

Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



“ Análisis Técnico - Económico del Mantenimiento de
Turbinas Francis de la Central Hidroeléctrica
- Gino Bianchini - Huampani, con
Asistencia de Computadora ”

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

LUIS MARTINEZ SILVA

PROMOCION: 1989- I

LIMA . PERU . 7997

TABLA DE CONTENIDOS

	<u>Pág.</u>
PROLOGO.....	9
INTRODUCCION.....	10
2.- DESCRIPCION DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA GINO BIANCHINI - HUAMPANI.....	13
2.1. Características generales.....	13
2.1.1. Toma.....	14
2.1.2. Canal.....	14
2.1.3. Túnel acueducto.....	16
2.1.4. Taza.....	16
2.1.5. Tubería de presión.....	17
2.1.6. Casa de máquinas.....	18
2.2. La turbina Francis.....	19
2.2.1. Elementos constitutivos - materiales que se utilizan.....	22
2.2.1.1. Caja espiral o carcaza.....	22
2.2.1.2. Distribuidor.....	22
2.2.1.3. Rodete.....	24
2.2.1.4. Tubo difusor.....	27
2.2.1.5. Descargador síncrono.....	28
2.2.2. Desgastes más frecuentes en el rode- te Francis y demás elementos consti- tutivos de la turbina.....	28
2.2.2.1. Desgaste por erosión.....	29
2.2.2.2. Desgaste por cavitación.....	31
2.2.2.3. Desgaste por fatiga del ma- terial.....	35
2.2.2.4. Desgaste en los rodetes Francis.....	38
2.2.2.5. Desgaste en los álabes di-	

	<u>Pág.</u>
rectrices y blindajes.....	43
2.2.2.6. Desgaste en los codos difu- sores.....	45
2.2.2.7. Desgaste en las tapas de turbina.....	47
2.2.3. Causas de los fenómenos vibratorios en turbinas Francis.....	47
3.- ORGANIZACION DE UNA DEPENDENCIA DE MANTENIMIENTO MECANICO.....	55
3.1. Recursos humanos.....	55
3.2. Instalaciones y equipos.....	57
4.- PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO.....	59
4.1. Mantenimiento preventivo.....	59
4.1.1. Descripción de los trabajos.....	60
4.1.1.1. Control de pérdidas.....	60
4.1.1.2. Revisión de turbinas.....	60
4.1.1.3. Engrase general.....	60
4.1.1.4. Purga de la cámara equili- brio descargador.....	61
4.1.1.5. Pruebas de sobrevelocidad..	61
4.1.1.6. Control de tiempos de cie- rre y apertura del distri- buidor.....	62
4.1.1.7. Revisión de los servomoto- res del distribuidor y el descargador síncrono.....	62
4.1.1.8. Control de hermeticidad del descargador síncrono.....	63
4.2. Mantenimiento correctivo.....	63
4.2.1. Aplicación de los electrodos de ace- ro inoxidable en la recuperación de los componentes.....	64
4.2.2. Características técnicas de las pie-	

	<u>Págs.</u>
dras de amolar y las pulidoras de fieltro.....	73
4.2.3. Reparación general.....	79
4.2.3.1. Proceso de reparación de paletas directrices.....	79
4.2.3.2. Reparación de rodete Fran- cis.....	80
4.2.3.3. Reparación de codos difuso- res.....	81
4.2.3.4. Reparación de tapas.....	81
4.2.3.5. Reposición de blindajes.....	82
4.2.3.6. Reparación general del des- cargador síncrono.....	82
5.- APLICACION DE NUEVAS TECNICAS DE MANTENIMIENTO..	83
5.1. Aplicación de cerámica en la recuperación de blindajes.....	83
5.1.1. Proceso para la rehabilitación de blindajes de fondo para la turbina Francis, aplicando cerámica.....	85
5.2. Aplicación de los elastómeros en la repara- ción de los codos difusores.....	86
5.2.1. Proceso para la reparación del codo difusor.....	87
6.- SISTEMA COMPUTARIZADO PARA LA PLANEACION DEL MANTENIMIENTO.....	88
6.1. Ordenes de trabajo.....	93
6.2. Mantenimiento programado.....	94
6.3. Registros de mantenimiento.....	97
6.4. Informes.....	100
7.- ESTUDIO DE COSTOS DE MANTENIMIENTO.....	104
7.1. Relación beneficio-costo (B/C) de las repa- raciones de los principales componentes de la turbina Francis.....	105

	<u>Pág.</u>
8.- BENEFICIOS DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.....	112
8.1. Beneficio en tiempo-dinero.....	112
8.2. Desarrollo de nuestro medio industrial.....	113
CONCLUSIONES.....	115
BIBLIOGRAFIA.....	117
APENDICE.....	119

PROLOGO

La confiabilidad y seguridad del servicio de generación hidráulica depende fundamentalmente del mantenimiento de las centrales de generación y dentro de ellas las turbinas hidráulicas.

En el presente trabajo hemos tratado de resumir los aspectos más importantes del mantenimiento de turbinas Francis, así como también lo referente a un sistema de mantenimiento computarizado, que será de utilidad para todas las personas relacionadas con este importante campo del mantenimiento.

Vaya mi agradecimiento muy especial a mi maestro y amigo Ing. Reynaldo Villanueva, que en todo momento me brindó su apoyo y colaboración, también a los siguientes señores: Sr. Ricardo Árana Tello (Jefe de mantenimiento preventivo), Sr. Jorge Prado O. (2do. Jefe de mecánica hidráulica), Sr. Edgard Salazar (1er. Jefe de mecánica hidráulica), así como a todas las personas del taller Moyopampa, por las facilidades y consejos brindados para la confección de este trabajo.

INTRODUCCION

El presente trabajo tiene como propósito principal optimizar las actividades del mantenimiento mecánico de las turbinas Francis de la Central Hidroeléctrica "GINO BIANCHINI" - HUAMPANI, con la ayuda de las herramientas de software de aplicación, así como también dar a conocer las nuevas técnicas de mantenimiento que se vienen utilizando en otros países y que actualmente se están ensayando en la reparación de algunos componentes de las turbinas Francis.

Antes de empezar a detallar cualquier actividad que realice el servicio de mantenimiento es necesario conocer los desgastes que se producen en los elementos de las turbinas Francis, por ello el capítulo 2 está orientado a cumplir dicho objetivo ya que si sabemos en que forma ocurre el desgaste estaremos en condiciones de seleccionar la manera más correcta y apropiada de prevenir y/o subsanar dichos fenómenos.

Dado que la seguridad y confiabilidad del servicio de generación eléctrica depende básicamente del mantenimiento de las turbinas hidráulicas, las actividades del mantenimiento están encargadas a personal especializado y experimentado; el capítulo 4 refleja simplemente la expe-

riencia profesional de este personal.

En el capítulo 5 se describe la aplicación de los revestimientos cerámicos y elastoméricos en la recuperación de los blindajes de fondo y codos difusores respectivamente.

Para una planificación y programación eficaz, es necesario disponer de una serie de documentos que permitan registrar la gran cantidad y complejidad de datos de las instalaciones a mantener.

En el campo del mantenimiento, los aspectos de gestión en general y las decisiones urgentes en especial, requieren tener actualizados toda la información en forma eficaz.

El proceso automático de datos, al menos en principio, parece ser una solución a este problema; basándonos en esto hemos desarrollado el capítulo 6 el cual trata sobre los medios adecuados para mejorar la gestión de las actividades del servicio de mantenimiento.

El capítulo 7 muestra un estudio económico de las reparaciones más importantes, ya que como se sabe el aspecto económico es fundamental en todo proyecto.

Es de conocimiento público que actualmente la Universidad, como todo ente del país, sufre de grandes penurias en todo orden de cosas. Para ilustrar un ejemplo, se puede citar el caso de la búsqueda de información. Las bi-

bliotecas de estas Instituciones tienen pocos libros, la mayoría de ellos con bastantes años de antigüedad, y casi no cuentan con revistas recientes. No existe infraestructura que facilite la pronta obtención de la información que se indaga; esto limita a revisar sencillamente información acerca de tecnologías ya conocidas y empleadas en el medio.

Debemos destacar que se ha llegado a sentar base, en lo que podría llamarse en su primera fase, la implementación de un sistema de mantenimiento computarizado para las turbinas Francis; para ello se muestran algunos ejemplos realizados utilizando las herramientas de software de aplicación.

CAPITULO 2
DESCRIPCION DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA
GINO BIANCHINI - HUAMPANI

La demanda cada vez más creciente del fluido eléctrico de la Ciudad de Lima y Balnearios, hace que la curva de crecimiento de carga sea progresivamente más empinada año tras año, y la consiguiente preocupación de la dirección de las compañías eléctricas en la previsión y construcción de nuevas centrales, capaces de cubrir la demanda. Es así como aprovechando las aguas del sistema fluvial del Rimac, se construyeron la central de Callahuanca y su ampliación posterior, la central Moyobamba y finalmente la central GINO BIANCHINI - HUAMPANI, cuyo funcionamiento de esta última central empezó en 1960.

La central hidroeléctrica está ubicada a la altura del kilómetro 25 de la carretera Central, sobre la margen derecha del río Rimac y a 645 mts. sobre el nivel del mar; sustituye a la antigua central de Yanacoto, cuya potencia de 10,000 Kw, queda englobada en los 30,000 Kw de la central de Huampani.

2.1 CARACTERISTICAS GENERALES.

Los elementos principales que constituyen la

instalación hidroeléctrica son (ver dibujo No. 1):

2.1.1 Toma.—

La Central Hidroeléctrica de Huampaní utiliza la toma de la antigua central de Yanacoto, situada en el pueblo de Chosica. Tiene instalado cinco compuertas nombradas A, B, C, D y E, en sustitución de las antiguas 1, 2 y 3; estas compuertas son también de funcionamiento manual o eléctrico de fabricación VOITH.

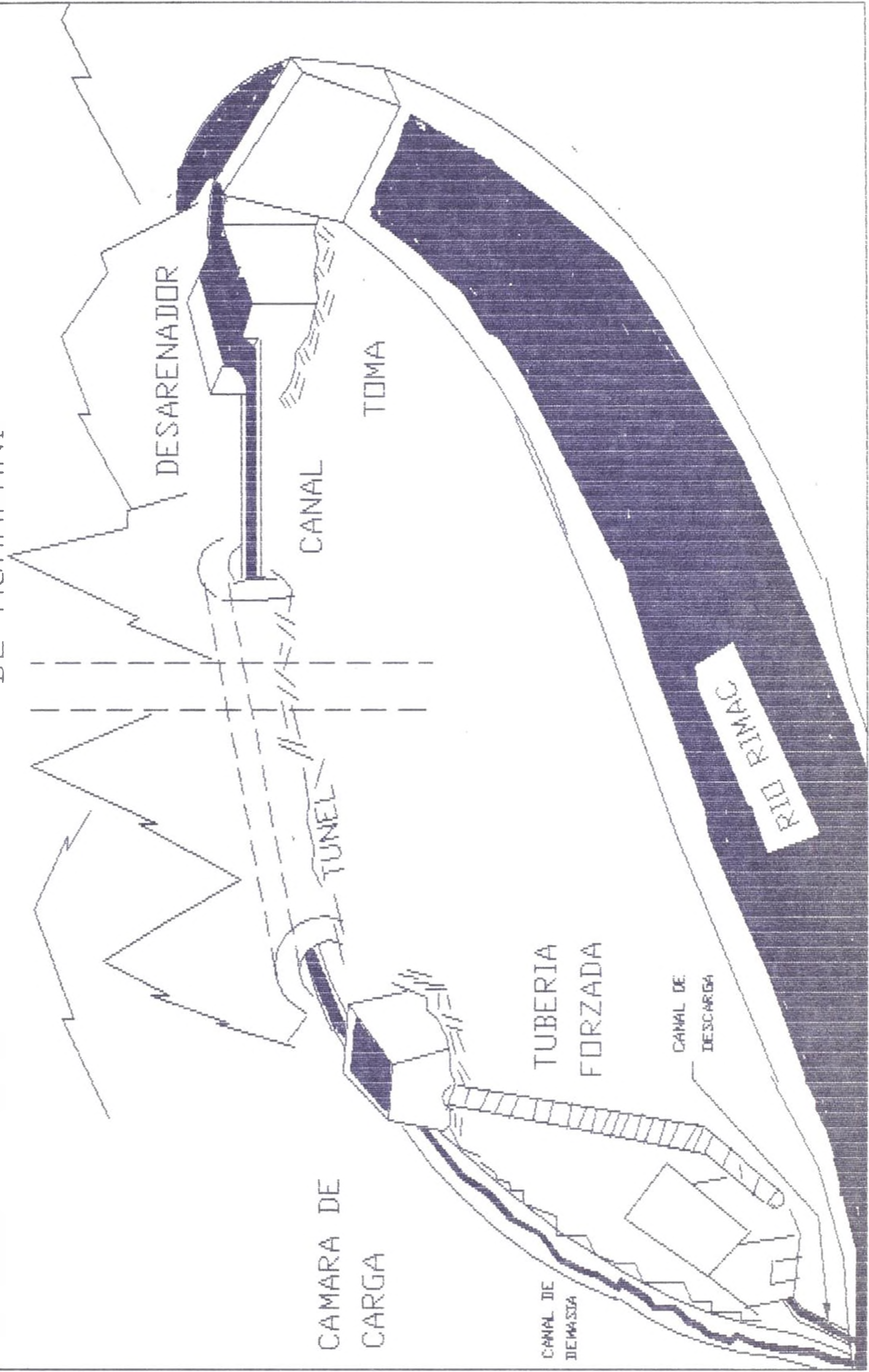
En lugar de las rejas de paletas antiguas, se han instalado otras rejas de paletas móviles de funcionamiento manual, formado por tres tramos de 5.60 mts. de largo y constituyen una reserva en el caso que se obstruyan las rejas antiguas que son las que normalmente están en servicio.

Cada una de las tres cámaras desarenadoras antiguas, han sido provistas con tres desarenadores piezométricos, equipados con sus respectivas compuertas de funcionamiento manual.

2.1.2 Canal.—

El canal es de sección rectangular de 17 Km. de longitud hasta la taza de Yanacoto y

DIBUJO No 1 ESQUEMA DE LA INSTALACION HIDROELECTRICA DE HUAMPANI



cuya capacidad es de 21 m³/s; distribuida a lo largo del recorrido del canal, existen 9 compuertas pequeñas y 9 sifones (3 a 4" \varnothing) para riegos de las propiedades colindantes.

2.1.3 Túnel acueducto.

El túnel acueducto comienza en el Hectómetro 44 y tiene instalado en la boca de entrada, una compuerta manual; la longitud del túnel es de 5,800 mts., con una sección de 12 mts.² en la zona próxima a la boca de entrada y de 25 m² en la boca de salida siendo su capacidad de 21 m³/s.

En su tramo terminal y en un largo de cerca a 800 mts., el túnel va ensanchándose progresivamente para formar con la taza un pulmón capaz de almacenar 12,000 m³ de cota a cota - 2.70mts (capacidad estática).

Cinco ventanas numeradas del 1 al 5 a partir del canal, señalan su trayectoria exteriormente; sólo la ventana 1 tiene compuertas para riegos (2 compuertas pequeñas).

2.1.4 Taza.

La boca de salida del túnel acueducto cul-

mina en la taza (cámara de carga) que es un castillo de mampostería de concreto, provisto de cámaras de decantación y 8 compuertas desarenadoras de funcionamiento manual y 7 vertederos de 4 mts. de ancho para la evacuación del agua durante descargas intempestivas, que se verterían al canal de desahua (lado derecho de la taza) o para el rebose normal en el caso de exceso de agua.

En el tramo final de la cámara de carga, en forma transversal, hay instalada en todo el ancho una reja de platinas con distanciadores de 40 mm. para detener los materiales de arrastre en su mayor parte flotantes, e impedir su ingreso a la cámara de carga propiamente dicha, donde comienza la tubería forzada.

2.1.5 Tubería de presión.

Características:

Una tubería con bifurcación (pantalón) en la parte inferior.

Longitud (mts): 420 (más los 23.70 mts de pantalón).

Diámetro interior (mts): 190/2.10 (1.3 en el pantalón).

2.1.6 Casa de máquinas.

Dirección:

Camino de acceso al centro vacacional de Huampaní, distrito de Lurigancho, Provincia de Lima, Departamento de Lima.

Ubicación geográfica:

+ Longitud: W 76° 47'

+ Latitud : S 11° 58'

Características físicas:

Edificio de concreto armado, de estructura asimétrica, que ocupa una superficie de 1,735 m².

