de la turbina si existiera alguna oscilación de estas presiones.

Además en el panel de la turbina se tienen los controles de:

1. Encendido y apagado del panel.
2. Bomba auxiliar de lubricación de aceite con los mandos de MANUAL/APAGADO/AUTOMATICO.
3. Ventilador inducido extractor de gases del tanque de aceite con los mandos de APAGADO/ENCENDIDO.
4. Bomba de emergencia de aceite con los mandos de MANUAL/APAGADO/AUTOMATICO.
5. Disparo de emergencia de la turbina.
6. También se puede liberar la turbina desde el panel de control para que la válvula de cierre rápido abra y así pueda ingresar el vapor para poder rodar la turbina.

7. Existe un control automático por medio de un controlador Woodward 505 en el cual se lleva todo el control de la turbina, desde su arranque hasta el paro total de la turbina.

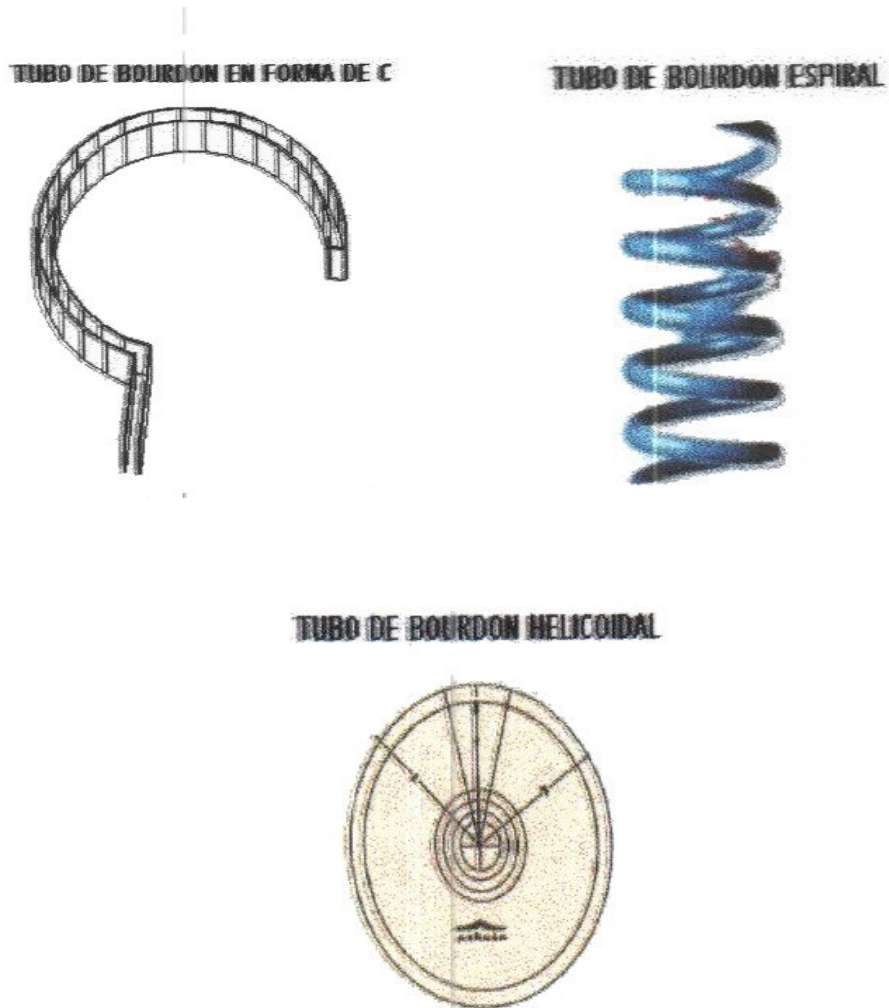
2.3.2 Medidores de Presión

Para sensar la presión se utilizan medidores elásticos con la finalidad de ocasionar un movimiento o deflexión proporcional a la presión aplicada, señal que es aprovechada por cualquiera de los diferentes principios de transducción. En general un sensor de presión es aquel elemento que convierte la presión en un movimiento, los sensores de presión son:

Tubo de Bourdon

Es un tubo cerrado en un extremo que puede ser de tres formas: helicoidal, espiral y en forma de C; los cuales al recibir una presión por su parte abierta tienden a enderezarse ocasionando un movimiento. Los tubos de bourdon están hechos generalmente de acero inoxidable, aleaciones de cobre, hastelloy y monel. El tubo de bourdon en C tiene un rango de 0.5 a 6000 bar, el de espiral esta diseñado para trabajar entre 0.5 y 2500 bar y el helicoidal 0.5 y 5000 bar. Ambos con un precisión de 0.5 a 1%. En la figura 39 se ilustran estos tipos de tubo bourdon.

Figura No. 39 Tipos de Tubo Bourdon



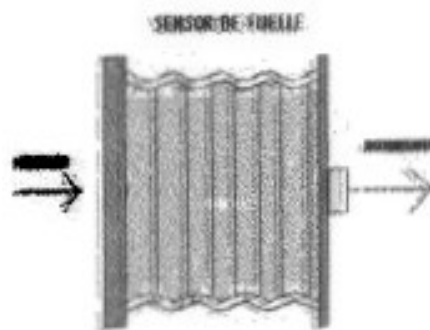
Diafragmas

Son áreas de material elástico que al recibir la presión ocasionan un movimiento proporcional a la presión y a la capacidad de deformación del área de recepción de la misma; consiste en una o varias cápsulas circulares conectadas rígidamente entre sí y está diseñado para bajas presiones, desde 50 mm cdea a 2 bar, con una precisión de 0.5 a 1%.

Fuelle

Es una pieza flexible axialmente que se estira o se contrae, esta echo generalmente de bronce fosforoso, se emplea para pequeñas presiones, 100 mm cdea a 2 bar. En la figura No. 40 se ilustra un sensor de Fuelle.