Equipo de generación:

Turbinas:	Grupo No 1	Grupo No 2
Tipo	Francis doble	Francis doble
Eje	horizontal	horizontal
Fabricante	CHARMILLES	CHARMILLES
potencia	15,680	15,680
altura caída (m)	170	170
Velocidad nominal	720	720
Veloc. embalamiento (rpm)	1,300	1,300
caudal (m ³ /s)	10.5	10.5

Generador:

Tipo	W-190-10	W-190-10
------	----------	----------

fabricante	BROWN-BOVERI	BROWN-BOVERI
potencia nominal (KVA.)	22,400	22,400
factor de potencia (Cos ϕ)	0.7	0.7
tensión nominal (V)	10,000	10,000
Corriente (A.)	1,300	1,300
frecuencia (Hz.)	60	60
Velocidad nominal (rpm)	720	720
Veloc. embalamiento (rpm)	1,300	1,300
tensión de excitación (V)	145	145
corriente excitación (A.)	630	630

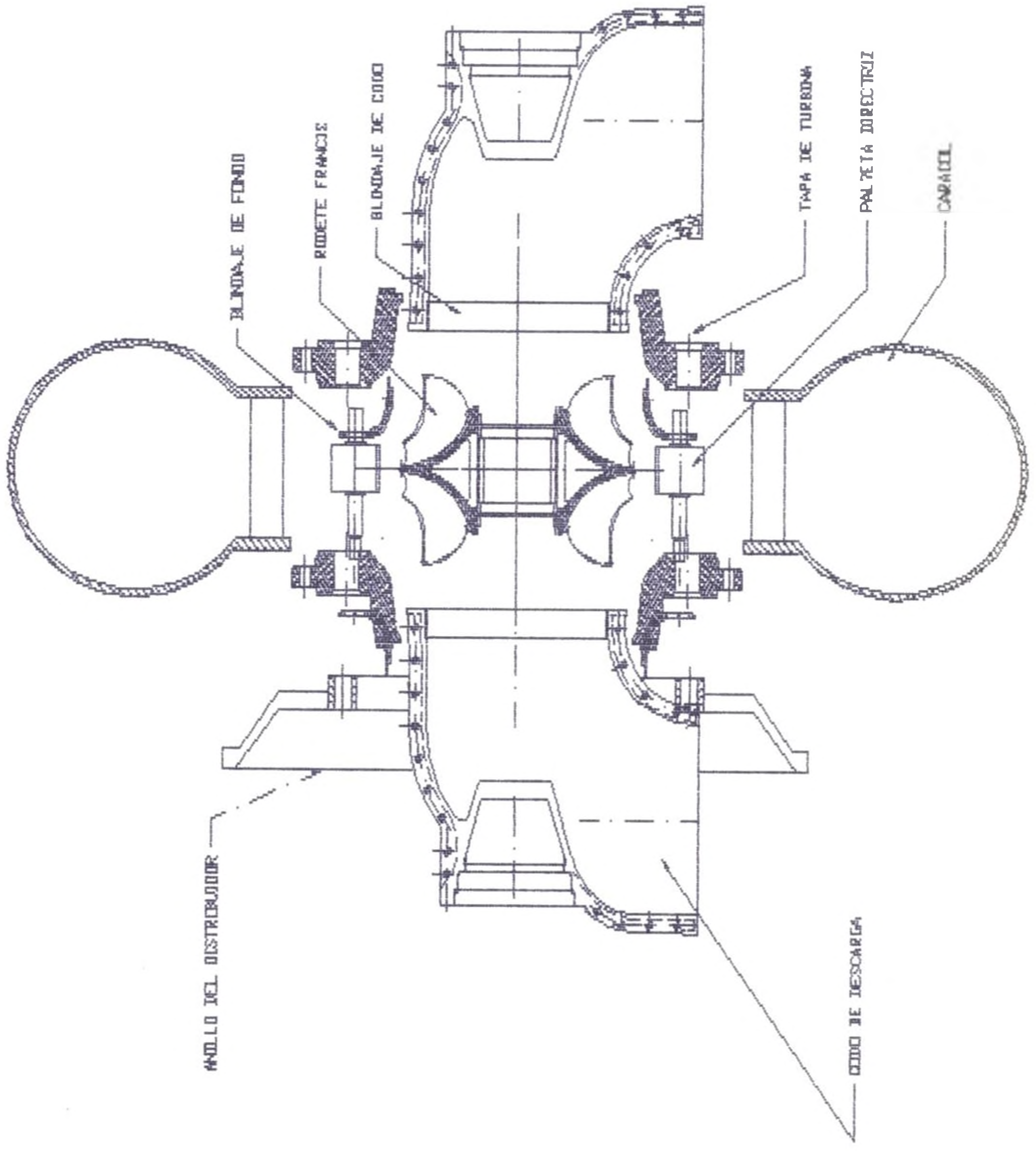
2.2 LA TURBINA FRANCIS.-

La turbina Francis, instalada en la central hidroeléctrica "GINO BIANCHINI", es una turbina de eje horizontal, tipo normal ($n_s = 170$), de reacción y radio-axial. Una vista de corte de los elementos que componen dicha turbina, se muestra en el dibujo No. 2.

El principio de operación de la turbina es el siguiente: (ver dibujo No. 3).

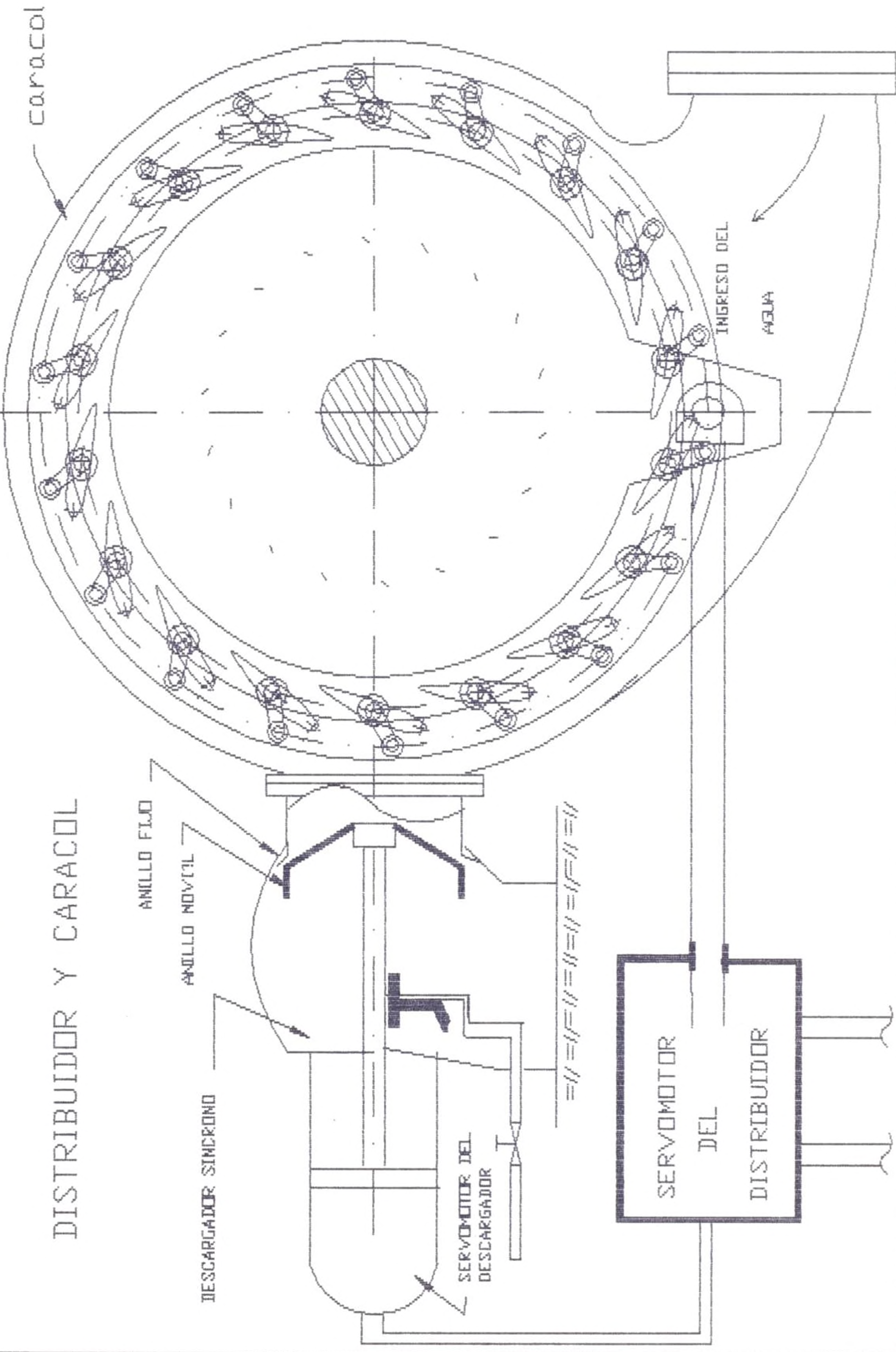
El agua procedente de la tubería forzada entra en la cámara espiral, después en el distribuidor y finalmente en la rueda motriz, donde transforma su energía hidráulica en energía mecánica, transmitiendo dicha energía por el eje de turbina. El agua sale por el tubo de desfogue el cual consta de un codo y un tubo difusor.

DIBUJO No. 2 TURBINA FRANCIS: VISTA DE CORTE DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS



DIBUJO No 3 DESCARGADOR SINCRONO, ANILLO DEL

DISTRIBUIDOR Y CARACOL



La variación de la presión y de la velocidad del agua a través de los elementos que componen una turbina de reacción, puede verse en el dibujo No. 4.

2.2.1 Elementos constitutivos - materiales que se utilizan.

Los elementos constitutivos de la turbina Francis son:

2.2.1.1 Caja espiral o carcaza.

También denominada voluta, convierte la energía de presión en energía de velocidad debido a un cambio gradual de áreas.

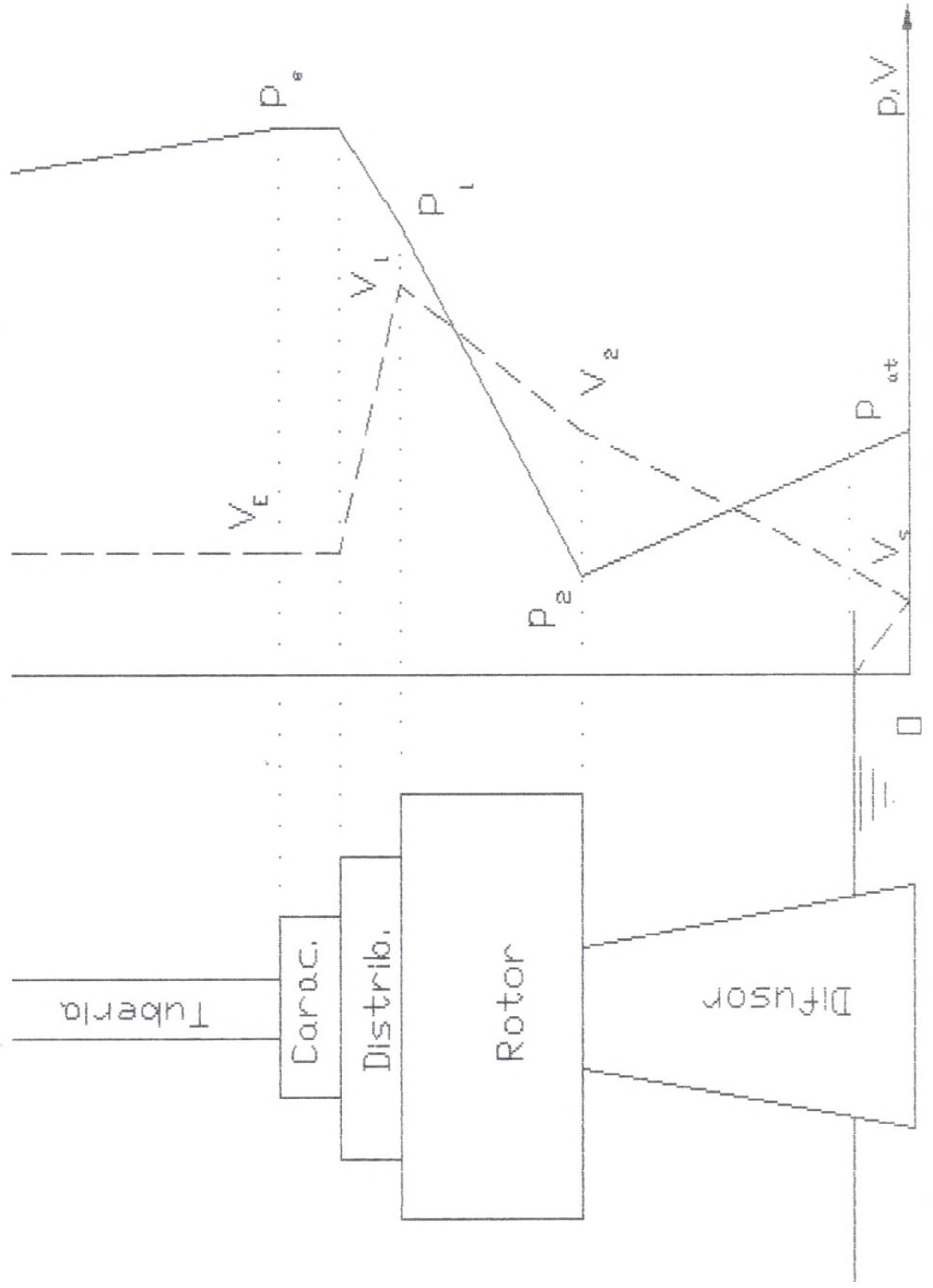
El material usado es de acero fundido.

2.2.1.2 Distribuidor.

Podemos decir que el distribuidor se compone de :

- Paletas directrices, en total son 18 álabes móviles, dispuestos a lo largo de toda la periferia del rodete, entre esta y la espiral. Tiene como función guiar el agua en dirección más conveniente a los álabes del rodete y regular el gasto que penetra a dicho ele-

DIBUJO No 4 VARIACION DE LA PRESION Y DE LA VELOCIDAD DEL AGUA EN LOS ELEMENTOS DE LA TURBINA.



mento. El peso aproximado del juego de paletas es de 900 Kgs. y el material es COR 13.4 Martensítico.

- Anillo del distribuidor. es el mecanismo por el cual se transmite el movimiento giratorio a las paletas directrices, por medio de las bielas y de las palancas.

- Tapas. viene a ser el elemento unión entre carcaza, codo y el anillo distribuidor.

- Blindajes. son los elementos de protección de las tapas y se fabrican de fierro fundido.

2.2.1.3 Rodete.-

La rueda es de una sola pieza de fundición. Los perfiles de los álabes juegan una importancia primordial para el rendimiento de una turbina Francis, el peso aproximado de dicho rodete es de 1,640 kgs.

Debido a la importancia del rodete, es necesario conocer los materiales

usados en la fabricación de dichos rodetes.

En los últimos 20 años el acero martensítico (Cr 13%) se convirtió en el acero clásico para turbinas en hidroeléctricas. A pesar de las grandes ventajas que presentaba, tenía su principal limitación en:

- La tenacidad limitada por el porcentaje de carbono (0.1 a 0.2%)
- La soldabilidad también limitada por el porcentaje de carbono el cual proporcionaba una estructura extremadamente susceptible al endurecimiento.

Fue entonces que se emprendió el desarrollo de los aceros al Cromo Blando Martensíticos, los cuales fueron desarrollados a partir del acero al 13% de cromo.

Los aceros al Cromo Blando Martensíticos de mayor uso hoy en día son 13/4 (Cr-Ni), 13/6 (Cr-Ni), y 16/5/1 (Cr-Ni-Mo), y dentro de este tipo de aceros, el acero 13/4 es el que más preponderancia ha alcanzado. Las carac-

terísticas principales de este acero son las sgtes.:

- Resistencia a la corrosión.
- Alta resistencia mecánica.
- Alta tenacidad.
- Buena resistencia a la erosión y cavitación.
- Buena resistencia a la fatiga.
- Buena soldabilidad.

La disminución del porcentaje de carbono ha influido notablemente en la obtención de las características arriba mencionadas, ya que este elemento no sólo influye sobre la dureza de la estructura Martensítica, si no que también ejerce notable influencia sobre el porcentaje de Ferrita delta (Fe-S) reduce la tenacidad del depósito; el aumento de Niquel amplía el campo de existencia de la Austenita, lo que ocasiona una disminución del contenido de Ferrita - delta, con porcentajes de Niquel encima de 3%, la formación de Ferrita-delta es suprimida totalmente.

Existen diferentes standards para este Acero, los rangos de composición

química que exigen son bastante semejantes, existiendo siempre una tendencia hacia la reducción de los porcentajes de carbono. En la siguiente tabla mostramos la composición química nominal:

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
0.08 máx	0.05	0.05	12.5	3.8	0.5

Según la norma DIN, este acero se designa: G - x Cr Ni 13.4

A continuación mostramos los valores mecánicos para el acero en mención (13/4).

- Resistencia a la tracción : 80-95 Kg/mm².
- Límite elástico 0.2 : 60 Kg/mm².
- Valores de impacto a diferente temperatura (probeta de rotura con standard suizo):
 - + 30 ° C : 8 Kg-m/cm²
 - 0 ° C : 7 Kg-m/cm²
 - 10 ° C : 6 Kg-m/cm².

2.2.1.4 Tubo difusor.

El tubo difusor comienza en un codo

Llamado codo difusor de acero fundido y cuyo peso neto es de 1,350 Kgs., el cual conduce el agua que sale del rodete al tubo difusor propiamente dicho.

2.2.1.5 Descargador síncrono.-

Viene a ser el elemento de protección que evita el golpe de ariete en la tubería forzada. En servicio normal (descargador síncrono) debe poseer un cierre hermético que se logra a través de los anillos, uno fijo y otro móvil; estos elementos son de acero inoxidable y sufren desgastes por erosión, conforme aumentan los desgastes se incrementan las pérdidas y se programa el cambio para su reparación.

También sufren desgastes, aunque en menor proporción, la cruzeta y la bocina móvil, que también se repara con soldadura apropiada.

2.2.2 Desgastes más frecuentes en el Rodete Francis y demás elementos constitutivos de la turbina.-

Origen de los desgastes.-

El desgaste es la pérdida de partículas metálicas de la superficie de una pieza por la

acción directa o por combinación de una serie de factores.

Como se sabe, el Perú cuenta con grandes recursos energéticos en todo su ámbito territorial. Los innumerables ríos tienen sus orígenes en las alturas en donde el relieve es muy accidentado, y debido a las pendientes muy pronunciadas y a la naturaleza del terreno por donde los ríos discurren, las aguas avanzan estrepitosamente con fuerte poder erosivo en sus cauces, los que se ahondan profundamente formando cañones, saltos, cascadas, etc.; por lo tanto arrastran un alto porcentaje de material erosivo, partículas de mineral muy pequeños en gran cantidad que con la energía cinética que les proporciona la velocidad del agua se convierten en agentes destructivos para los rodetes y accesorios de las turbinas hidráulicas.

Si conocemos en que forma ocurre el desgaste estaremos en condiciones de seleccionar la manera más correcta y apropiada de prevenir dichos fenómenos.