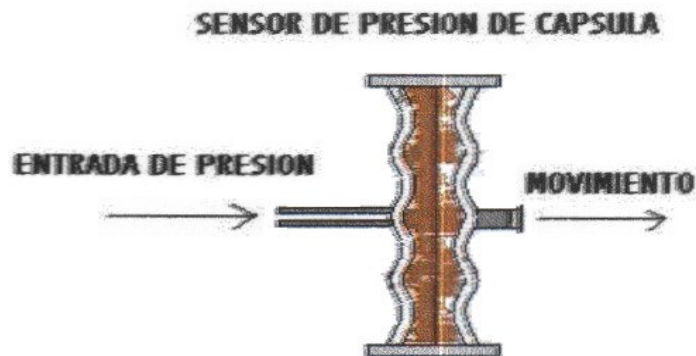
Figura No. 40 Sensor de Fuelle



De Cápsula

Consta, esencialmente de una placa delgada circular ondulada, que esta sujeta en su periferia. El gran uso que se hace de estos diafragmas en los transductores de presión se debe a su alta precisión y excelente respuesta dinámica, pudiendo responder a unos valores de unos pocos milímetros de columna de agua. La cápsula consiste en dos diafragmas ondulados anulares, con las curvaturas de la ondulación en oposición y selladas por su periferia. En la figura No. 41 se muestra un sensor de presión de cápsula.

Figura No. 41 Sensor de Presión de Cápsula



Medidores de Temperatura

Una de las variables mas involucradas en los procesos es la temperatura, por su gran efecto en los sistemas físicos y termodinámicos. Las bases para sensar la temperatura están basadas en las variaciones de: volumen, resistencia, fuerza electromotriz, intensidad de radiación emitida por un cuerpo, todos tienen la finalidad de emitir un movimiento proporcional al cambio de la variable. La temperatura se divide de acuerdo a las características del estado en que se encuentre la variable: sólido, líquido y gaseosos.

Sensor Bimetalito

Trabaja en función de la elongación de dos metales con diferente coeficiente de dilatación que están laminados conjuntamente, la mecánica de este sensor se realiza por la deformación de un espiral o una hélice, también puede ser recta desplazándose hacia los lados. En la figura No. 42 se ilustra este sensor Bimetalito.

Figura No. 42 Sensor Bimetálico



Sensor de Bulbo y Capilar

Es un dispositivo oblicuo que en su interior contiene un líquido o gas que se expande cuando la temperatura cambia por un tubo capilar haciendo deformar un espiral con el fin de indicar, su campo de medida es de: 150 a 500 °C. En la figura No. 43 se muestra un Sensor de Bulbo y capilar.

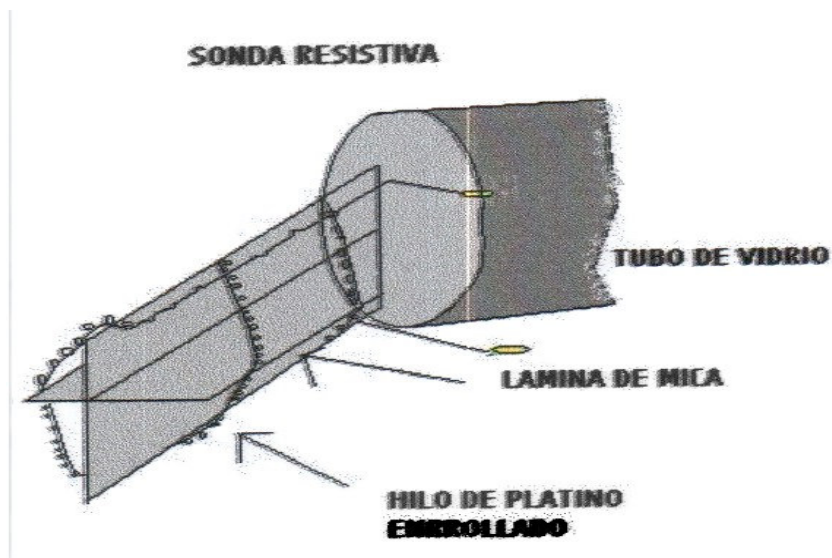
Figura No. 43 Sensor de Bulbo y Capilar



Sensor de Sonda

Aumentan su resistencia ante incrementos positivos de temperatura, consiste en un hilo de platino, níquel o aleaciones de níquel y cobre, materiales de alta resistividad, la de platino, uno de los materiales más adecuados por su precisión y estabilidad, presentan una resistencia de 100 ohmios. En la figura No. 44 se muestra un sensor de Sonda.

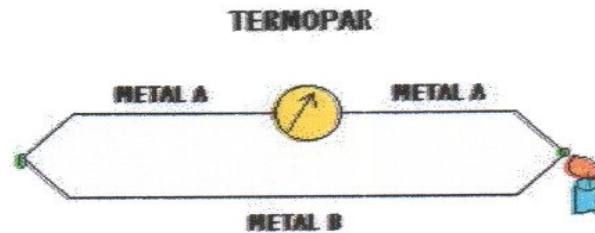
Figura No. 44 Sensor de Sonda



Sensores Termopar

Consiste en la FEM (fuerza electromotriz) creada por la unión entre dos metales distintos donde las uniones se denominan fría o caliente y esta conectada a un instrumento de medición. Las mediciones industriales que oscilan entre $-185\text{ }^{\circ}\text{C}$ y más de $541\text{ }^{\circ}\text{C}$, ($300\text{ }^{\circ}\text{F}$ a $1000\text{ }^{\circ}\text{F}$), se logran normalmente con termopares. En la figura No. 45 se ilustra el principio de un termopar.