Los tipos de desgaste que se producen son:

2.2.2.1 Desgaste por erosión.

La erosión es uno de los desgastes

más comunes que se presenta en los rodetes Francis y es debido a la acción de partículas sólidas en suspensión.

Los desgastes producidos por erosión se caracterizan por la forma ondulada y el lustre apagado de las superficies en el área erosionada.

En las centrales hidroeléctricas, por lo general, el agua utilizada para alimentar las turbinas contiene sustancias ajenas en forma de arenas, minerales y mezclas terrosas que son incontrolables cuando no se cuenta con buenos equipos de remoción y limpieza de arena, o los que se tiene no son los más adecuados.

Debemos recalcar en igual forma que el desgaste ocasionado por la arena viene sumado en algunos casos por agentes químicos, es decir cuando el fluido trae consigo impurezas químicas activas en proporciones considerables. estos contenidos químicos se encuentran por lo general, en aguas que han sido utilizadas en los relaves de las minas,

ocasionando aún mayores desgastes no sólo en el rodete si no en todo componente que estuviera en contacto con ella.

2.2.2.2 Desgaste por cavitación.

Es el desgaste que sufre un metal por acción de líquidos que están en movimiento. Este fenómeno de desgaste ocurre como resultado de la rápida formación y el hundimiento de diminutas burbujas de gas en un líquido, como consecuencia de las variaciones de presión originadas en su interior por los cambios de velocidad.

En otras palabras cuando un líquido se mueve en una zona donde la presión es menor que la presión de vapor (saturación); este hierve formándose burbujas de vapor en su seno. Estas burbujas formadas por el motivo mencionado son arrastradas en su trayectoria a zonas de mayor presión y el vapor formado se condensa violentamente originando ondas de presión de gran frecuencia de succión, aproximada a 70,000 ciclos/seg.

Si las burbujas de vapor están proximas (o en contacto) a una pared sólida, cuando desaparecen las fuerzas que el liquido ejerce al introducirse violentamente en las cavidades, crean presiones localizadas muy altas que dañan la superficie sólida.

La presencia de la cavitación depende básicamente de los siguientes factores:

- Las condiciones de salida del agua en los álabes.
- Las características ligadas íntimamente al diseño y construcción de la máquina, tales como las formas de las piezas, perfiles de los álabes.
- Condiciones y características de la instalación tales como altura de caída, altura de aspiración y el medio de instalación con respecto al nivel del mar.

La cavitación depende básicamente de la variación de la presión llegando hasta la de saturación del vapor, lo

cual puede presentarse de varias formas
formas, tales son:

a) Cavitación general.

Esta manifestación es general cuando la presión media del sistema ha alcanzado la presión saturante del vapor y esto se deberá a:

- aumento de la altura de aspiración de la máquina.
- Disminución de la presión atmosférica
- Aumento de la temperatura de fluido.

b) Cavitación local.

Que acontece a consecuencia de que el flujo encuentra alguna obstrucción, obstáculo o accidente a su paso, podemos poner como ejemplo cuando existe alguna rugosidad en una pared del rodete, esta trae como resultado una distribución no uniforme de las velocidades y por ello la depresión que origina el inicio de la cavitación.

c) Cavitación transitoria.

La cavitación permanente es la más

peligrosa. Algunos órganos de un sistema hidráulico están pendientes de la cavitación transitoria, al realizar algunas maniobras y en cierto modo puede ser aceptable; por el contrario si existe cavitación permanente entonces las superficies expuestas a este fenómeno están propensas a todas sus consecuencias de un modo permanente.

La frecuencia del fenómeno "cavitación" se detecta particularmente en las maquinas hidráulicas por las siguientes señales:

- a) Un cambio de las características de la máquina.
- b) Degradación de la energía, es decir aumento de las pérdidas de carga y por consiguiente la disminución de la eficiencia de la máquina.
- c) Ruidos, trepidaciones, explosiones, como si el agua arrastrase piedras por la turbina.
- d) Formación de cavidades y superficies porosas que terminan por gastar los rodetes.

2.2.2.3 Desgaste por fatiga del material.

En términos generales la "fatiga" viene a ser el deterioro o el aparente desfallecimiento gradual de un material que está sujeto a cargas variables, trayendo como consecuencia que el metal sufra roturas o grietas con cargas muy inferiores a su resistencia a la rotura para un esfuerzo de tensión constante. En los rodetes Francis, así como en los álabes directrices existe la fatiga y de ello depende la vida útil así como también el número de reparaciones a que se le somete.

Las sollicitaciones a que puede estar sometido un material son los siguientes tipos: intermitentes, pulsatorias, simétricas o disimétricas.

Ni la duración del metal ni la clase de rotura es la misma si la pieza está sometida a esfuerzos de flexión, de tracción o de torsión.

Debido a estos esfuerzos se origina la fatiga ya que al incidir estas fuerzas constantemente o al incidir en una

superficie de un cierto cuerpo van cansando el material de éste, llegando finalmente al límite de fatiga en donde la pieza está ya a expensas de posibles roturas ya sean parciales o totales.

En cuanto a los rodetes Francis, podemos afirmar que si existe fatiga, dependiendo íntimamente del tiempo de servicio, de las reparaciones por soldadura y de las variaciones de carga de la turbina.

En cuanto al funcionamiento de las turbinas Francis, todos los espacios entre los álabes del rodete están llenos de fluido, incluso el tubo difusor que va desde el rodete al canal de carga; lógicamente podemos decir que no hay choque directo del fluido en los álabes del rodete, pero si una fuerza constante en cada álabe, ya que el chorro de agua que sale de estos ejerce una reacción sobre la cámara de los álabes cuya componente horizontal se convierte en una fuerza periférica.

Entonces, si la turbina está tra-

bajando en vacío (sin carga) a una velocidad constante, estas fuerzas periféricas permanecen con una cierta intensidad, luego al comenzar a tomar carga (suministrar energía eléctrica) estas aumentan hasta hacerse estables si la carga permanece constante, pero como se sabe el consumo de energía eléctrica es variable aunque en pequeñas proporciones y con el tiempo, van fatigando el material, incrementándose este fenómeno cuando se tienen variaciones de cargas bruscas (sobrecargas) que de una u otra manera se presentan. En las horas punta se necesita mayor torque mecánico es decir mayor fuerza periférica, estos cambios de carga en función del tiempo de servicio es lo que produce la fatiga.

Aparte de esta causa descrita que origina la fatiga del material existen otras tales como la formación y colapso de gran número de burbujas (cavitación) en la superficie de los álabes que someten a sollicitaciones locales intensas que a la larga dañan dichas superficies por fatiga.

De igual manera las continuas reparaciones por soldadura que se realicen en los rodetes Francis van incrementando la fatiga, ya que en este proceso (soldadura) se originan tensiones y contracciones que van deteriorando al material. Es por ello que en el proceso por soldadura se procura utilizar materiales de alta resistencia a la fatiga, similares al material original del rodete.

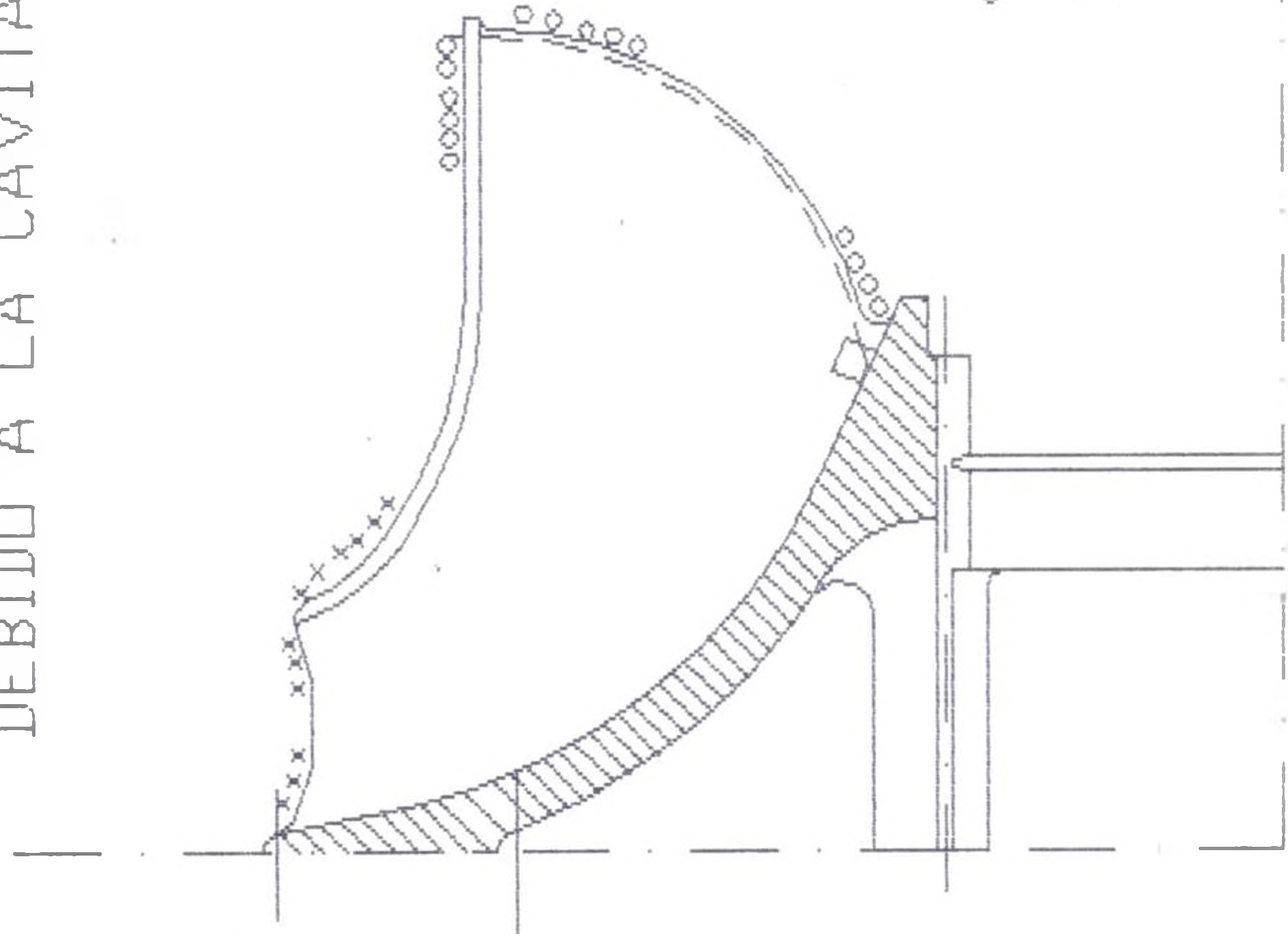
Debemos tener en cuenta que debido a este fenómeno se da de baja a los rodetes, aun cuando ellos presenten superficialmente buenas condiciones ya que es la estructura molecular del material la que cambia y la que puede observarse sólo en laboratorios especiales.

2.2.2.4 Desgaste en los rodetes Francis.

Los desgastes ocasionados en los rodetes Francis se presentan por lo general en las siguientes partes (Ver figuras Nos. 5, 6a y 6b) :

- En la entrada y salida de los álabes,

DIBUJO No 5
DESGASTE EN EL RODETE FRANCIS
DEBIDO A LA CAVITACION Y EROSION



○ ○ ○ CAVITACION

X X X EROSION



incrementándose más en la parte convexa e inferior de los mismos.

- En las coronas de la rueda.

a) Erosión y cavitación a la entrada de los álabes:

En esta zona se producen por lo general erosiones y considerables cavitaciones anormales. En cuanto a la erosión debido a la constante fricción producida por los sólidos en suspensión que lleva consigo el agua turbinada, desgastando de manera uniforme la superficie a la entrada de los álabes, incrementándose en mayor proporción en las épocas de avenida donde el agua arrastra en su seno muchos sólidos en suspensión (meses enero, febrero, marzo), es por ello de que se trata siempre de que las superficies del rodete estén lo más pulida posible, sin ninguna ondulación, para que el fluido tenga un camino sin dificultad, de igual forma el el ángulo de entrada al término de la reparación debe de permanecer de acuerdo o a las condiciones de mayor rendimien-

to que se hayan establecido de acuerdo al trabajo (en caso de una modificación). De igual forma se originan también desgastes por cavitación y estos se producen en la parte convexa inferior de los álabes; la existencia de este tipo de desgaste es a consecuencia de que la erosión, en primera instancia, desgasta por la constante fricción el ángulo de entrada haciéndolo variar de manera que este cambio de forma hace fácil la formación del desgaste por cavitación (cavitación local).

b) Erosión y cavitación a la salida de los álabes.

De igual forma a la salida de los álabes del rodete se origina el desgaste por cavitación, siendo este fenómeno análogo al desarrollado en la entrada de los álabes, pero más intenso debido al incremento de la velocidad del fluido, ya que la sección de salida es menor que la sección de entrada. La zona más propensa a estos tipos de desgaste es la parte baja del rodete y en la zona de mínima presión en régimen normal.

2.2.2.5 Desgaste en los álabes directrices y blindajes.

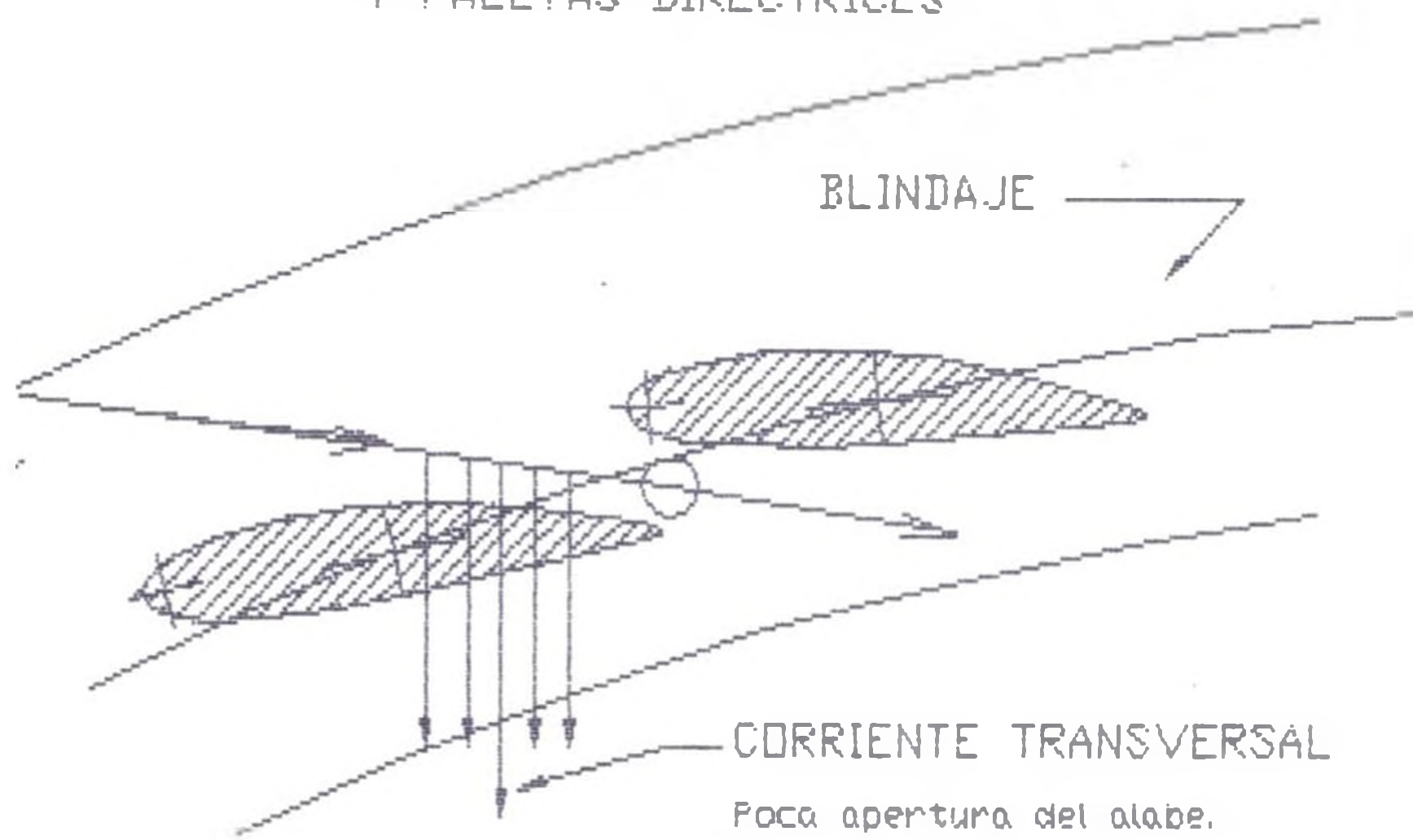
Los desgastes que sufren las paletas directrices es generalmente por erosión y se muestran en el dib. No. 8.

Los blindajes por cumplir la función de protección de las tapas, sufren demasiado desgaste por erosión; el estado de desgaste de los blindajes determinan prácticamente el cambio de turbina. Ver dibujo No. 9.