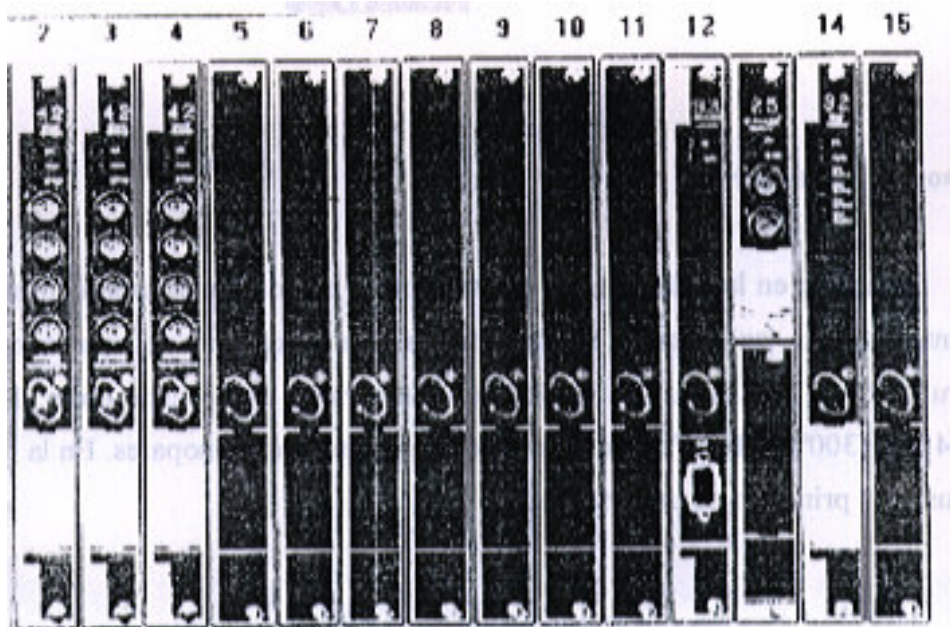
Figura No. 45 Principio de un Sensor Termopar



2.3.4 Medidores de Vibraciones

Las mediciones de las vibraciones se hacen en un equipo Bently Nevada 3500, el cual también posee una tarjeta display LDC 3500/93 y esta separado por 15 módulos o compartimientos que sirven para diferentes funciones, el equipo Bently Nevada se muestra en la figura No. 46. El Bently esta separado en 15 módulos o secciones.

Figura No. 46 Bently Nevada 3500



La medición se realiza con un transductor de vibraciones, este es un aparato que produce una señal eléctrica que es una réplica o análogo del movimiento vibratorio al cual está sujeto. Un buen transductor no debe agregar falsos componentes a la señal, y debería producir señales uniformes en todo el rango de frecuencias que nos interesa.

Los tipos diferentes de transductores responden a parámetros diferentes de la fuente de vibración, como se puede apreciar en la tabla No. 16.

Tabla No. 16. Tipos de Transductores

Nombre	Sensible a
Sensor de Proximidad	Desplazamiento
Sensor de Velocidad	Velocidad
Acelerómetro	Aceleración

La vibración, es posible examinarla en términos de **Aceleración, Velocidad y Desplazamiento**. La velocidad a cualquier frecuencia es proporcional al desplazamiento multiplicado por la frecuencia, lo que quiere decir que también es igual al desplazamiento multiplicado por el cuadrado de la frecuencia.

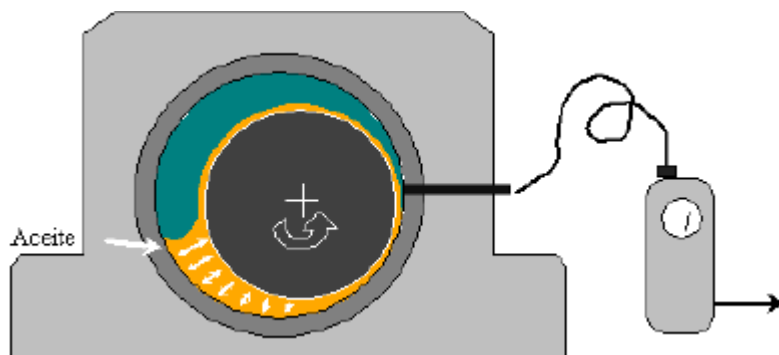
Basándonos en esas relaciones, el desplazamiento de vibración pone un fuerte énfasis en las frecuencias más bajas, y que la aceleración pone un fuerte énfasis en las frecuencias más altas. Cuando se estudia el espectro de vibraciones de una máquina, es deseable enseñar el parámetro que mantenga un nivel más uniforme en todo el rango de frecuencias. Eso aumentará al máximo el rango dinámico de la señal medida.

Sensor de Proximidad

Un tipo muy común de sensor de proximidad se conoce comercialmente como el "Proximiter". Es una marca comercial de la compañía Bently Nevada.

El Sensor de proximidad, también llamado "Sensor de Corriente de Remolino", o "Transductor de Desplazamiento" es una unidad de montaje permanente, y necesita un amplificador que condiciona la señal para generar un voltaje de salida, proporcional a la distancia entre el transductor y la extremidad de la flecha. Su operación está basada en un principio magnético. y por eso, es sensible a las anomalías magnéticas en la flecha. Se debe tener cuidado para evitar que la flecha sea magnetizada y que de esta manera, la señal de salida sea contaminada. Es importante saber que el transductor mide el desplazamiento relativo entre el rodamiento y el gorrón, y no mide el nivel de vibración total de la flecha o del carter. El transductor de desplazamiento está por lo general instalado en grandes máquinas con rodamientos con gorriones, donde se usa para detectar fallas en los rodamientos y para apagar la máquina antes que ocurra una falla catastrófica.

Figura No. 47 Ejemplo de instalación de un sensor de proximidad



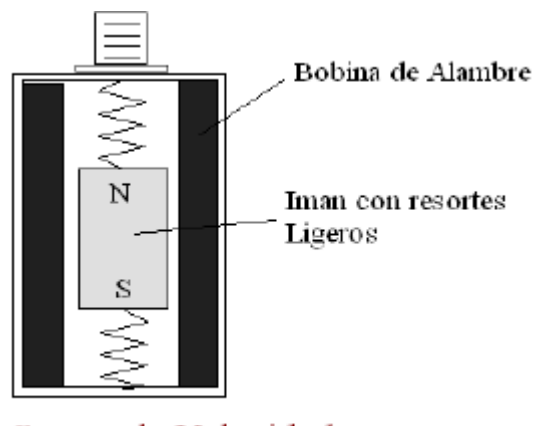
Esos transductores se usan mucho en pares, separados por una diferencia de orientación de 90 grados. La frecuencia de respuesta del transductor de desplazamiento va desde DC (0 Hz) hasta alrededor de 1 000 Hz.