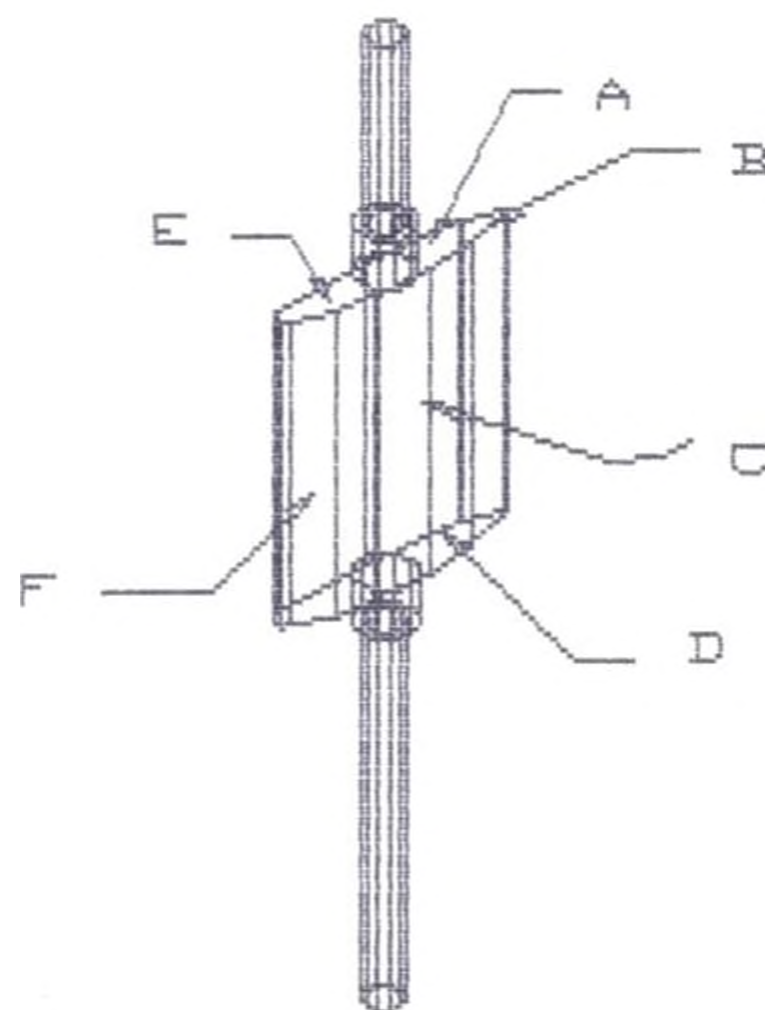
Los lugares más expuestos a la erosión, son aquellos que se encuentran entre los costados de las paletas y los blindajes de las tapas. Considerando los sólidos llevados por el agua, se tiene que efectuar revisiones y reparaciones después de un determinado número de horas de servicio de las turbinas.

Los daños de mayor importancia, entre los costados de las paletas y de los blindajes de las tapas, son originados por flujos transversales del agua (ver dibujo No. 7).

DIBUJO No. 7 FLUJOS TRANSVERSALES EN BLINDAJE
Y PALETAS DIRECTRICES



DIBUJO No 8
ZONA DE DESGASTE
DE UNA PALETA
DIRECTRIZ



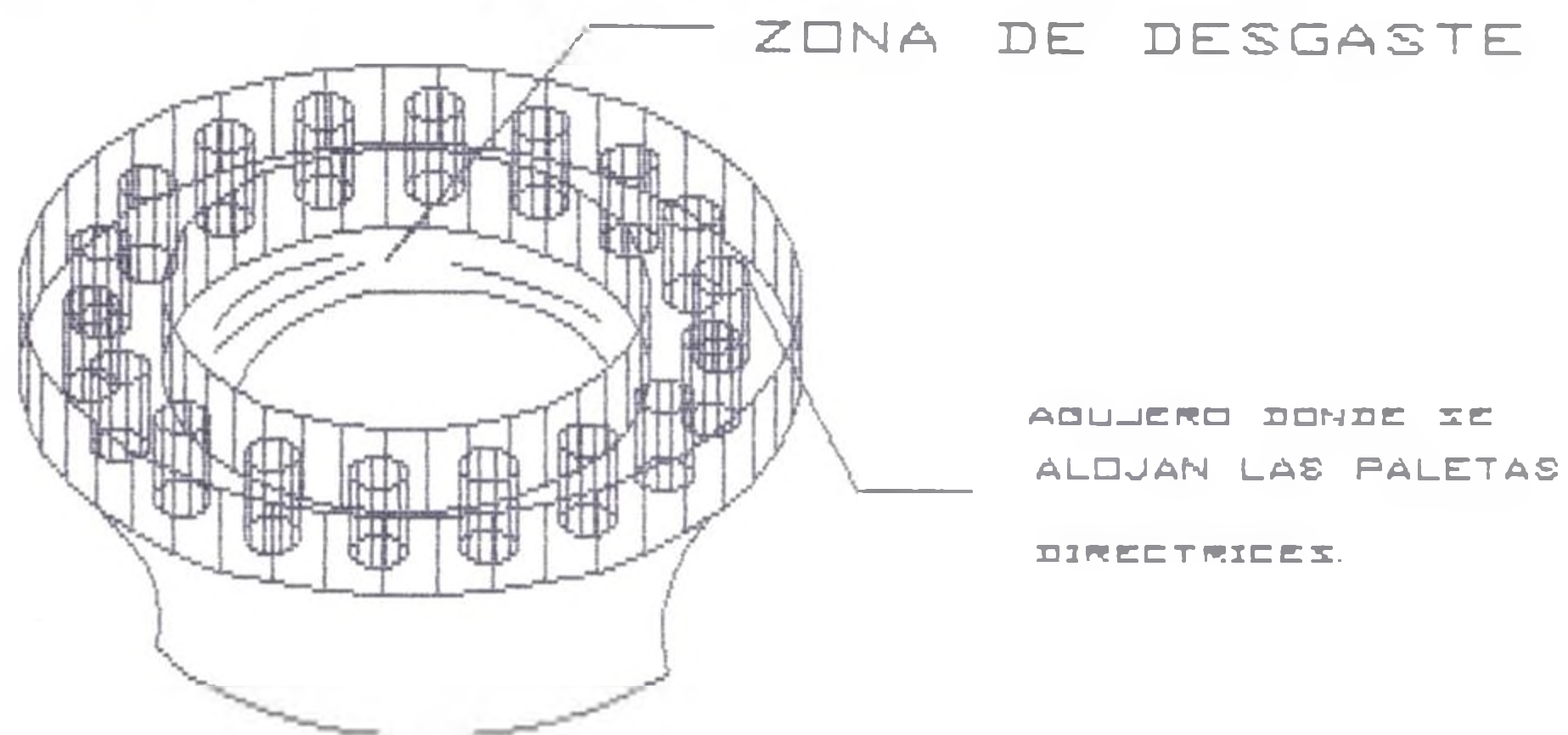
La luz (espacio) entre los costados de las paletas y los blindajes, deben tener una tolerancia de 0.1 a 0.25 mm. La experiencia ha demostrado que la erosión en esos sitios es más fuerte cuando las paletas se encuentran más cerradas; o sea cuando la turbina trabaja con carga parcial, se presenta una corriente (flujo) de alta velocidad en el espacio entre los costados de las paletas y blindajes, lo que motiva la erosión en la región del movimiento de las paletas, tal como se muestra en el dibujo No. 10.

2.2.2.6 Desgaste en los codos difusores.

Sabemos que el agua, sale del rodete a la velocidad absoluta V_2 (ver dibujo No. 4) paralelamente al eje de rotación y entra al codo-difusor con una determinada energía cinética.

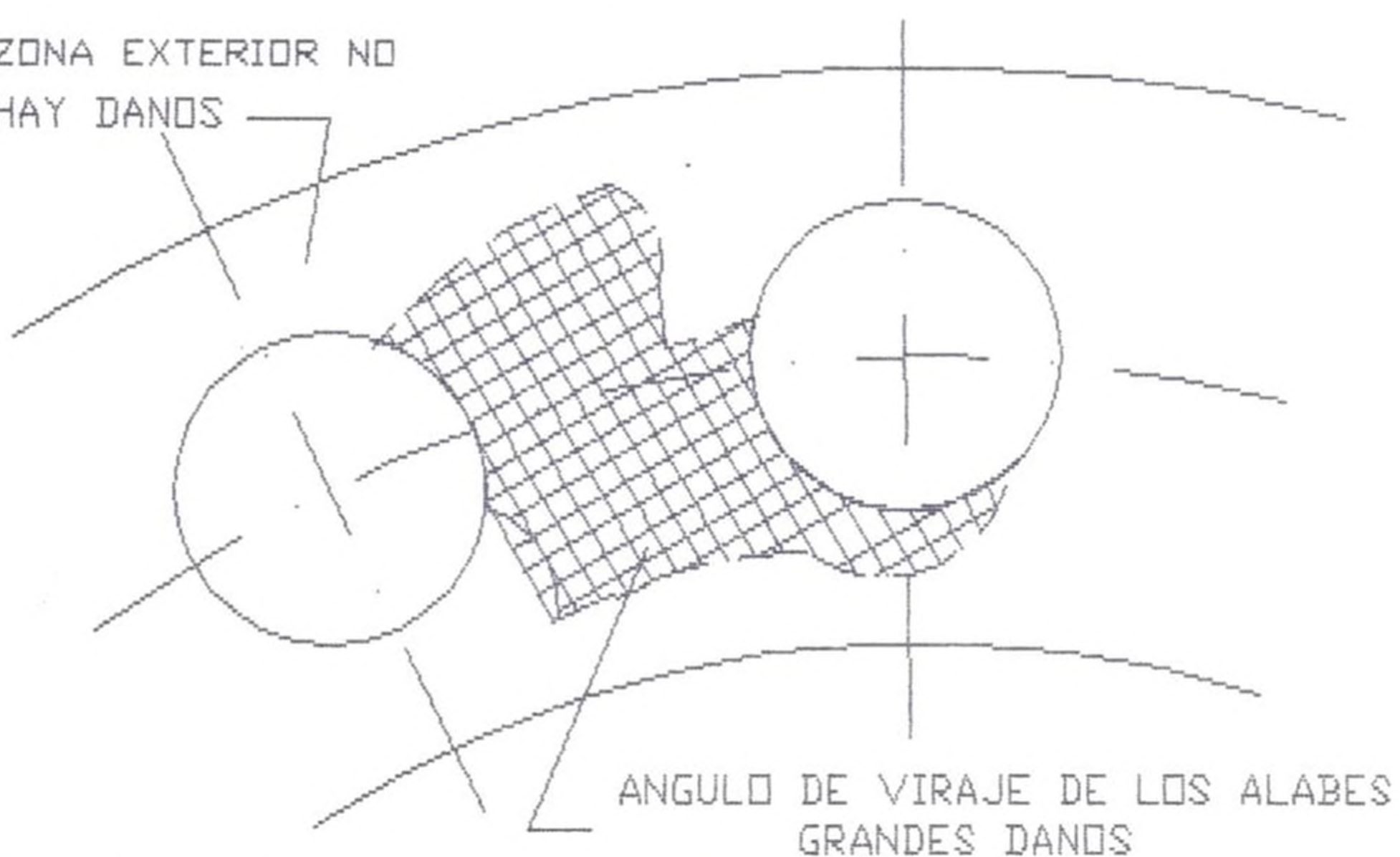
Si la salida del rodete fuera libre, es decir a la presión atmosférica, la anterior energía se perdería totalmente, como en este caso el tubo del difusor constituye un tubo cerrado

DIBUJO No 9 DESGASTE EN BLINDAJE :
zona del perfil del blindaje.



DIBUJO No 10 DESGASTE EN BLINDAJES :
ZONA DE APERTURA DE PALETA

ZONA EXTERIOR NO
HAY DANDOS



entre el rodete y el nivel de descarga, a la cual cae el agua del tubo con la Velocidad V_s , siendo $V_s < V_2$; esto permite aumentar la gradiente de presión en el Rotor, en el valor $(P_{at} - P_2)$, pero se crea una depresión en la zona de salida del agua del Rotor que alcanza valores tan bajos, que origina el fenómeno de cavitación, que ya se explicó anteriormente.

Las zonas dañadas por este fenómeno se muestra en el dibujo No. 11.

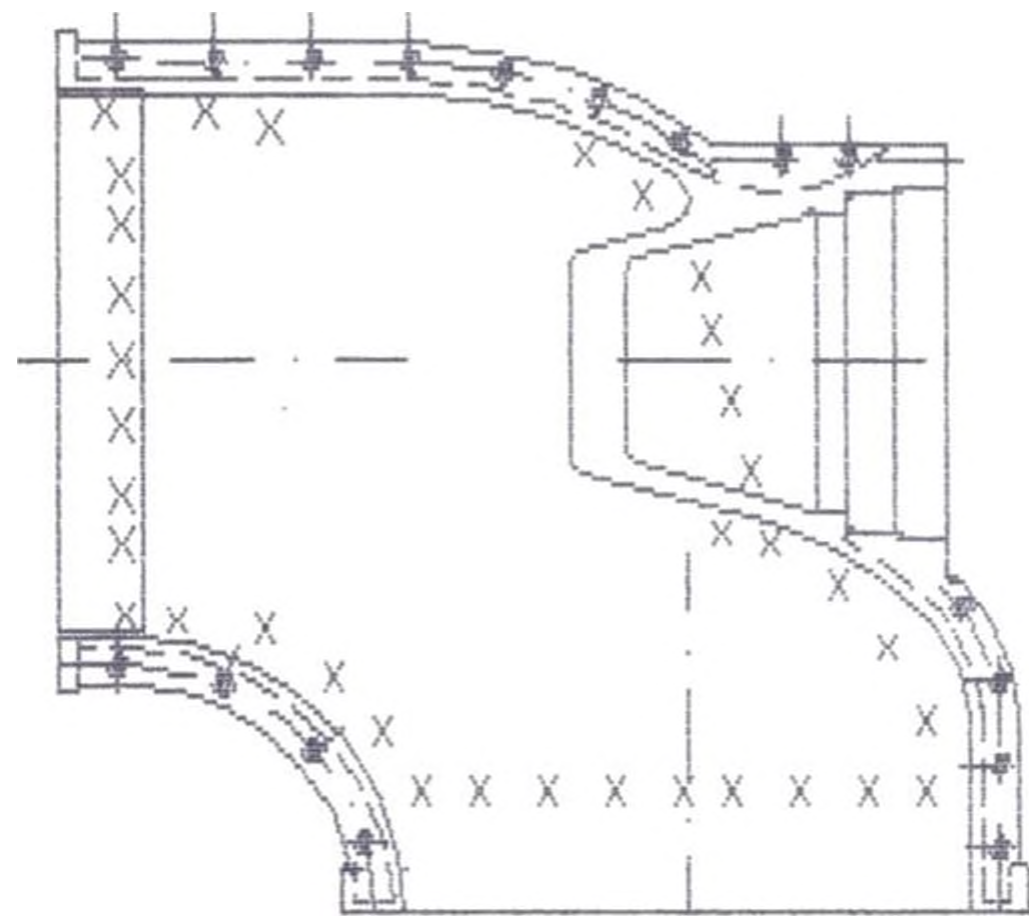
2.2.2.7 Desgaste en las tapas de turbina

Las tapas generalmente no sufren mayor deterioro ya que están protegidas por blindajes que son los elementos de sacrificio; cuando los blindajes sufren severos desgastes, en las tapas llegan a producirse pequeñas erosiones (ver dibujo No. 12), que son eliminados mediante soldadura.

2.2.3 Causas de los fenómenos vibratorios en turbinas Francis.

Las turbinas Francis son particularmente

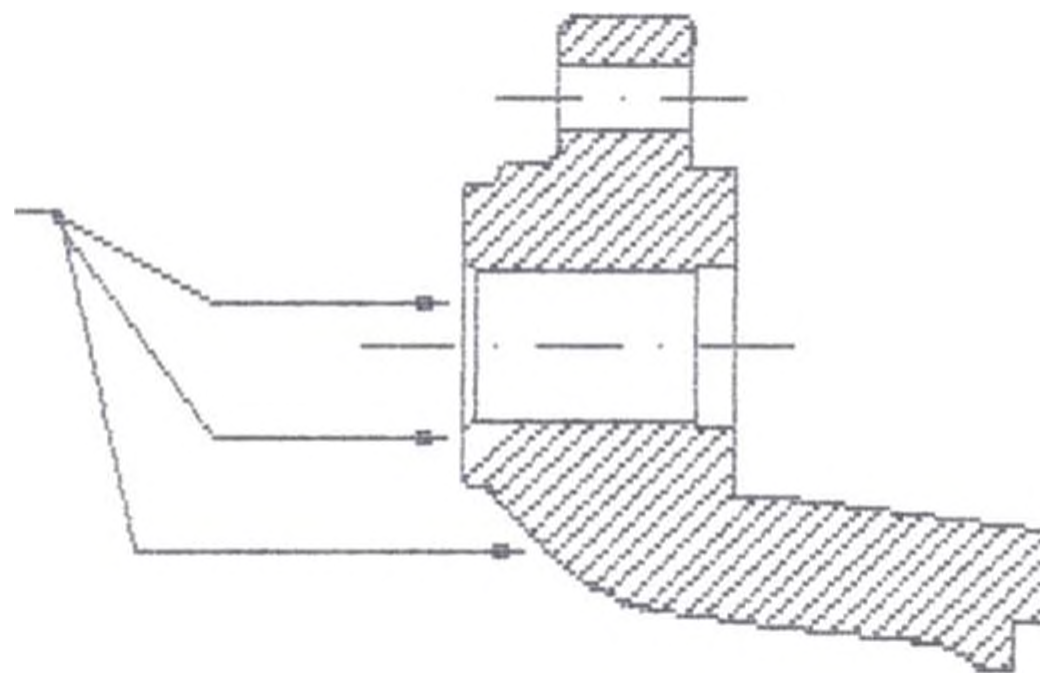
DIBUJO No. 11 DESGASTE EN EL CODO DE DESCARGA



X X X X DESGASTE POR CAVITACION

DIBUJO No. 12 DESGASTE EN LA TAPA DE LA TURBINA

DESGASTES
EN LAS ZONAS
INDICADAS



susceptibles a vibraciones estructurales causadas por el flujo de agua a oscilaciones de potencia (operando a cargas parciales) debido al conocido fenómeno de pulsaciones en el tubo difusor. Las grandes turbinas Francis han estado excepcionalmente sujetas a dificultades vibratorias donde las condiciones de resonancia ocurren entre las fuerzas de excitación y en uno u otro componente de la central tal como es un generador o una cámara de carga.