El Sensor de Velocidad

Algunos sensores de velocidad están hechos con una bobina móvil fuera de un imán estacionario. El principio de operación es el mismo. Un otro tipo de transductor de velocidad consiste en un acelerómetro con un **integrador** electrónico incluido. Esta unidad se llama un Velómetro y es en todos los aspectos superiores al sensor de velocidad sísmico clásico.

El sensor de velocidad fue uno de los primeros transductores de vibración, que fueron construidos. Consiste de una bobina de alambre y de un imán colocados de tal manera que si se mueve el carter, el imán tiende a permanecer inmóvil debido a su inercia. El movimiento relativo entre el campo magnético y la bobina induce una corriente proporcional a la velocidad del movimiento. De esta manera, la unidad produce una señal directamente proporcional a la velocidad de la vibración. Es autogenerador y no necesita de aditamentos electrónicos acondicionadores para funcionar. Tiene una impedancia de salida eléctrica relativamente baja que lo hace relativamente insensible a la inducción del ruido.

Figura No. 48 Esquema de un sensor de velocidad



Aun tomando en cuenta estas ventajas, el transductor de velocidad tiene muchas desventajas, que lo vuelven casi obsoleto para instalaciones nuevas, aunque hoy en día todavía se usan varios miles. Es relativamente pesado y complejo y por eso es caro, y su respuesta de frecuencia que va de 10 Hz a 1000 Hz es baja. El resorte y el imán forman un sistema resonante de baja frecuencia, con una frecuencia natural de 10 Hz. La resonancia tiene que ser altamente amortiguada, para evitar un pico importante en la respuesta a esta frecuencia. El problema es que la amortiguación en cualquier diseño práctico es sensible a la temperatura, y eso provoca que la respuesta de frecuencia y la respuesta de fase dependan de la temperatura.

El Acelerómetro

El acelerómetro de tipo de compresión fue el primer tipo a ser desarrollado. Por lo general se prefiere el acelerómetro del tipo de cizallamiento, configurado de tal manera que el elemento activo está sujeto a fuerzas de cizallamiento, también hay otros tipos de diseños para acelerómetros.

Se puede considerar al acelerómetro piezo eléctrico como el transductor estándar para medición de vibración en máquinas. Se produce en varias configuraciones, pero la ilustración del tipo a compresión sirve para describir el principio de la operación. La masa sísmica está sujeta a la base con un perno axial, que se apoya en un resorte circular. El elemento piezo eléctrico está ajustado entre la base y la masa. Cuando una materia está sujeta a una fuerza, se genera una carga eléctrica entre sus superficies. Hay muchas materias de este tipo. Si se incrementa la temperatura de un material piezo eléctrico, se va llegar al llamado "punto curie" o "temperatura curie" y se pierde la propiedad piezo eléctrica. Una vez que esto pasa, el transductor está defectuoso y no se puede reparar.

Cuando se mueve el acelerómetro en la dirección arriba abajo, la fuerza que se requiere para mover la masa sísmica esta soportada por el elemento activo. Según la segunda ley de Newton, esa fuerza es proporcional a la **aceleración** de la masa. La fuerza sobre el cristal produce la señal de salida, que por consecuente es proporcional a la aceleración del transductor. Los acelerómetros son **lineales** en el sentido de la amplitud, lo que quiere decir que tienen un rango dinámico muy largo. Los niveles más bajos de aceleración que puede detectar son determinado únicamente por el ruido electrónico del sistema electrónico, y el límite de los niveles más altos es la destrucción del mismo elemento piezo eléctrico. Este rango de niveles de aceleración puede abarcar un rango de amplitudes de alrededor de 10, lo que es igual a 160 dB. Ningún otro transductor puede igualar esto.

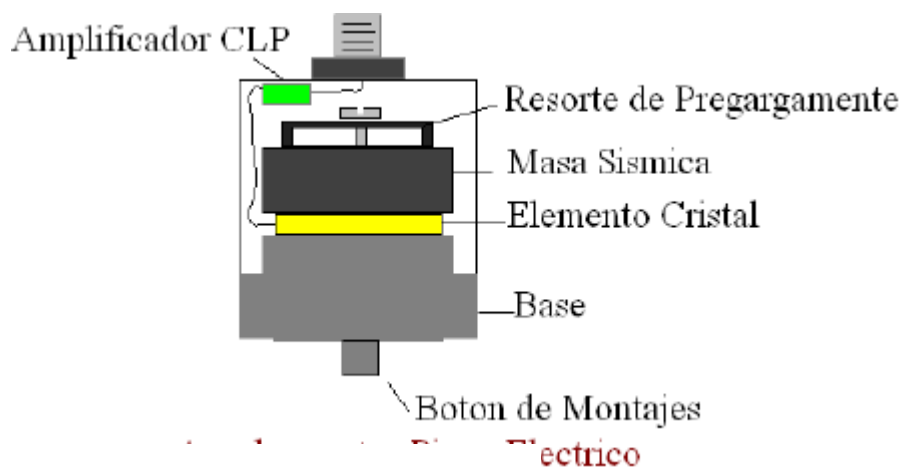
El acelerómetro piezo eléctrico está muy estable sobre largos periodos. Mantendrá su **calibración** si no se le maltrata. Las dos maneras de que se puede dañar un acelerómetro son la exposición a un calor excesivo y la caída en una superficie dura. Si se cae de una altura de más de un par de pies, en un piso de concreto, o en una cubierta de acero, se debe volver a calibrar el acelerómetro para asegurarse que el cristal no se cuarteó. Una pequeña cuarteadura causará una reducción en la sensibilidad y también afectará de manera importante a la resonancia y a la respuesta de frecuencia. Es una buena idea calibrar los acelerómetros una vez al año, si están en servicio con colectores de datos portátiles.

El rango de frecuencias del acelerómetro es muy ancho y se extiende desde frecuencias muy bajas en algunas unidades hasta varias decenas de kilohertzios. La respuesta de alta frecuencia está limitada por la resonancia de la masa sísmica, junto con la elasticidad del piezo elemento. Esa resonancia produce un pico importante en la respuesta de la frecuencia natural del transductor, y eso se sitúa normalmente alrededor de 30 kHz para los acelerómetros que se usan normalmente.

Una regla general es que un acelerómetro se puede usar alrededor de $1/3$ de su frecuencia natural. Datos arriba de esta frecuencia se acentuarán debido de la respuesta resonante, pero se pueden usar si se toma en cuenta este efecto.

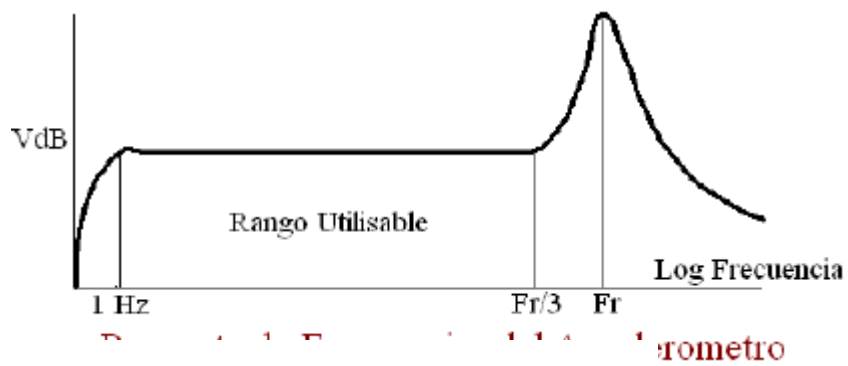
La mayoría de los acelerómetros que hoy en día se usan en la industria son del tipo "PCI", lo que quiere decir que tienen un preamplificador interno de circuito integrado. Este preamplificador recibe su energía de la polarización de la corriente directa por el alambre de la misma señal, así que no se necesita alambrado suplementario. El aparato con que está conectado el aparato debe tener su fuerza de corriente directa disponible para este tipo de transductor. El acelerómetro PCI tendrá un límite de baja frecuencia, debido al mismo amplificador y este se sitúa generalmente a 1 Hz para la mayoría de las unidades disponibles comercialmente. Algunas unidades fueron diseñadas especialmente para ir hasta 0, 1 Hz si se necesita datos de muy baja frecuencia. En la figura No. 49 se muestra un acelerómetro piezo-eléctrico.

Figura No. 49 Acelerómetro piezo-eléctrico



Cuando se conecta un acelerómetro PCI a la fuente de energía, el amplificador necesita unos segundos para estabilizarse. Durante este tiempo cualquier dato que la unidad recogerá será contaminado por las lentas variaciones del voltaje. Por esa razón, los recopiladores de datos deben de tener un retraso integrado, para asegurar que la unidad está en condición estable. Si el retraso es demasiado breve, la forma de onda de tiempo tendrá una rampa de voltaje en forma exponencial superpuesta sobre los datos y en el espectro se verá una característica creciente de muy baja frecuencia a veces llamada **bajada de eski**. Este se debe evitar, ya que compromete el rango dinámico de la medición.

Figura No. 50 Grafica de rangos permitidos de voltaje



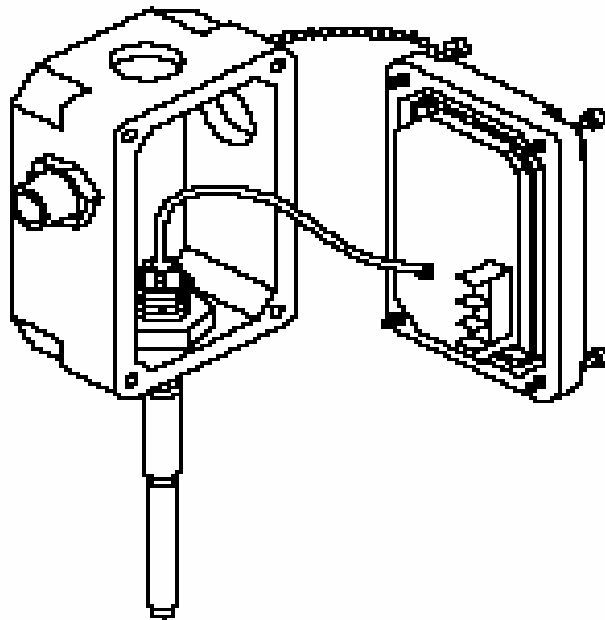
La frecuencia de resonancia de un acelerómetro depende mucho de su montaje. El mejor tipo de montaje siempre es el montaje con botón, todo lo demás limitará el rango de frecuencia efectivo de la unidad.

Cuando se coloca un acelerómetro es importante que la ruta de vibración desde la fuente hacia el acelerómetro sea la más corta posible, especialmente si se está midiendo la vibración en rodamientos con elementos rodantes.

Existen transductores de proximidad mas sofisticados como el PROXPAC, que es el utilizado en este turbogenerador contiene un sensor de proximidad propio que no es mas que un sensor dentro de la tapa del alojamiento. Este diseño tiene las ventajas de no necesitar un cable de entrada (sonda) y el sensor de proximidad, también elimina la necesidad de un sensor de proximidad separado del alojamiento.