Sin entrar en detalles en la distinción entre vibraciones forzadas, autocontroladas y autoexcitadas (estas dos últimas conocidas como vibraciones elásticas del fluido), se pueden diferenciar en las turbinas Francis, tres categorías de vibración:

a) Vibración mecánica del rotor.—

Esta clase de problemas son originados principalmente por fuerzas hidráulicas oscilantes que actúan sobre el rotor, así como el desbalanceo mecánico de las partes rotatorias; secundariamente por fuerzas excitantes en los sellos del laberinto, la inestabilidad en las películas de aceite de los cojinetes y las fuerzas eléctricas. Pueden ser prevenidas sa-

tisfactoriamente dando una adecuada rigidez a los cojinetes y a sus soportes, y un balanceo cuidadoso. Aunque la rigidez puede traer como consecuencia problemas en las oscilaciones del rotor, pueden evitarse normalmente por rutina, y no necesitan mayor investigación.

b) Zumbido de álabes.-

El zumbido de álabes (tanto fijos como móviles), un caso familiar y frecuente, es causado por la difusión del vértice en el borde de salida de los álabes. Aunque el conocimiento acerca del comportamiento vibracional de las planchas inclinadas con distribución de presión no uniforme es pequeña, existe bastante información que se puede resumir así: La difusión del vértice genera fuerzas sobre los álabes y la frecuencia de la difusión aumenta linealmente con la velocidad del flujo, es decir, aproximadamente con la carga de la máquina.

Cuando coincide o se está cerca de la frecuencia natural del álabe, la amplitud de la oscilación del álabe aumenta hasta que el movimiento del álabe controla la difusión del vértice. La frecuencia permanece constante para un cierto rango de incremento de velocidad del flujo (en condición de cerrado) y crece sobre

este rango con el aumento del flujo; la oscilación estructural está normalmente limitado en amplitud por amortiguamientos y la rigidez, lo cual puede dar como resultado la fatiga.

La técnica para evitar los problemas de vibración debido a la difusión del vértice está bien probada y contiene tres conclusiones:

- Diseñar la estructura de los álabes de tal manera que la frecuencia natural esté claramente por encima de la máxima frecuencia de excitación.
- Proveer al álabe de un apropiado borde de salida.
- Proveer suficiente amortiguación, aún en el caso donde la rigidez adecuada sea necesaria, para mantener frecuencias naturales suficientemente altas.

c) Oscilaciones dentro de los conductos de agua.

Mientras que la sección anterior trata sobre fenómenos locales, este acápite trata sobre problemas de oscilación que cubren toda la planta o al menos algunos componentes. Se pue-

den definir tres clases de mecanismos de excitación a este respecto:

- Cavitación en los álabes del rotor.
- Inestabilidad del flujo dentro de la cascada rotatoria y no rotatoria.
- Fenómeno de pulsación en el tubo difusor (el más frecuente motivo de problemas).

La cavitación de los álabes del rotor puede traer consigo la erosión del material causando por tanto un ligero desbalanceo o efectos vibratoriales secundarios, pero normalmente la cavitación da por resultado un fenómeno de vibración de naturaleza aleatoria con pequeñas amplitudes. El área con cavitación sobre los álabes y por lo tanto el volumen correspondiente de gas dentro y en la vecindad del rotor, aumenta con la potencia de salida de la unidad.

Con el incremento de la producción de esta mezcla de dos fases la velocidad del sonido será localmente reducido, y la frecuencia natural del pasaje de succión disminuye.

Simultáneamente, las características de amortiguamiento cambian; puede suceder que la frecuencia natural decreciente coincida a una determinada potencia con la frecuencia de fuer-

de

zas excitantes o la frecuencia natural de algún otro componente, llevando a algún problema y a una resonancia peligrosa. Dos tipos de soluciones son: durante la fase de diseño de la planta generadora, es fundamental la selección apropiada de instalación de la unidad para evitar la cavitación fuerte; la otra forma es la inyección de aire.

En particular la inyección de aire en el espacio anular entre la salida de la carcasa y la entrada al rotor es más efectiva contra este tipo de vibración y aparte puede reducir la erosión del material en los álabes del rotor; la inyección de aire disminuirá la frecuencia natural del sistema y por tanto evitará resonancia. Normalmente la vibración inducida por cavitación a plena carga y sobre-cargas no ocurre separadamente si no en concordancia con el vértice en el tubo difusor y ambos fenómenos pueden amplificarse.

El caso de inestabilidades del flujo dentro de la cascada rotatoria del rotor puede causar una oscilación autocontrolada produciendo pulsaciones de presión y oscilaciones de energía en un determinado rango de carga.

La causa más frecuente de vibración en las unidades Francis es el oleaje en el tubo de aspiración, lo cual es debido a la rotación del agua al momento que abandona el rotor cuando está operando lejos de lo óptimo; a cargas parciales la inestabilidad del flujo en torbellino trae consigo la formación de vórtices que rota en la misma dirección que el rotor con una cierta frecuencia. La oscilación del vértice produce fluctuaciones de presión que normalmente son medidas durante las pruebas con modelos.

CAPITULO 3 ORGANIZACION DE UNA DEPENDENCIA DE MANTENIMIENTO MECANICO

Los recursos de una entidad de mantenimiento están constituidos por tres elementos fundamentales:

- Recursos humanos.
- Instalaciones y equipos.
- Materiales.

El grado de eficiencia del servicio queda determinado por la forma en que el personal conoce y puede usar los dos recursos: Equipos y materiales.

El objeto de este capítulo es tratar de las condiciones organizativas en las que se puede desarrollar las labores de mantenimiento de turbinas Francis.

3.1 RECURSOS HUMANOS.

Para cumplir con los programas de mantenimiento ya sea preventivo o correctivo, se debe tratar con personal que cumpla las diversas labores de Mantenimiento de las turbinas Francis; este personal mínimo requerido se puede agrupar en:

- a) Un jefe de mantenimiento.— Cuyas responsabilidades son:

- Sobre el personal a su cargo.
- Sobre las formas de mantenimiento, la calidad y cantidad de trabajo realizado.
- Sobre gastos soportados por el mantenimiento con respecto al presupuesto.
- Sobre el sistema de organización e información.
- Sobre la gestión de las acciones mejorativas.

b) Un jefe de trabajos de inspección y control.-

Cuyas responsabilidades son:

- Sobre el control sistemático y diagnóstico del funcionamiento de las turbinas.
- Sobre la información proveniente de los trabajos de inspección, su elaboración y comunicación a los distintos interesados.

c) Un jefe de taller.- Las responsabilidades son:

- Sobre la eficiencia de todo el equipo y recurso humano de que está dotado el taller.
- Sobre los trabajos efectuados por su personal, tanto en calidad como en cantidad.
- Sobre la información suministrada tanto contable como técnica.

d) Un programador.-

- Sobre los programas semanales y diarios y su preparación según el orden de prioridad de los

- trabajos.
- Sobre el estado de cargas de mano de obra por especialidad.
- e) Un encargado de materiales.-
- Asegurar la disponibilidad de los recambios y demás materiales.
 - Preparar los materiales necesarios para las solicitudes de trabajo e incluirlos en el programa.
 - Controlar y actualizar las cantidades en existencia.
- f) Un encargado de la oficina de gestión de trabajos de mantenimiento.-
- Sobre el control de las facturas y documentos de solicitud de mano de obra y su curso.
 - Sobre la distribución a todo el personal de mantenimiento de los documentos informativos así como su catalogación y archivo.
- g) Personal operativo.- Que debe estar compuesto de:
- 3 trabajadores manuales con conocimientos de ajuste y montaje.
 - 3 soldadores.

3.2 INSTALACIONES Y EQUIPOS.-

Para poder realizar los trabajos de reparación,

el taller debe disponer como mínimo de las siguientes máquinas:

- a) Un torno horizontal.
- b) Un torno vertical.
- c) Una fresadora.
- d) Dos taladros.
- e) Un horno de inducción.
- f) Tres máquinas de soldar.
- g) Un equipo detector de fisuras.
- h) Otros equipos como: Cepilladoras, taladros de mesa, portátiles, esmeriladoras, sierras mecánicas, grúa, tacle, cizallas.

CAPITULO 4 PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO

En la actualidad, el servicio de mantenimiento en la Central Hidroeléctrica GINO BIANCHINI - HUAMPANI, se realiza bajo dos formas de mantenimiento las cuales son: El mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo. Como se sabe la primera forma de mantenimiento está orientado a anticiparse a las fallas, lo cual permite prolongar la vida útil de las turbinas; para esto se cuenta con una oficina de Programación y planificación (Mantenimiento Preventivo) que además se encarga del mantenimiento preventivo de las otras centrales hidráulicas de generación. La segunda forma de mantenimiento nos va permitir recuperar el estado operativo de las turbinas ya que los desgastes que sufren los diversos componentes pueden ocasionar daños mayores.

A continuación se enumeran los trabajos que se realizan en las dos formas de mantenimiento.

4.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

El sistema de mantenimiento preventivo que se realiza en la Central consiste en un sistema de inspecciones preventivas así como de algunas tareas cíclicas

camente aplicadas, de tal manera de encontrar las posibles fallas antes de que éstas ocurran.

4.1.1 Descripción de los trabajos.

4.1.1.1 Control de pérdidas.

Es un trabajo rutinario que el maquinista debe realizar cada 1/2 hora, se anotan datos de presión, temperatura, cierre y apertura de las paletas directrices, así como una inspección general de la instalación lo cual permite detectar cualquier fuga de agua y/o aceite. Los Reportes se realizan diariamente.

4.1.1.2 Revisión de turbinas.

Esta tarea tiene como finalidad ir controlando el grado de desgaste que se produce en los diversos componentes de la turbina: Rodete, paletas directrices blindajes, codos y descargador síncrono y se realiza cada mes. Estos trabajos se programan en amanecidas, sábados o domingos.

4.1.1.3 Engrase general.

Es un trabajo rutinario que debe

cumplirse semanalmente.

Los lubricantes para las turbinas hidráulicas deben tener gran untuosidad, propiedades anticorrosivas y poca tendencia a emulsionarse con agua; es por ello que se recomienda la utilización de un lubricante pastoso (grasas).

Las grasas son dispersiones de aceite en jabón; en el caso de engrase de las turbinas Francis se emplean las grasas líticas, que se caracterizan por su aspecto fibroso y bastante resistencia al agua.

4.1.1.4 Furqa de la cámara equilibrio descargador.

Es una actividad que se realiza diariamente por personal de la central; tiene por finalidad eliminar toda la arena acumulada en: codos, cojinete, paletas y tapas.

4.1.1.5 Pruebas de sobrevelocidad.

Trabajo realizado por personal de la central y el taller de mantenimiento mecánico; se realiza cada seis meses y

el proceso es el siguiente: se hace trabajar al grupo hasta el 1.2 Veces la velocidad nominal y se controla que todos los dispositivos de cierre actúen, es decir el dispositivo de sobrevelocidad funcione en las revoluciones correctas.

4.1.1.6 Control de tiempos de cierre y apertura del distribuidor.

El objetivo principal es controlar el grado de desgaste de los componentes de la turbina manteniendo un conocimiento del rendimiento de la turbina. Este control se realiza cada seis meses.

4.1.1.7 Revisión de los servomotores del distribuidor y el descargador síncrono.

Es una actividad que se realiza cuando se detecta pérdidas de aceite, en caso de detectarse dichas pérdidas se procede a programar los trabajos de desmontaje y limpieza de las partes que componen los servomotores tales como: pistones, bocinas y retenes. Las empa-

quetaduras deben estar en óptimas condiciones, en caso contrario se procede a cambiarlos.

4.1.1.8 Control de hermeticidad del descargador síncrono.

El Descargador Síncrono siempre está sometido a la presión del agua, sufriendo desgastes por erosión o cavitación comprometiendo su hermeticidad, con la correspondiente disminución de la eficiencia.

El control de hermeticidad debe efectuarse cada mes a fin de programar la reparación y cuando los desgastes son excesivos se produce el cambio respectivo, retirando todo el conjunto de válvula.

Los anillos de hermeticidad son reconstruidos empleando electrodos inoxidables.

4.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

Como ya se ha mencionado anteriormente el Mantenimiento Correctivo, nos va permitir recuperar el

estado operativo de las turbinas, así como subsanar parcialmente los desgates que se presenten en los componentes de las turbinas.

Estas actividades correctivas se pueden realizar en el sitio o en el taller, dependiendo de la envergadura de la reparación.

Las reparaciones en el sitio se efectúan según el informe del programa de Inspección de turbinas. Estas reparaciones en el sitio, se realizan rellenando con soldadura las superficies desgastadas y esmerilando después para tratar de darle la forma original. Estos trabajos se realizan principalmente en los codos de descarga, así como en los anillos de hermeticidad del descargador síncrono y en el rodete; otra actividad común en el sitio es el cambio del Descargador Síncrono.

Los Electrodo y las Piedras de amolar son los elementos más importantes de toda reparación, es por ello que es necesario conocer las características técnicas de estos materiales.

4.2.1 Aplicación de los electrodos de acero inoxidable en la recuperación de componentes.

Es muy importante la elección del electrodo apropiado ya que de ello depende el óptimo re-

sultado de la soldadura de cualquier pieza o máquina.

La variedad de aceros inoxidable que en la actualidad se usan en la industria ha motivado que los fabricantes de soldaduras también desarrollen una variedad de consumibles y técnicas para que la soldabilidad de estos materiales se puedan realizar con la menor cantidad de problemas durante la operación.

En el caso de los rodetes Francis y de los álabes directrices que son de acero inoxidable con ciertas características mecánicas y aparte de ser componentes fundamentales dentro de las turbinas, están expuestas a ciertos desgastes debido a la acción erosiva del agua, es por ello que una mala aplicación del electrodo o un error del soldador al equivocarse al uso de las varillas apropiadas, traería como consecuencias posibles cambios moleculares en los materiales, futuros desgastes excesivos aparición de rajaduras, etc., que afectarían gravemente o comprometerían al grupo en sí.

Al seleccionar un electrodo se deben tener presente algunos aspectos:

- En cuando a las características mecánicas y

composición química, estas deben ser, aunque no necesariamente, lo más próximas a la del material del rodete, de esta manera se conseguirá una mejor difusión entre el metal de aportación y la pieza.

- En muchos casos pueden mejorarse las propiedades del metal base realizando combinaciones con los electrodos que hoy en día se tienen, tal es el caso de utilizar electrodos de características dúctiles como relleno de base para luego en la capa superficial aplicar otros de alta resistencia mecánica.

Hemos visto en el capítulo 2, que por lo general los materiales que se usan en la construcción de los rodetes Francis, así como los álabes directrices son los aceros inoxidables COR 13.4, siendo éstos de tipo Martensíticos caracterizándose por su dureza, propiedades antidesgaste, así como también tratables térmicamente. De igual forma estos aceros se endurecen después de, haber sido soldados debido a los balances de sus aleaciones y al contenido de carbono que se tenga.

Entonces si soldamos estos materiales con electrodos de las mismas características se desarrollarán temperaturas elevadas en las zonas

donde se están soldando, originándose considerables tensiones internas y endurecimiento que pueden traer como consecuencia rajaduras bastante visibles, principalmente en los álabes del rodete donde se tiene menor espesor.

La Martensita de alta resistencia con una elevada dureza en la zona de transición (material de soldadura, material base) favorece la formación de rajaduras, por ejemplo al soldar aceros al 13% de cromo.

Precautando estos aceros se reducirá las diferencias térmicas y permitirá que el acero se enfríe uniformemente reduciendo las tendencias de rajadura. Es por ello que si soldamos con electrodos Martensíticos se necesitará forzadamente un tratamiento térmico bastante cuidadoso lo cual significa elevar el costo de la reparación del rodete. En el caso de las paletas se realiza un tratamiento térmico (normalizado) con el fin de aliviar las tensiones internas que provocarían la rotura de dichas paletas en el enderezamiento.

Por estos factores que se hacen presentes al soldar con electrodos martensíticos, se hace importante utilizar materiales de aportación

duros y dúctiles que estiren y no sobrecargen en la zona endurecida por el calor, que ofrezcan buenos resultados en el proceso de fusión con el material base del rodete. Para ello se ha visto y comprobado que los electrodos inoxidables de tipo austenítico son los más indicados. Usándose en la actualidad el siguiente:

ANS: E - 316L - 16 DIN: E 1923 Nc R 26

C: 0.01 - 0.06%, Cr: 18%, Ni: 15%, Mn: 1.3%

Pb: 3%, Si: 0.6%

Los aceros inoxidables austeníticos se consideran fácilmente soldables; como no son tratables térmicamente, la soldadura no afecta en forma adversa su resistencia y ductilidad en la zona de fusión o en la zona de transición.

La experiencia realizada en el taller de mantenimiento demuestra que los electrodos austeníticos se amoldan muy bien al metal base de los rodetes y álabes directrices (tipo martensítico) consiguiendo las propiedades necesarias que se requiere.

Soldabilidad de los aceros inoxidables austeníticos.

a) Aspecto físico:

- Conductibilidad térmica

Acero Inox. Austenítico < Acero común.

Consecuencia: Perforación o quema de planchas.

- Coeficiente de dilatación:

Acero Inox. Austenítico 50% > Aceros comunes

Consecuencia: Mayor tendencia a deformarse.

- Punto de fusión:

Acero inox. Austenítico < Aceros comunes

Consecuencia: Menor aporte de calor.

(Uso de electrodos de menor \varnothing).

- Resistencia eléctrica:

Acero Inox. Austenítico (aprox. 8 a 9 veces) > Aceros comunes.

Consecuencia: Menor velocidad de difusión del calor.

La forma de contrarrestar estos problemas físicos son los siguientes:

• Baja conductividad térmica (perforación de planchas).

- Evitar concentraciones de calor (secuencia de soldeo).

- Uso de electrodos delgados.

- En algunos casos uso de disipadores de calor.

• Alto coeficiente de dilatación (deformación).

- Apuntadores (20-30mm) y alineaciones.