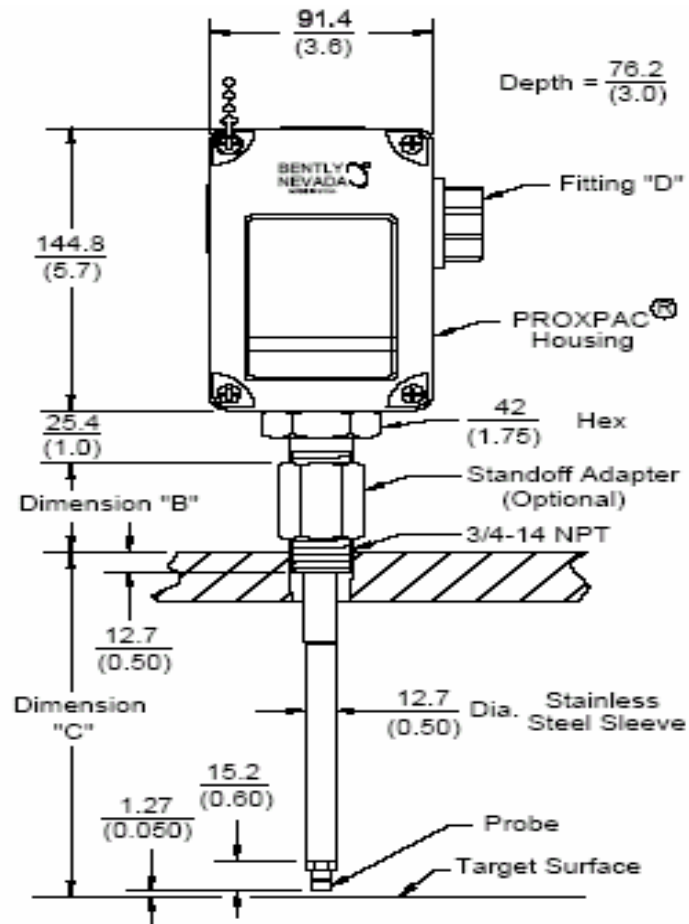
Las características técnicas que aplica el PROXPAC son, + 64°F a + 80°F con un -24Vdc de suministro de energía, con 10 kΩ, cuando el voltaje es menos a -23.5Vdc daría como resultado un bajo rango de medición. En la figura No. 51 se muestra el sensor de proximidad transductor PROXPAC utilizados en este turbogenerador.

Figura No. 51 Sensor de proximidad PROXPAC



En la figura No. 52 se detallan las medidas de este sensor de proximidad PROXPAC.

Figura No. 52 Dimensiones del sensor de proximidad PROXPAC



2.4 Pruebas de Funcionamiento

Para entrar en funcionamiento el turbogenerador se deben de seguir los siguientes pasos para el arranque de la turbina.

Procedimientos de arranque

1. Abrir válvula de drenaje hacia la atmósfera antes de válvula manual de admisión.
2. Abrir válvulas de drenaje hacia la atmósfera después de la válvula manual de admisión.
3. Abrir al 100% válvula de drenaje de las válvulas de control hacia la atmósfera.
4. Abrir al 100% válvula de drenaje de la cámara de la rueda hacia la atmósfera.
5. Poner en servicio la bomba de emergencia (DC) en modo automático.
6. Poner en servicio la bomba auxiliar (eléctrica) en modo automático.
7. Poner en servicio el motor del extractor de niebla del tanque de aceite.
8. Abrir al 100% la válvula de escape hacia el Ingenio.
9. Mover la palanca de la unidad de giro lento hasta que la misma oprima el switch de fin de carrera y la misma se quede enclavada. Para esto, se debe empujar la palanca y girar el volante del motor simultáneamente (la turbina debe estar 100% parada).
10. Oprimir el “switch” de encendido del motor de giro lento en el panel cerca de la turbina para ponerlo en servicio.

11. Abrir lentamente la válvula de “by pass” en la válvula manual de admisión para calentar la tubería y la carcasa de la turbina.
12. Abrir al 100% la válvula de admisión de vapor.
13. La temperatura mínima del vapor de admisión deberá ser de **550 °F**.
14. Oprimir el pulsador **RESET** en el panel de **BENTLY NEVADA** para liberar la señal de falla.
15. Oprimir el pulsador **RESET** en el **gobernador 505** para liberar la señal de falla.
16. Oprima el pulsador **RESET** en la puerta del tablero para quitar todas las señales de falla en el panel (excepto la señal de **falla de la turbina**).
17. Oprima el pulsador **LIBERA TURBINA** para accionar la válvula solenoide de la válvula de cierre rápido. Si la válvula de cierre rápido no se abre, cerrar las válvulas de drenaje de las válvulas de control y de la cámara de la rueda para igualar las presiones.
18. Oprima el pulsador **RESET** en la puerta del tablero para quitar la señal de **falla de la turbina**.
19. Verificar que la temperatura del aceite esté en un mínimo de 105°F. Eso es esencial para el perfecto alineamiento del reductor con el generador.
20. Oprima el pulsador **RUN** en el gobernador 505. La turbina deberá arrancar.

21. Cuando la velocidad de la turbina alcance **400 rpm**, el gobernador 505 sacará de servicio el motor de giro lento.
22. La velocidad seguirá subiendo hasta **1250 rpm (primera parada)** y se mantendrá en esa velocidad por **16 minutos** con arranque **en frío** y por **5 minutos** con arranque **en caliente**.
23. Cerrar al 100% la válvula de “ by-pass” en la válvula manual de admisión de vapor.
24. Después de calentar la turbina en **1250 rpm**, la velocidad seguirá subiendo hasta **4800 rpm (segunda parada)** y se mantendrá a esa velocidad por **26 minutos** con arranque **en frío** y por **7 minutos** con arranque **en caliente**. Cuando la velocidad de la turbina se encuentre en el segundo incremento de velocidad de la rampa (1250 rpm), se deberá cerrar todas las válvulas de purga.
25. Enseguida la velocidad seguirá hasta **6050 rpm** que es la velocidad **nominal**.
26. En 5600 rpm un contacto del gobernador 505 mandará a parar el motor de la bomba auxiliar de aceite. El switch de presión en la línea de aceite mantendrá fuera de servicio la bomba auxiliar hasta que la presión de aceite sea menor de 85 psi.
27. Sincronizar el generador siguiendo el procedimiento específico (WEG).
28. Mantener temperatura de aceite en la salida del enfriador en 105 °F
29. Mantener un diferencial de presión de aceite en el filtro con un máximo de 10 psi

Notas

1. Se entiende por arranque **en frío** aquella en que el turbogenerador esté parado por **más de 12 horas**. El tiempo total del arranque en frío es cerca de **45 minutos**.
2. Se entiende por partida **en caliente** aquella en que el turbogenerador esté parado **por 2 horas o menos**. El tiempo total del arranque en caliente es cerca de **13 minutos**.

Las siguientes son pruebas realizadas a las diferentes protecciones de la turbina, para evitar que la misma sea dañada estando en servicio.

2.4.1 Disparo de Sobrevelocidad

Este consiste en un elemento mecánico montado en el eje de la turbina, el cual tiende a desplazarse hacia afuera por la acción de la fuerza centrífuga con lo cual acciona otro elemento que interrumpe el circuito hidráulico y se cierran las válvulas de admisión y de entrada de vapor mediante un resorte. este dispositivo es de vital importancia pues es el único que prevé que la turbina no gire a velocidades mayores al 10% de la velocidad nominal, es recomendable ajustarlo para que no exceda el 7% de la velocidad nominal.

Para esta prueba se elevó la velocidad de la turbina hasta un máximo del 10% adicional de su velocidad de trabajo, dando los resultados siguientes:

Velocidad Teórica 6605 RPM

Prueba Realizada 6620 RPM

Variación 0.2 %

Rechazo de carga

Se llevó el turbogenerador a su carga máxima y luego se abrió el interruptor del generador para evaluar el control de velocidad del gobernador electrónico. En la prueba del rechazo de carga, se tenía una carga de 13,800 Kw. Se procedió a abrir el interruptor del generador llegando inmediatamente a tener cero carga en el turbogenerador en ese momento la frecuencia llegó a 64.2 Hz y la velocidad llegó a 6611 rpm, gobernando posteriormente a 6050 rpm.

La prueba de disparo por rechazo de carga fue exitosa, la turbina no disparó, luego se procedió a sincronizar nuevamente el turbogenerador.

2.4.2 Disparo por Baja Presión de Aceite

Este consiste en un presostato que vigila la presión del aceite y que al decaer por debajo del valor nominal, interrumpe el circuito hidráulico y se cierran las válvulas de admisión y la válvula de entrada de vapor.

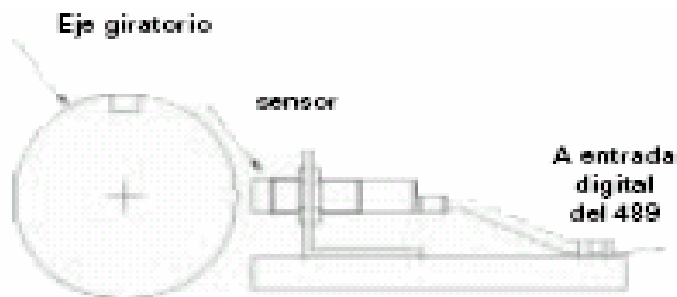
Baja presión de aceite Hidráulico

Se simuló una disminución en la presión de aceite del sistema hidráulico hasta que cierre la válvula de cierre rápido, el disparo del turbogenerador se dio a una presión de 58 PSI.

El relé multifunción de generador SR-489 proporciona funciones de protección, medida y monitorización. Puede ser utilizado como protección principal o de respaldo en generadores síncronos o de inducción de 25, 50 ó 60 Hz. Puede ser usado como protección principal, de respaldo en centrales o en cogeneraciones. El SR489 incorpora funciones para la completa protección del generador. Estas funciones incluyen protección diferencial, 100 % tierra estator, sobreintensidad direccional de tierra, sobreintensidad de secuencia negativa, sobreintensidad instantánea nivel alto, sobreintensidad con frenado por tensión, máxima y mínima tensión, máxima y mínima frecuencia, distancia y potencia inversa. Para ajustarse a los generadores síncronos, las funciones de protección incluyen sobreexcitación, pérdida de campo y energización accidental del generador. Las funciones de monitorización incluyen medida de intensidad eficaz, sobreintensidad de secuencia negativa, potencia trifásica y temperatura a través de 12 entradas RTD.

La sobrevelocidad se monitoriza montando una sonda de proximidad inductiva, o sensor de efecto Hall, cerca del eje. El SR489 proporciona tensión de 24 Vdc para el sensor. La salida del sensor envía un pulso a una entrada digital seleccionable que ha sido configurada como tacómetro. El 489 puede monitorizar velocidad a través de una entrada configurable. La forma como va instalado la sonda se muestra en la figura No. 54.

Figura No. 54 Diagrama de instalación y de medición.



Las pruebas de sobrevoltaje realizadas fueron satisfactorias el interruptor del generador abrió cuando el voltaje se elevo un 115% de su voltaje nominal que es de 13,800 voltios o sea que el interruptor abrió con un voltaje de 15,870 voltios.

Otros disparos

Disparo por vibraciones

Simular un aumento en el valor de la vibración en los cojinetes de la turbina, reductor y generador hasta que actúe los relevadores de protección

	ALARMA	DISPARO
	mils p/p	mils p/p
Cojinete # 1 de turbina (lado gobernador)	3.30	4.50
Cojinete # 2 de turbina (lado acople)	3.30	4.50
Cojinete # 1 de reductor lado alta (lado acople)	3.30	4.50
Cojinete # 2 de reductor lado alta (lado generador)	3.30	4.50
Cojinete # 1 de generador (lado acople)	25.00 mm/seg p/p	
Cojinete # 2 de generador (lado excitatriz)	25.00 mm/seg p/p	

Disparo por desplazamiento axial de turbina

Simular un aumento en el desplazamiento axial de la turbina, tanto en lado activo como en el inactivo hasta que actúen los relevadores de protección

	INICIAL	ALARMA	DISPARO
	mils p/p	mils p/p	mils p/p
Desplazamiento axial activo	5.50	13.50	19.50
Desplazamiento axial inactivo	5.50	13.50	19.50

Disparo de motor de Giro Lento por baja presión de lubricación

Cuando la unidad esta en giro lento es muy importante tener la seguridad de que los cojinetes del turbogenerador tengan su lubricación es por ello que si por algún motivo fallara la bomba de aceite y se perdiera la presión de aceite de lubricación el motor se giro lento se dispara inmediatamente para no dañar las chumaceras del turbogenerador, se simulo una disminución en la presión de aceite del sistema de lubricación, obteniendo el disparo del motor de la unidad de giro lento a 20 PSI.