- Biselados perfectos (Diseños de juntas).
 - POCO aporte de calor (Uso de electrodos delgados).
 - Régimen térmico: en frío (no sobrepasar los 150°C).
- „ Bajo punto de fusión:
- No usar diámetros inapropiados.
Diámetro electrodo $<$ espesor de plancha.
 - Secuencia de soldeo.
- „ Alta resistencia eléctrica:
- Mayor resistencia eléctrica origina concentraciones de calor que puede ser perjudicial para la precipitación de carburos, por lo que es necesario tomar precauciones usando diámetros adecuados de electrodos, secuencia de soldeo, disipadores de calor, etc., que amenazarían la concentración de calor y evitarían todos los problemas citados anteriormente.

b) Aspectos metalúrgicos:

Precipitación de carburos:

Es la ruptura del equilibrio Carbono - Cromo, lo que origina la baja resistencia a la corrosión por pérdida de cromo en este tipo de acero inoxidable.

La precipitación de carburos está en función del tiempo que está expuesto el acero inoxidable a la temperatura de $427 - 871^{\circ} \text{C}$.

Las pérdidas de cromo pueden originar corrosión en: material base zona, afectada por el calor, en el depósito de soldadura.

La forma como contrarrestar la formación de carburos es la siguiente:

- Empleo de aceros inoxidables de bajo Carbono (0.03% C) y electrodos de las mismas características.
- Empleo de soldaduras inoxidables con alto contenido de cromo.

Ejemplo: Usó de electrodo E-310-16; con 22% puede admitirse hasta 0.065% C.

- Empleo de aceros inoxidables estabilizados y electrodos también estabilizados.
- Empleo de soldadura que contiene (Mo) : El Mo retrasa la precipitación de carburos.
- Evitar al máximo los rangos de temperaturas críticas de precipitación (entre $427 - 871^{\circ} \text{C}$)
- Tratamiento térmico de redisolución de carburos de cromo a Temperaturas grados máximas

a 1050°C . seguido de enfriamientos rápidos.

Fisuración en caliente:

Son originados por los silicatos que se forman en el proceso de fusión, los que son difíciles de disolver en estructuras austeníticas, produciéndose agrietamiento al final de los cordones (cráteres).

La forma práctica de contrarrestar este inconveniente es la siguiente:

- Usando electrodos austeno-ferríticos.
- Usando electrodos básicos, ya que su revestimiento contiene menor cantidad de silicatos.
- Recomendable soldarlos en frío.

Cordones cortos: (30 - 40mm).

Electrodos de menor diámetro: siempre menor que el espesor de la plancha.

Formación de Fase Sigma:

La fase sigma es un compuesto intermedio de gran dureza y fragilidad en los aceros austeníticos, que se agrava con el excesivo tiempo de permanencia en los rangos de temperatura entre $600 - 800^{\circ}\text{C}$.

La forma de contrarrestar este efecto:

Es evitando la permanencia en tiempos pro-

longados en los rangos de temperatura entre 600 - 800° C.

4.2.2 Características técnicas de las piedras de amolar y las pulidoras de fieltro:

Los perfiles y superficies de los álabes así como las caras que forman los canales de un rodete, poseen características y formas hidrodinámicas especiales que deben respetarse al efectuarse el esmerilado y pulido; para recuperar o dar la forma original a las superficies y perfiles que han sido rellenados mediante la aportación de la soldadura se hace imprescindible la utilización de las piedras de amolar y las pulidoras de fieltro. Ver Tabla No. 1 de la composición de los cuerpos abrasivos. (Ver dibujos No. 13a y 13b.)

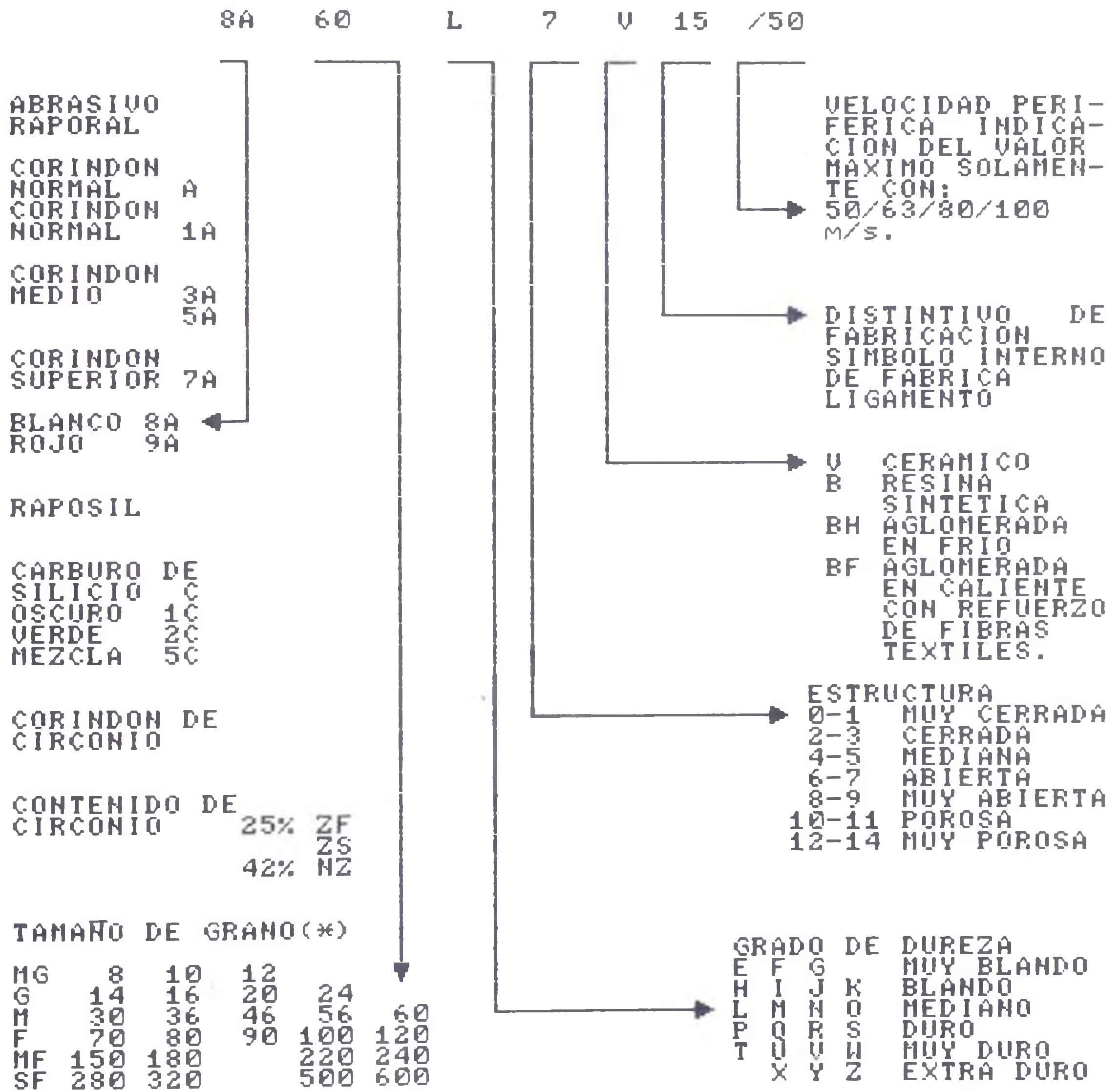
La rueda y/o muela abrasiva tiene básicamente los siguientes componentes:

- ABRASIVO - Material que realmente corta.
- LIGA - Sujeta los granos abrasivos.
- ESTRUCTURA - Relación de los dos componentes.

Para la buena selección de una rueda de amolar, deben considerarse principalmente los

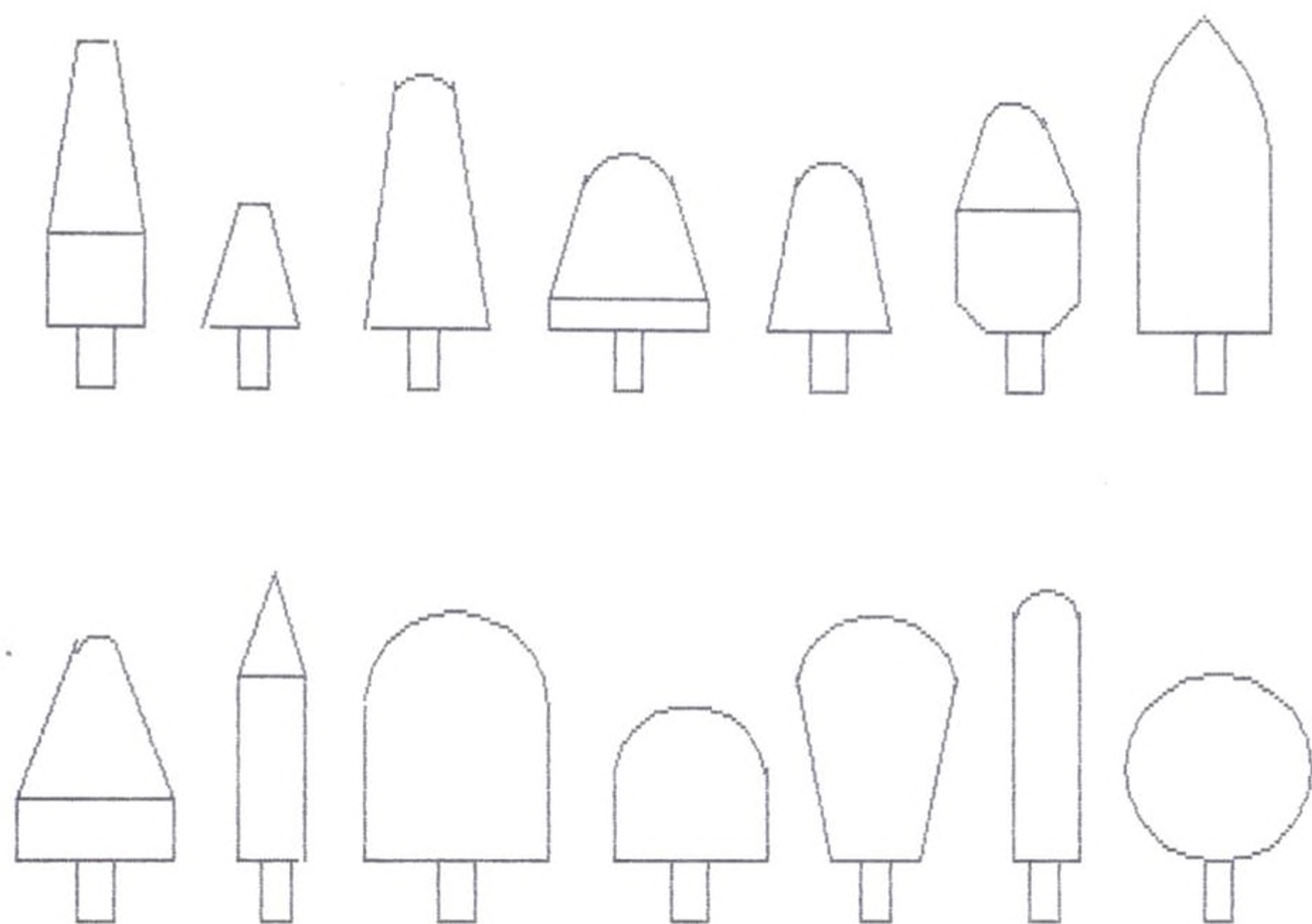
TABLA No. 1

COMPOSICION DE LOS CUERPOS ABRASIVOS SEGUN ISO R525,
NORMA AUSTRIACA ONORM M4820, DIN 69100



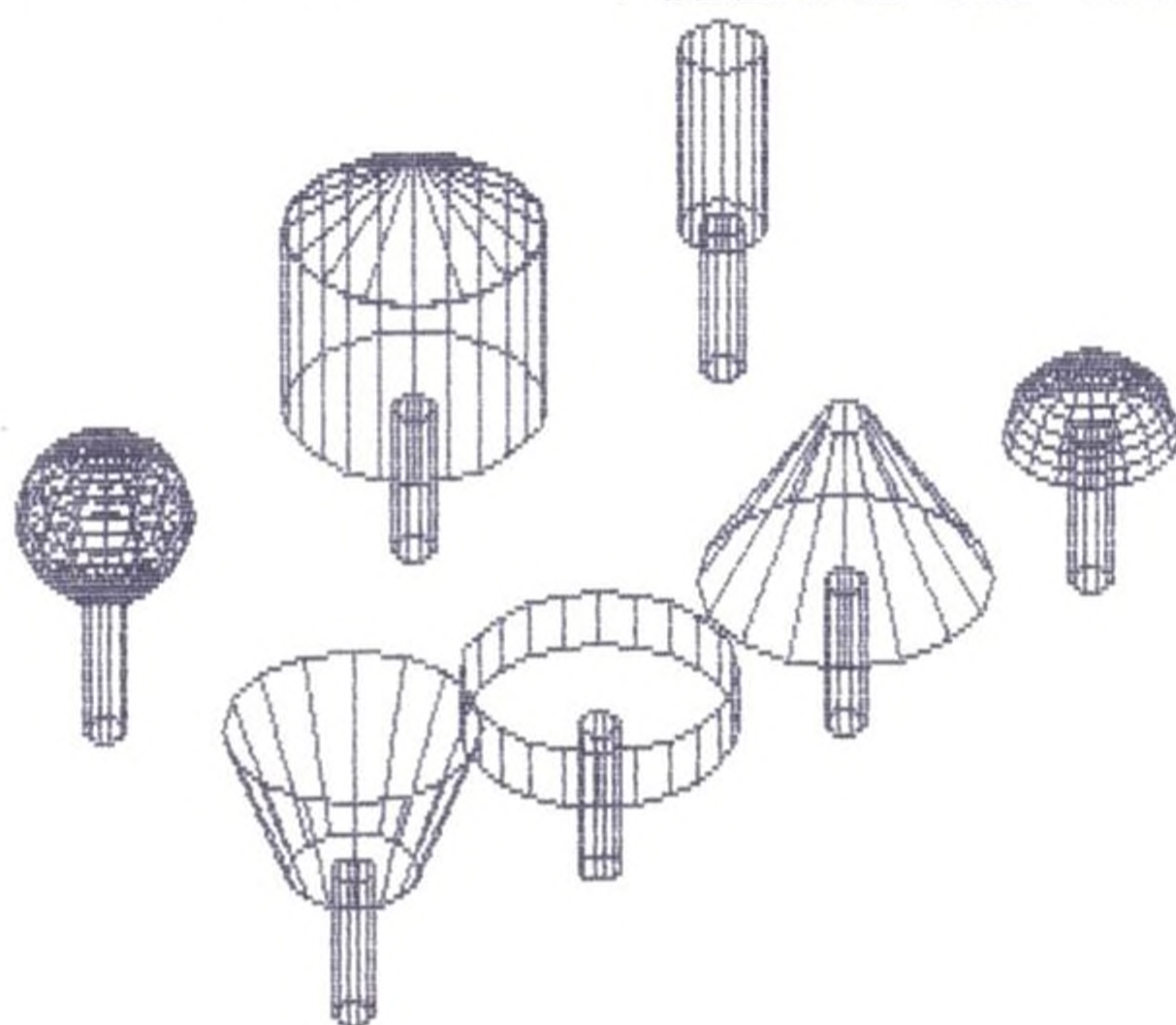
(*) MG= MUY GRUESO
G = GRUESO
M = MEDIANO
F = FINO
MF= MUY FINO
SF= SUPER FINO

DIBUJO No.13a PIEDRAS DE AMOLAR



DIBUJO No.13b

PIEDRAS DE AMOLAR



siguientes siete factores:

a) El material que se va amolar y su dureza.

Abrasivos:

Oxido de aluminio para acero y sus aleaciones.

Carburo de silicio para hierro fundido, metales no ferrosos y materiales no metálicos.

Tamaño de grano:

Granos finos, para materiales duros y quebradizos.

Granos gruesos, para materiales blandos y dúctiles.

Grado:

Grado duro para materiales fácilmente penetrables.

Grado blando para materiales duros.

b) La cantidad del material a rebajarse y el acabado requerido.

Tamaño de grano:

Grano grueso para rebajar material rápidamente, acabado tosco;

Grano fino para poca rebajada de materia, acabado fino.

Liga:

- Vitrificada. - Reune buenas características

para las operaciones de precisión. Se especifica en trabajos que requieren pequeño rebaje de material, mantención del perfil de la rueda, y/o alto grado de acabado.

- Resinoide.- Reune buenas características para las operaciones de desbastar. Se especifica en trabajos que requieren grandes rebajes de material. Alta resistencia de la rueda a impactos y velocidades periféricas operacionales más altas.

- c) Si la operación se realizara en húmedo o en seco:

El amolado en húmedo permite, por regla general, usar una rueda de un grado más duro que para el amolado en seco.

- d) Velocidad de la Rueda:

Las ruedas vitrificadas son para velocidades no mayores de 33 mts. superficiales por segundo.

Las ruedas resinoideas se emplean para velocidades mayores de 33 mts. superficiales por segundo y hasta 81 mps. No debe excederse la velocidad segura de funcionamiento

que se indica en la etiqueta de la rueda.

e) Área de contacto en el amolado:

Tamaño de grano:

Granos gruesos para áreas de contacto grandes.

Granos finos para áreas de contacto pequeñas

Grado:

Mientras más pequeña sea el área de contacto, más dura debe ser la rueda.

f) Rigurosidad de la operación de amolado:

Abrasivo:

Oxido de aluminio regular para amolado de acero y sus aleaciones, bajo condiciones rigurosas.

Oxido de aluminio 38 para amolado liviano de aceros duros o sensibles al calor.

Oxido de aluminio 19 para tareas de rigurosidad normal.

g) Potencia de la máquina:

Grado :

Grados duros para ruedas empleadas en máqui-

nas con abundante potencia.

4.2.3 Reparación general.

Este trabajo se realiza en el taller y comprende la reparación y/o cambio de los elementos que componen dicha turbina. A continuación se detalla el proceso de reparación de cada uno de ellos.

4.2.3.1 Proceso de reparación de paletas directrices.

- a) Esmerilar el cuerpo para eliminar material fatigado.
- b) Precalentar la pieza, más o menos 200°C.
- c) Rellenar las superficies desgastadas con electrodos E - 316L.
- d) Realizar el tratamiento térmico, con la finalidad de eliminar las tensiones internas producto de la soldadura.
- e) Enderezar los ejes de las paletas.
- f) Maquinar en el torno.
- g) Fresar el cuerpo de paletas, así como el talón y filo.

- b) Efectuar el control de medidas, así como el control con el equipo detector de fisuras.

4.2.3.2 Reparación de rodete francis.

- a) Control con el equipo detector de fisuras, a fin de determinar cualquier fisura.
- b) Esmerilar las partes desgastadas.
- c) Precalentar el rodete a más o menos 200°C. Para mantener casi constante la temperatura, se debe abrigar el rodete con una manta de asbesto y aislar solamente la parte a soldar.
- d) Rellenar con soldadura las partes desgastadas, usar electrodo E - 316L.

En las zonas donde hay demasiado desgaste se recomienda la colocación de injertos.

- e) Esmerilado, teniendo en cuenta las medidas.
- f) Maquinado.
- g) Pulido.

- h) Efectuar el control con el equipo detector de fisuras, para determinar si existen o no fisuras o rajaduras, que se puedan haber producido durante el proceso de reparación.

4.2.3.3 Reparación de codos difusores.

- a) Retirar las planchas desgastadas, usando electrodos adecuados para el corte.
- b) Esmerilado, para obtener una superficie uniforme.
- c) Proceder a la ubicación de planchas de acero inoxidable, ubicando en las zonas de mayor desgaste planchas de dimensiones menores.
- d) Proceder a soldar las planchas en las zonas desgastadas usando electrodos E 316L.
- e) Esmerilado.
- f) Proceder a soldar blindaje del codo.
- g) Nivelar medidas.

4.2.3.4 Reparación de tapas.

- a) Soldar las partes desgastadas de la

tapa con electrodos ENi1.

b) Maquinado.

c) Control, para verificar que no se hayan producido deformaciones.

4.2.3.5 Reposición de blindajes. -

Los blindajes se cambian simplemente y son fabricados en fundiciones nacionales y luego maquinadas en el taller.

4.2.3.6 Reparación general del descargador síncrono. -

El descargador síncrono se repara normalmente cambiando el anillo móvil y el anillo fijo, los cuales se reparan con soldadura luego maquinando y asentado de las superficies de cierre con la finalidad de asegurar la hermeticidad. Para el asentado de las superficies se recomienda el uso de pasta de asentar: carborundum.

También se reparan la cruzeta y la bocina móvil.

CAPITULO 5 APLICACION DE NUEVAS TECNICAS DE MANTENIMIENTO

5.1 APLICACION DE CERAMICA EN LA RECUPERACION DE BLINDAJES.

Como ya se mencionó anteriormente, los blindajes son los elementos de protección de las tapas, los cuáles sufren bastante desgaste por erosión.

Antiguamente estos elementos de protección, eran utilizados una sola vez ya que no podían ser reparados con soldadura, debido a los problemas propios de deformación.

Los blindajes son fabricados en fundiciones nacionales y maquinados luego en el taller; este proceso de fabricación y maquinado resultaba demasiado largo y costoso, lo cual motivó que se usaran nuevas tecnologías para el mantenimiento de equipos y que se vienen utilizando en otros países.

Esta técnica consiste en los recubrimientos a base de cerámica, en las superficies desgastadas.

Antiguamente se asociaba la palabra "cerámica"

como productos fabricados a partir de arcilla. En este siglo hemos encontrado los medios para emplear los métodos de producción de cerámica con un cierto número de sustancias físicas y químicamente diferentes, pero la industria cerámica se basa todavía en un conocimiento a fondo de la arcilla.

Químicamente, las materias primas clásicas Federnal y Fedespalto, son compuestos de sílice. Las propiedades que las hace adecuadas para la cerámica son precisamente aquellas por las cuales se diferencian de las restantes sustancias.

Las propiedades físicas de los materiales cerámicos dependen, básicamente, de la composición, microestructura (fases presentes y su distribución) y la historia de la fabricación. La concentración de poros por volumen puede variar mucho (0 a 30%) y puede influir en la resistencia a los choques, resistencia física y permeabilidad. La mayoría de los materiales cerámicos son resistentes a grandes esfuerzos de compresión, pero fallan con facilidad al someterlos a tensión o tracción. Las características de muchos materiales cerámicos comunes son: resistencia a la abrasión, al calor y las manchas; estabilidad química, rigidez, buena resistencia a la intemperie y la fragilidad.

La descripción de los productos cerámicos usados

en la recuperación de los blindajes se muestran en las especificaciones técnicas dadas por los proveedores de estos productos y puede ser revisado en el apéndice No.1.

Para la aplicación de la cerámica es necesario preparar la superficie desgastada, esto se consigue con un arenado al blanco con granalla metálica para que la superficie quede lo más limpia posible lo cual asegura una buena adherencia.

Estos recubrimientos cerámicos se pueden aplicar también en otros elementos de la turbina, como por ejemplo : el descargador síncrono y algunos elementos de la turbina Pelton.

5.1.1 Proceso para la rehabilitación de blindajes de fondo para la turbina Francis, aplicando cerámica.

- a) Montaje de los blindajes a las tapas.
- b) Proceder a la unión soldándolos entre sí.
- c) Realizar un cordón de soldadura alrededor de los agujeros y al borde de la cara plana.
- d) Tornear a -0.1 mm del espesor nominal, para garantizar un espesor mínimo de depósito y aspereza adecuada.

e) Arenado de la superficie usando una granalla de escoria de cobre.

f) Aplicación de cerámica excepto en agujeros tomando como referencia el cordón de soldadura realizado en C.

5.2 APLICACION DE LOS ELASTOMEROS EN LA REPARACION DE LOS CODOS DIFUSORES.

Anteriormente los codos difusores eran reparados mediante el soldado de planchas de acero inoxidable de 1/8" de espesor en las zonas dañadas por la cavitación; este procedimiento fué una solución parcial ya que continuamente estas planchas sufrían un desgaste o desprendimiento, los cuales aunados a los problemas propios de deformación debido a la soldadura, traían como consecuencia un trabajo tedioso y un aumento considerable de costos de reparación. Esto originó que se ensayaran con los revestimientos elastoméricos, los cuales vienen dando buenos resultados.

Estos revestimientos elastoméricos se utilizan en las zonas dañadas por cavitación ya que la elasticidad de este producto le permite absorber y disipar la energía producida por las ondas de choque, características de la cavitación, con lo cual se evita la destrucción del material donde ha sido aplicado; pre-

viamente estas zonas son arenadas y preparadas cuidadosamente para favorecer la adherencia.

Los elastómeros son resinas epóxicas que se caracterizan por un contenido variable de más de un grupo de óxido etilénico (compuesto a base de alcohol) en cada molécula, y en su mayoría con productos de condensación, obtenida por la reacción de eplicoridina con bisfenoles; se debe mezclar la resina con un agente endurecedor.

Actualmente los productos usados son DEA HI-COAT ELASTOMER cuyas características técnicas se muestran en el Apéndice No.1.

5.2.1 Proceso para la reparación del codo difusor.

- a) Sacar planchas desgastadas, usando electrodos E-901.
- b) Colocar blindajes del codo de descarga.
- c) Proceder al arenado, usando como material de granalla el cuarzo.
- d) Proceder a desengrasar, usando xilol en las zonas que anteriormente habían sido arenadas.
- e) Proceder a recubrir las zonas indicadas, con elastomero.

CAPITULO 6 SISTEMA COMPUTARIZADO PARA LA PLANEACION DEL MANTENIMIENTO

El aspecto administrativo es el principal problema que se enfrenta en todo programa de mantenimiento. Debe organizarse y mantenerse al día un sistema de archivos. Deben generarse periódicamente las órdenes de trabajo programado y cerrarse una vez realizado. Las tareas ejecutadas deben registrarse en el archivo. En general, la manuntención de registros se convierte en una actividad tediosa y consumidora de tiempo.

El tema adquiere más importancia si se considera la complejidad de las instalaciones y equipos. Esto exige la búsqueda de métodos más rápidos y seguros para el tratamiento de la información que sirvan sobre todo para mantener actualizados los datos referentes a las reparaciones, a las sustituciones de partes de la instalación, a las causas de los fallos y a los costos correspondientes, de modo que pueda accederse a ellos rápidamente y de la forma más adecuada para su correcta consulta e interpretación.

El trabajo de elaboración de estos datos implica además si se hace a mano, un enorme trabajo de rutina, cuyos

resultados llegan a estar tan adulterados por la frecuencia relativamente alta de errores debido a las operaciones manuales, que lleguen a desanimar a la empresa y aconsejen la adopción de un sistema que alcance solamente un cierto nivel de detalle, renunciando así a una valiosa información que, en definitiva, es un precioso instrumento de gestión.

El proceso automático de datos, al menos en principio, parece ser una solución a este problema. En efecto, los medios automáticos ofrecen importantes ventajas, entre las cuales podemos citar:

- a) Facilidad para el tratamiento de grandes masas de datos.
- b) Oportunidad: abundancia y fiabilidad de los datos de salida y presentación de los mismos en la forma más cómoda para la obtención de los fines perseguidos, lo que constituye un importante soporte decisional y operativo.
- c) Obtención de un elevado nivel de automatismo en la gestión de los datos, desde el punto de vista de canalización de los mismos en los flujos de información de los distintos procedimientos, si existen interacciones entre estos últimos (gestión integrada de datos).

Al igual que sucede al establecer un sistema manual,

es importante iniciar en fases un sistema computarizado. No sólo se adelanta de esta manera la iniciación del sistema, lográndose resultados buenos e inmediatos, sino también que se le da la oportunidad al operador de trabajar con cargas menores y familiarizarse con el sistema.

Un sistema informático de mantenimiento es inservible sin una base datos adecuada. Es necesario coleccionar y registrar la información de mantenimiento en el sistema.

Si los programas de computación no vienen acompañados de una planilla o planillas para la colección de datos que sea compatible con el tipo de información a registrar, entonces deberá diseñarse una, según se recopilan los datos deben entrarse en la computadora.

En el caso en que se tiene ya un sistema manual de mantenimiento, tal como el caso nuestro, la tarea de ir a una computadora se facilita mucho. puede diseñarse una planilla que se coloca sobre la plantilla existente para acelerar el registro de información.

A pesar de que las computadoras facilitan la programación de los trabajos y el mantenimiento de información, hay que recordar que los programas de computación son sólo una herramienta de elaboración de información; no puede tomar decisiones por ejemplo el programa de computación, no puede decidir cuales tareas se requieren para

una máquina, no puede establecer normas o determinar intervalos o frecuencias. Se debe definir esa información y ordenarse en forma de códigos en el programa como parte de la Base de Datos.

Existen en el mercado, un gran número de Programas (software) de Computación para la Administración del Mantenimiento, pero muy pocos pueden considerarse en la categoría de "fáciles de usar".

Generalmente estos programas constan de varios subconjuntos que inicialmente pueden implementarse integralmente o en subconjuntos por separado.

Todos estos programas se corren en una microcomputadora IBM-PC (o compatibles) con 1 MB de memoria de acceso aleatorio (siglas RAM en Inglés), un monitor, un equipo accionador de disco rígido de memoria (disk drive) de 10 MB (mínimo), un impresor y un sistema operativo (programa) para los discos.

Siendo estos paquetes de software (comercialmente disponibles), diseñados para un medio Industrial diferente al nuestro y necesitando un software para una aplicación Industrial concreta como es la administración del mantenimiento, resulta claro que para alcanzar tal objetivo se debe desarrollar un software propio.

Una posible alternativa que se pensó fue la si-

guiente:

Utilizar las herramientas de software de Aplicación concreta y práctica disponibles en el Mercado y que puede ser asimilado rápidamente por personal de mantenimiento.

Entre las herramientas de software disponibles en el Mercado y que pueden usarse podemos mencionar:

- Herramienta de Manejo de Datos.
- Herramienta de Administración de la Información: Un Procesador de Textos.
- Herramienta para la planificación: Un Gestor de Proyectos HARVARD PROJECT MANAGER 3.0.
- Herramienta para la Creación y Manejo de Gráficos: EL AUTOCAD.

Luego todas estas herramientas deberían componerse en una Herramienta de Software integrado, las cuales son herramientas de programación que multiplican la productividad personal de Profesionales relacionados al proceso de información; el desarrollo de software integrado compete a un especialista en dicha rama.

Este tipo de herramienta (software integrado), se presenta como respuesta al avance tecnológico actual y a la satisfacción de la necesidad de integrar las herramientas de software posibilitando así cambiar de herra-

mientas en forma instantánea de tal manera que se pueda recuperar palabras e información de archivos, procesar datos, generar gráficos, etc., en un mismo programa. Esto facilitaría mucho la creación de un software integrado propio a la utilización de uno ya existente en el mercado, para la Administración del Mantenimiento ya que nos permitiría organizar toda una labor y poder combinar diversas aplicaciones que se puedan haber realizado (lo cual facilitaría también ser operado eficazmente por personal existente).

6.1 ORDENES DE TRABAJO.

Las órdenes de trabajo cumplen un papel importante con respecto al sistema informativo del Mantenimiento, éstas pueden prepararse sobre una base automatizada o manual. Si no se dispone de la documentación autorizando el trabajo para su distribución no tiene significación los planes de trabajo. Debe haber un método para identificar las órdenes de trabajo para los cuales no se haya recibido un aviso de terminación de manera que pueda iniciarse una medida correctiva. La identificación de estas órdenes de trabajo puede lograrse manualmente utilizando un archivo de "Órdenes sin terminar", en el cual se copian de referencia de cada orden de trabajo expedida hasta que se reciba un aviso de terminación.

Otro aspecto de seguir las órdenes de trabajo

hasta su terminación es una comparación del tiempo verdadero de ejecución con una norma asignada, cuando haya una diferencia marcada entre la fecha de terminación planeada y la resultante, el capataz debe hacer una investigación para determinar la causa. Usualmente ocurre una gran diferencia, porque las operaciones no se ejecutaran propiamente o por hacerse cualquier trabajo adicional que no estaba anotado en la Orden de trabajo. En el primer caso, el trabajador podrá necesitar adiestramiento adicional; en el segundo, debe investigarse el trabajo hecho, para aclarar lo que realmente ocurrió.

Actualmente se cuenta con un Sistema Manual de Preparación de Ordenes de Trabajo, la cual se mejoraría con una base de datos automatizada y que puede tener como base el sistema manual. Un módulo sobre un pequeño sistema en el manejo de órdenes de trabajo se muestra en el Apéndice No. 2.

6.2 MANTENIMIENTO PROGRAMADO.

La Programación y Planificación de trabajos de Mantenimiento Preventivo y/o correctivo es una actividad difícil.

Coordinar los programas de trabajo para todo el equipo que se tiene a cargo puede tomar semanas y

algunas veces meses. Cuando la carga de trabajo no se nivela adecuadamente, el trabajo de mantenimiento no se realizará con eficiencia, lo que invalida los beneficios de contar con un sistema de mantenimiento.

El planeamiento se presenta como la primera fase en la administración de cualquier proyecto, en nuestro caso la administración del mantenimiento. Un buen planeamiento no implica necesariamente éxito; sin embargo un planeamiento deficiente, apresurado o superficial lleva casi inexorablemente al fracaso. Todo planeamiento comienza por la definición clara e inequívoca del objetivo o meta buscada. Por lo general, éste es señalado por el nivel jerárquico más importante respecto al alcance del proyecto (puede ser la dirección de la Empresa, la de una filial o la de un Departamento). La etapa siguiente consiste en la enunciación y disposición en el tiempo de las tareas necesarias para lograr la meta fijada. La Lógica y el aporte del personal encargado de llevar a la práctica el proyecto determinarán la mejor secuencia de actividades. Por último, una vez iniciado, el trabajo se orienta hacia el control y ajuste del proyecto inicial.

Sin una metodología adecuada, la toma de decisiones orientada a reforzar o modificar el rumbo trazado originalmente, deviene en un proceso tedioso cuando

no impracticable, y una decisión tomada a destiempo puede acarrear enormes costos financieros o arrojar al abismo todo el esfuerzo planificador.

Hay dos métodos usados para que con los medios disponibles, se pueda planificar el proyecto a fin de lograr su objetivo con éxito. Estos métodos no pretenden sustituir las funciones de la dirección de un proyecto, sino ayudarla; PERT y CPM no resuelven los problemas por sí solos, sino que relacionan todos los factores del problema, de manera que presentan una perspectiva más clara para su ejecución. Muchas veces las decisiones no son tomadas fácilmente debido a su incertidumbre, PERT y CPM ofrecen un medio eficaz de reducir ésta, y que las decisiones tomadas y acciones emprendidas sean las adecuadas al problema, con gran posibilidad de éxito.

Las principales ventajas de estas técnicas son el de poder proporcionar la siguiente información:

- ¿Qué trabajos hay y cuántos serán requeridos en cada momento?
- ¿Cuál es la situación de las tareas que están en marcha en relación con la fecha programada para su terminación?
- Si el proyecto está atrasado, ¿Dónde se puede re-

forzar la marcha para contrarrestar la demora y qué costo produce?

- ¿Cuál es la planificación y programación de un proyecto con costo total mínimo y duración óptima?

Seguir comentando acerca de estos métodos sería redundar en información que ya se conoce y que puede ser consultada en la bibliografía correspondiente. Lo que se requiere mostrar es la Aplicación Práctica de dicho método el cual ya se tiene elaborado en un software denominado: HARVARD PROJECT MANAGER (HPM) y que se encuentra disponible comercialmente.