Procedimiento de parada

Cuando el turbogenerador va a salir de servicio también se tiene un procedimiento y se deja listo para entrar en línea cuando se requiera, acontinuación se delinean los pasos a seguir para el turbogenerador.

1. Reducir la carga del generador a por lo menos un 5%.
2. Abrir el interruptor principal.
3. Disparar la turbina por una de las siguientes maneras:
 - a. Girar la válvula manual de 3 vías de la válvula de cierre rápido al punto de disparo en emergencia.
 - b. Oprimir botón de paro de emergencia en el tablero de control
 - c. Oprimir botón de paro de emergencia en el gobernador 505
 - d. Oprimir botón **STOP** en gobernador 505

4. Abrir todas las válvulas de drenaje de la turbina.
 - a. Es necesario esperar que el turbogenerador pare completamente (velocidad cero) para poner en servicio el motor de giro lento.
5. Mover la palanca de la unidad de giro lento hasta que la misma oprima el switch de fin de carrera y la misma se quede enclavada. Para esto, se debe empujar la palanca y girar el volante del motor simultáneamente.
6. Oprimir el “switch” de encendido del motor de giro lento en el panel cerca de la turbina para ponerlo en servicio.
7. Si el turbo va a estar parado por más de **4 horas**, cerrar la válvula manual de vapor de admisión.
8. Pare el motor de giro lento solamente después que la temperatura del vapor vivo baje de **100 °F**, para que la carcasa de la turbina esté con un mínimo de **130 °F**. Eso procedimiento puede durar por más que **8 horas**.
9. Mantener la temperatura del aceite de los cojinetes cerca de **125 °F**.

Notas

Al parar la turbina oprimiendo el botón **STOP**, el gobernador 505 seguirá una rampa de parada de la velocidad, que no es más que la rampa de arranque al revés.

CONCLUSIONES

- 1.- Es de vital importancia que la turbina de vapor opere dentro de las condiciones de presión y temperatura de vapor recomendados, ya que, si no se respetan podrían provocarse perturbaciones termodinámicas y mecánicas como quiebra de alabes.
- 2.- Chequear los dispositivos de protección y seguridad de la turbina son extremadamente, importantes debido a que de esta manera se puede tener confianza en el funcionamiento del turbogenerador, a la hora de cualquier anomalía.
- 3.- La base del turbogenerador debe llevar los diseños adecuados para que no exista ningún problema por vibración, peso o carga del turbogenerador, así como, también, que pueda soportar movimientos sísmicos.
- 4.- La calidad del vapor debe ser de acuerdo a los estándares predefinidos por el fabricante de la turbina, el costo por el tratamiento del agua para la caldera es relativamente bajo comparado con los daños provocados por las incrustaciones debido a la presencia de impurezas en el vapor.
- 5.- El sistema de enfriamiento de la turbina debe trabajar a la perfección para que no ocurran disparos o salidas del sistema repentinas del turbogenerador, nunca debe de faltar el agua a los enfriadores de aceite, como, también, al enfriador del generador y siempre debe de mantenerse la lubricación en los cojinetes.
- 6.- Mantener capacitado al personal operativo del turbogenerador para el perfecto funcionamiento y, así, evitar problemas en los equipos por desconocimiento.

- 7.- Verificar siempre que las variables de monitoreo se encuentren dentro de los rangos aceptables descritos por el fabricante.

RECOMENDACIONES

1. Que el ingeniero supervisor de operaciones y el operador de turbinas lleven a cabo a la perfección los procedimientos de arranque y paro del turbogenerador.
2. El operador del tablero de control aplique la toma de carga del turbogenerador de acuerdo al procedimiento de arranque, no reducir el tiempo mínimo especificado.
3. Que la turbina no permanezca rodando a su velocidad nominal para no aumentar demasiado la temperatura del vapor de escape, es importante sincronizarlo luego y tomar carga.
4. El operador de turbina realice una verificación completa de todas las presiones y temperatura de aceite de los cojinetes y el agua de enfriamiento.
5. El electricista de turno y el operador de turbinas verifiquen que las bombas de aceite estén todas disponibles en automático, para que no exista ningún problema de lubricación en los cojinetes si hubiera algún disparo del turbogenerador.
6. Que el laboratorio del ingenio verifique que el aceite cumpla, satisfactoriamente, con su función, deberá conservarse perfectamente limpio y manteniendo su viscosidad apropiada.
7. Que el operador de turbina lleve una hoja de control del turbogenerador donde se tomen lecturas de cada hora o cada cierto tiempo según las necesidades, donde se anoten las variables mas importantes a monitoreas.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Avallone**, Eugene y **Theodore** Baumeister III. Manual del ingeniero mecánico. 9ª. ed. México: Mcgraw hill, 1995.
2. **Bloch**, Heinz. Guia practica para la tecnología de las turbinas de vapor. México: McGraw-Hill, 1998. 348pp.
3. Herramientas, máquinas de trabajo. España: Editorial Reverte, 1984.
4. Manual de mecánica industrial. España: Editorial cultural, 1999.
5. **Severns**, W y et al. Energía mediante vapor aire o gas. 5ª. ed. España: Editorial Reverté, s.a. 503 pp.
6. Torno básico especialidad. Guatemala: Intecap, 1999.