Como un ejemplo se muestra la aplicación de dicho software en la reparación (mantenimiento correctivo) de los componentes de la turbina. VER REPORTE DE DIAGRAMA PERT Y GANTT EN LOS DIAGRAMAS No.1 y No. 2 respectivamente.

6.3 REGISTROS DE MANTENIMIENTO:

En todo Servicio de Mantenimiento existe archivos en un orden relativo de todas las máquinas que se tiene a cargo; en nuestro caso particular las turbinas Francis. En estos archivos se debe reunir toda la información que haya sido posible encontrar, como: Proformas de Adquisición, datos de compra, catálogos

de especificaciones técnicas, planos, recomendaciones que el fabricante proporciona, así como datos obtenidos como consecuencia de realizar labores de mantenimiento.

La tarea principal del Servicio de Mantenimiento Preventivo de turbinas corresponde al control de dichas turbinas, por lo tanto es necesario contar con dicha información en forma rápida. Para eso se ha elaborado un formato en una hoja de cálculo para procesar y almacenar dicha información (ver Apéndice No. 2.)

Otros datos importantes son los planos de los componentes de la turbina, así como diagramas, esquemas, dibujos de reparaciones y todo aquello que ayude a comprender mejor el proceso de reparación y control de dichas turbinas; todos estos gráficos pueden almacenarse en un Software de Diseño, en nuestro caso hemos recurrido al AUTOCAD (Diseño asistido por Computadora).

Algunos de los ejemplos de los planos realizados se muestra en el Apéndice No. 3.

6.4 INFORMES:

En este acápite se quiere hacer mención a toda información de realimentación procedente de las

intervenciones de mantenimiento, incluyendo las implicaciones administrativas y contables. Aquí se puede reconocer varios tipos de información, dentro de los cuales se puede citar:

1) Informe sobre fallas.-

Estos datos son muy apreciados ya que permite intervenir adecuadamente para eliminar las causas principales de la falla, estos informes son bastante dificultosos y deben ser realizados por el Jefe de Central correspondiente, además estos deben proporcionar datos sobre las causas supuestas y los efectos de las fallas sobre las prestaciones de la instalación.

2) Informe de retorno de llegada de las intervenciones de mantenimiento.-

En este punto se debe incluir toda la información referente a las intervenciones efectuadas en el sitio o en el taller. Estos datos fundamentales para determinar la frecuencia de algunas intervenciones, el control de costos de mantenimiento y las estadísticas de indisponibilidad de los dos grupos de turbinas, son los siguientes:

- a) Tipo de intervención (correctivo, preventivo).
- b) Fecha y hora de la puesta fuera de servicio del grupo.

- c) Fecha y hora en que el grupo está nuevamente disponible para funcionar.
- d) Horas - hombre totales empleadas.
- e) Operaciones efectuadas (limpieza, regulación, reparación, sustitución, etc.).

3) Información sobre gestión de stocks.-

Para llevar a cabo la gestión de stocks es necesario disponer de la información siguiente:

- a) Código de las piezas en almacén.
- b) Identificar el proveedor (o proveedores) en forma codificada.
- c) Tiempo medio de aprovisionamiento.
- d) Registro de movimientos.
- e) Precios de compra.

4) Información sobre los recursos de mantenimiento disponibles.-

La información necesaria para esta función es la siguiente:

- a) Disponibilidad (tipo y cantidad) de materiales, instrumentos y herramientas.

- b) Disponibilidad de mano de obra (especialidad y número de personas afectas).

Con respecto al informe sobre fallas y al de retorno derivada de las intervenciones de mantenimiento. Se puede realizar en un procesador de textos, pero con respecto a los dos últimos informes se pueden realizar en una Base de Datos adecuadas al sistema manual actual.

CAPITULO 7 ESTUDIO DE COSTOS DE MANTENIMIENTO

Los costos de mantenimiento son señalados como un componente importante de los Costos industriales, en nuestro caso el costo de la Energía Eléctrica; por eso un aspecto significativo en los trabajos de mantenimiento es reducir los costos utilizando los avances tecnológicos en este campo.

El objetivo de este capítulo es la de mostrar la comparación económica entre el costo de reparación y el costo de reposición de rodete y paletas directrices, así también la comparación económica entre los trabajos convencionales de soldadura y las nuevas técnicas de aplicación de Cerámica y Elastómero.

A continuación se muestra los cuadros de costos respectivos.

- Costo de reparación de rodete Francis: Ver cuadro No. 1.
- Costo de reparación de paletas directrices: Ver cuadro No. 2.
- Costo de Fundición y Maquinado de Blindaje de Fondo para tapas de turbina: Ver cuadro No. 3.

- Costo de reparación de Blindajes : Ver cuadro No. 4.
(Aplicación de cerámica).
- Costo de reparación de Codo de descarga usando soldadura: Ver cuadro No. 5.
- Costo de reparación de Codo de descarga usando Elastómero: Ver cuadro No. 6.

7.1 RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C) DE LAS REPARACIONES DE
LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE LA TURBINA FRANCIS

Ver cuadro No. 7.

CUADRO Nº 3

FUNDICION Y MAQUINADO DE BLINDAJES DE FONDO PARA TAPAS DE TURBINA			
COSTO DE FUNDICION EN BRUTO:			\$ 6,000
COSTO DE MATERIALES:			
CANT.	DESCRIPCION	UNID. \$	TOTAL \$
1	Bt. Oxigeno	29.3	29.3
4	Kgs Electrodo E-7018 de 1/8" Ø	3.8	5.2
1	No Vidrio Oscuro N ^o 11	1.5	1.5
1	No Vidrio Claro N ^o 11	4.0	4.0
2	No Piedra Carburada 6"x1"x1".	11.0	22.0
1	No Piedra esmeril de 8"x1"x1".	14.3	14.3
1	No Cuchilla de 1/2" para torno.	33.0	33.0
2	No Cuchilla de 3/8" para torno	23.2	46.4
1	No Cuchilla de 5/8" para torno.	57.6	57.6
2	No Tela esmeril No 2	0.8	1.6
2	No Tela esmeril No 1	0.6	1.2
2	No Lija al agua No 6/0	0.6	1.2
9	Pa. plaquetas Carburadas	30.2	271.8
2	Hj. Sierra de 1/2"x12"	1.4	2.8
1	Jgo Liquido Revelador y penetrante.	72.0	72.0
1/2	KG Tocuyo.		2.1
TOTAL		\$	575.7
COSTO DE MAQUINADO:			2,245.0
COSTO DE HRS-HOMBRE		\$	2,923.0
COSTO TOTAL ESTIMADO:		\$	11,744.0

CUADRO Nº 4

APLICACION DE CERAMICA EN BLINDAJES.			
COSTO DE MATERIALES			
CANT.	DESCRIPCION	UNID. \$	TOTAL \$
1 No	Cuchilla de 1/2" para torno	33.0	33.0
1 No	Cuchilla de 3/8" para torno	23.3	23.3
1 No	Cuchilla de 5/8" para torno	57.6	57.6
16 Kgs.	Super Metal	180.0	2880.0
6 Kgs.	Superglide.	370.0	2220.0
3 Kg.	Cleaner-Degreaser	38.0	114.0
0.1 Kg.	Release agent.	340.0	34.0
TOTAL:		\$	5,362.0
COSTO DE MAQUINADO:		\$	742.0
COSTO DE HORAS-HOMBRE.		\$	758.5
COSTO TOTAL ESTIMADO:		\$	6,863.0

CUADRO Nº 5

REPARACION DE CODO DE DESCARGA USANDO SOLDADURA.			
COSTO DE MATERIALES:			
CANT.	DESCRIPCION	UNID.	TOTAL
		\$	\$
1/2 Kg	Tocuyo	4.4	2.2
2 Kg.	Hilacha de algodón	1.5	3.0
2 Hj.	Tela esmeril No 1	0.6	1.2
2 Hj.	Tela esmeril No 2	0.8	1.6
6 No.	Pra.esm.Superflex	89.3	535.8
5 No.	Pernos de 3/4"x5"	0.1	0.5
12 No.	Arandelas planas	0.2	2.4
15 Kg	Electrodos E-901 de 1/8"	3.4	51.0
2 Hj.	Sierra 1/2"x12"	1.5	3.0
12 No.	Tuercas 5/8" NC.	0.1	1.2
3 Kg.	Electrodos E-7018 de 1/8"	3.9	11.7
12 No	Arandelas 5/8"	0.1	1.2
1 No.	Lima media caña 12" gr. medio	47.8	47.8
1 No.	Mango para Lima	2.5	2.5
27 Kg	Electrodos E-316L-16 de 1/8"	15.8	426.6
8 Kg.	Electrodos E-316L-16 de 3/32"	18.2	145.6
2 No.	Escobilla 6"x1"x1/2	3.2	6.4
1 Kg.	Electrodos EKb 13.4 de 1/8"	11.1	11.1
2 No.	Escobillas c/mango	2.3	4.6
1 No.	Pdra esm. esf.80mm.	25.4	25.4
1 No.	Vidrio oscuro No12	1.5	1.5
3 No.	Vidrio oscuro No10	1.6	4.8
2 Kg.	Electrodos E-900 de 1/8".	4.0	8.0
1 Bt.	Oxigeno.	29.3	29.3
1 Bt.	Acetileno.	84.0	84.0
1/2Gl.	Xilol.	3.5	1.8
1/4Gl.	Pintura anticorrosiva	12.0	3.0
1/2Lt.	Aguarras.	1.0	0.5
6 Kgs	Acero inox. 1/8"	150.0	1350.0
TOTAL:		\$	2,767.7
COSTO DE MAQUINADO:		\$	1,357.0
COSTO DE HRS_HOMBRE:		\$	2,710.0
COSTO TOTAL ESTIMADO:		\$	6,834.0

CUADRO Nº 6

REPARACION DE CODO DE DESCARGA USANDO ELASTOMERO.			
COSTO DE MATERIALES:			
CANT.	DESCRIPCION	UNID.	TOTAL
		\$	\$
1/2 kg.	Tocuyo	4.4	2.2
2	Kg.de Hilacha de alg.	1.5	3.0
5	No. de pernos 3/4x5"	0.1	0.5
12	No. de Arandelas 3/4"	0.2	2.4
9.5Kg.	Electrodos		
	E-901 de 1/8"	3.4	32.3
2	Hj. de Sierra 1/2"x12"	1.5	3.0
12	No de Tuercas 5/8"NC.	0.1	1.2
12	No. Arandelas 5/8"	0.1	1.2
1	Kg. Electrodos E-900	3.9	3.9
20	No. Belzona Envase de		
	500 gr de D&AHICOAT	185.0	3700.0
6	No. Belzona Envase de		
	150 gr. conditioner	53.0	318.0
4	No. Belzona Envase 1/2		
	lts. cleoner.	19.0	76.0
TOTAL:		\$	4,143.2
COSTO DE HRS-HOMBRE:		\$	709.0
COSTO TOTAL ESTIMADO:		\$	4,853.0

CUADRO No. 7

RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C) DE LAS REPARACIONES DE LOS
PRINCIPALES COMPONENTES DE LA TURBINA FRANCIS

	RODETE FRANCIS	PALETAS DIRECTRICES	BLINDAJE DE FONDO	CODO DIFUSOR
Costo de Reposicion	\$ 300,000	\$ 160,000	\$ 11,700	-
Costo de Reparacion	\$ 39,000	\$ 26,000	(1) \$ 6,800	(2) \$ 6,800 (3) \$ 4,800
B/C	6.7	5	-	-
% $\frac{\text{Costo Reparacion}}{\text{Costo Reposicion}}$	13	16.6	58	-

Nota : (1) Aplicacion de ceramica en blindaje

(2) Reparacion de codo difusor usando soldadura

(3) Reparacion de codo difusor usando Elastomero

CAPITULO 8 BENEFICIOS DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

8.1 BENEFICIO EN TIEMPO - DINERO.

A continuación describiremos algunos beneficios que se obtienen de los programas de mantenimiento.

a) El contar con un sistema informático, nos permite acceso a información técnica-económica en forma rápida y suficientemente precisa, lo cual nos facilitará después poder realizar estudios más profundos.

b) Los ensayos con nuevas técnicas de mantenimiento nos ayuda a un ahorro de tiempo y dinero, lo cual nos permite ir mejorando nuestros programas de mantenimiento.

De las comparaciones económicas entre los trabajos convencionales de soldadura y las nuevas técnicas de Cerámica y Elastómero, resultan más ventajosas las últimas; aparte de este beneficio económico, es notorio el tiempo de reparación ya que el tiempo de reposición en caso de un par de blindajes dura alrededor de cinco meses y los reparados con cerámica sólo una semana. En el caso del codo-difusor también se tiene

la ventaja de que el tiempo de recuperación es mucho más corto con Elastómero.

c) El programa de inspecciones nos permite:

- Establecer una base para una alta norma de mantenimiento.
- Determinar las actividades correctivas necesarias para las turbinas.
- Contribuye a una labor equilibrada de los trabajos de mantenimiento.

d) El control mediante Ordenes de trabajo nos ofrece una trayectoria para el progreso y la terminación del trabajo.

e) La programación de las actividades del mantenimiento nos permite una distribución más correcta de los trabajos, de acuerdo con los requerimientos de los grupos de las turbinas Francis.

8.2 DESARROLLO DE NUESTRO MEDIO INDUSTRIAL.

De los programas de mantenimiento que se describen surgen algunas necesidades tecnológicas de carácter fundamental para la evolución de nuestro medio industrial, lo cual permitirá el desarrollo en nuestro país.

a) De la reparación total de la turbina, vemos que si queremos reducir la duración del proyecto de reparación, es preciso acortar la duración de las actividades críticas, en nuestro caso la reparación del rodete Francis. Esto le va ha permitir a nuestro medio industrial empezar a preocuparse por usar las nuevas tecnologías de diseño ayudado por computadoras CAD, y de la manufactura ayudada por computadoras, CAM, las cuales dan una enorme capacidad tecnológica, aumentan grandemente el rendimiento de las empresas y tienen la característica de que pueden ser utilizadas incluso por países en desarrollo como el nuestro.

b) La experiencia en el campo del mantenimiento de turbinas Francis almacenada en un sistema computarizado nos va ha servir como fuente de información para la construcción de futuras centrales hidroeléctricas en nuestro país.

c) Los programas de mantenimiento va a facilitar que profesionales peruanos realicen estudios acerca de la renovación de nuestras centrales hidroeléctricas.

d) De la información recogida por los programas de mantenimiento surgen algunas necesidades tecnológicas que nuestro país puede empezar a desarrollar, especialmente en el diseño de perfiles hidráulicos mediante la simulación de flujos.

CONCLUSIONES

- 1) Dar el máximo apoyo para que los programas de mantenimiento se cumplan estrictamente, ya que de ello dependerá el óptimo funcionamiento de los grupos hidráulicos.
- 2) Normalizar la operación de las turbinas Francis, en el sentido que solo deben funcionar entre el 70 al 100% de su potencia nominal.
- 3) Empezar a desarrollar la investigación acerca del empleo de nuevos materiales resistentes a la cavitación.
- 4) Ya que el factor principal para que las turbinas hidráulicas alcancen una vida útil prolongada, lo constituye la calidad del agua, deben implementarse en nuestras centrales hidroeléctricas, equipos especiales que hagan posible al menos detectar las características exactas del agua, así como de ser posible mejorar los sistemas de decantación de las tomas de las centrales hidroeléctricas.
- 5) Equipar laboratorios de tal forma que se permita investigar ampliamente los fenómenos físicos que se

presenten en las turbinas hidráulicas.

- 6) La enorme disponibilidad de recursos hidroeléctricos, debe propiciar el desarrollo de una avanzada tecnología de turbinas hidráulicas, ya que se tiene los recursos como para no solamente desarrollar centrales pequeñas y medianas en gran escala, sino para la formación y exaltación de técnicos y expertos en tecnología de generación hidráulica y diseminar dicha tecnología a nivel internacional.

BIBLIOGRAFIA

1. "Mantenimiento de centrales hidroeléctricas en el Perú", tesis de competencia profesional.
Autor: Reynaldo Villanueva Ure, UNI.
2. "Proyecto de mantenimiento de turbinas hidráulicas"
Autor: Sociedad Alemana de Corporación Técnica (G.T.Z.)
3. Diversos boletines técnicos de la Sulzer.
4. "Vibration phenomena in Francis turbines: their causes and prevention".
Autor: Escher Wyss News.
5. "Manual de mantenimiento de instalaciones industriales".
Autores: Asturio Baldin - Luciano Furlanetto - Antonio Roversi - Francesco Turco. Editorial: Gustavo Gili S.A., Barcelona, 1982.
6. "Turbo máquinas hidráulicas".
Autor: Manuel Polo Encinas. Editorial: Limusa, México, 1980.
7. "Centrales hidroeléctricas".
Autor: Viejo Zubizaray. Editorial: Limusa, México, 1977.
8. "Centrales hidroeléctricas".
Autor: Zoppetti. Editorial: Gustavo Gili S.A., Barcelona, 1969.
9. "Manual de soldadura".
Autor: OERLIKON EXPLOSIVOS S.A., 1983.
10. "Introducción a la computación y al sistema operativo".
Autor: Instituto Superior Tecnológico CIBERTEC. Lima, 1986.

11. "Autocad avanzado V10."
Autores: J. López Fernández - J. C. Bartolomé Larriaga. Mc GRAW - HILL / INTERAMERICANA DE ESPAÑA, s.a. Madrid, 1989.
12. "Harvard project manager V3.0 H.P.M."
Autor: Instituto Superior Tecnológico CIBERTEC. Lima, 1990.
13. "COBOL ESTRUCTURADO".
Autores: Philippakis y L.J. Kazmier.
Editorial: Latinoamericana, S.A. Bogotá, Colombia 1980.
14. "Manual de técnicas y aplicaciones dBASE III Plus".
Autor: Kerman D. Bharucha, Editorial: TAB.
15. "Aplicaciones prácticas del PERT y CPM".
Autor: Luis yu Chuen Tao. Ediciones: DEUSTO, Bilbao, 1983.