

# FALLA DE ORIGEN



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO



Facultad de Estudios Superiores  
"Cuautitlán"

**"DESARROLLO DE TECNOLOGIA PARA MODIFICAR LOS  
ALABES DE BAJA PRESION DE TURBINAS DE VAPOR PARA  
AUMENTAR SU RESISTENCIA CONTRA EROSION".**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A:

DAVID PALACIOS QUINTANAR

ASESORES: I.M.E. JOSE ANTONIO SANCHEZ GUTIERREZ (FES-C)  
M.C. ZDZISLAW MAZUR CZERWIEC (I.I.E.)



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

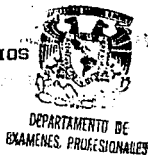
# FALLA DE ORIGEN



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN, N. A. M.  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES SUPLENTE CUAUTITLAN

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Desarrollo de tecnología para modificar los álabes de baja

presión de turbinas de vapor para aumentar su resistencia contra  
erosión".

que presenta el pasante: David Palacios Quintanar

con número de cuenta: 8529789-2 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

AT E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 8 de Ago de 1994

PRRSIDENTE Ing. Samuel Pérez Díaz

VOCAL Ing. Soledad Alvarado Martínez

SECRETARIO Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez

PRIMER SUPLENTE Ing. Bernardo Muñoz Martínez

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Eduardo Covarrubias Chávez

*Recd. 9-18-94*  
*85-41*  
*8/18/94*  
*24-08-94*

## DEDICATORIAS

### A DIOS:

Por permitirme existir y darme cada día la vida, sabiduría y confianza; por su compañía a cada instante, porque aún en las situaciones más difíciles que enfrente, se que no estoy solo.

### A MIS PADRES:

Trini y Ernesto, por darme desde pequeño su comprensión y su amor incondicional que tengo siempre presente; por enseñarme la importancia del trabajo y por darme ese ejemplo de persistencia; por que es en ustedes donde se concentra todo el amor y respeto que de mi ser emana.

### A MIS HERMANOS:

Judith, Ernesto y Daniel, por su cariño y compañía en nuestra infancia y juventud sin olvidarnos de la hermandad que siempre nos ha unido y permitido llegar hasta donde estamos ahora; esperando logren realizar todas las metas que se propongan, y cuando las hayan logrado, tengan siempre deseos de seguir luchando.

### A MI NOVIA:

A ti Lorena, por hacerme soñar y vivir lleno de ilusión, amor y ternura, al darme tu cariño y apoyo incondicional; por regalarme una nueva esperanza, con la certeza de haber encontrado a mi compañera y con la seguridad de poder vencer cualquier obstáculo que se nos presente en nuestro futuro.

**A MIS AMIGOS:**

**Juan José, Luis y José Luis**, mis compañeros del departamento con quienes compartí bonitas experiencias durante mi estancia en Cuernavaca, deseándoles siempre lo mejor y mucha suerte en sus proyectos futuros.

**Toño, Fili y Carlos**, compañeros del Departamento de Equipos Mecánicos Rotatorios por su ayuda para la realización de ésta tesis.

A todos mis compañeros y amigos de la carrera, en especial a **Enrique, Tirso "El Ché", "Tocayo", "Fofoy", José Luis "Willis", Manzo, Pancho y Barríos**, por brindarme su amistad y todos los momentos vividos durante nuestros estudios de Ingeniería.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en particular a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES-C), por todos los conocimientos adquiridos en mi preparación académica.

Al Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la ayuda brindada para la realización del presente trabajo.

### A MIS ASESORES:

M.C. Zdzislaw Mazur Czerwiec (IIE) por su apoyo desinteresado al dirigir la elaboración de ésta tesis; por sus acertadas observaciones para el mejoramiento de la misma; por su amistad y ese ejemplo de profesionalismo.

I.M.E. José Antonio Sánchez Gutiérrez (UNAM) por todos los conocimientos transmitidos como profesor y amigo durante mis estudios de Ingeniería, y por el gran apoyo prestado para la supervisión de la presente tesis.

Mi sincero agradecimiento a todos los profesores de la carrera de I.M.E. que durante mi estancia en la FES-C, pusieron todo su empeño en mi preparación académica como Ingeniero Mecánico Electricista.

**TITULO:**

**" DESARROLLO DE TECNOLOGIA PARA MODIFICAR  
LOS ALABES DE BAJA PRESION DE TURBINAS DE VAPOR,  
PARA AUMENTAR SU RESISTENCIA CONTRA EROSION "**

# INDICE

## CAPITULOS

<b>INTRODUCCION</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>I. TURBINA DE VAPOR.</b> . . . . .	<b>5</b>
1.1 Antecedentes Históricos. . . . .	5
1.2 Generalidades. . . . .	6
1.3 Ciclo Termodinámico de la Turbina de Vapor . . . . .	7
1.4 Turbina de Acción y de Reacción. . . . .	9
1.5 Turbina de Elementos Múltiples . . . . .	10
1.6 Turbina con Condensación y sin Condensación. . . . .	11
1.7 Arquitectura de la Turbina . . . . .	12
1.7.1 Rotor . . . . .	12
1.7.2 Alabes Móviles. . . . .	13
1.7.3 Rodetes . . . . .	14
1.7.4 Carcasa . . . . .	14
1.7.5 Diafragma y Sellos de Laberinto . . . . .	15
1.7.6 Chumaceras. . . . .	16
1.8 Control de Velocidad . . . . .	17
1.8.1 El Regulador de Pesas . . . . .	17
1.8.2 Relevador de Aceite . . . . .	18
1.9 Protección contra Sobrevelocidad . . . . .	19
1.10 Lubricación. . . . .	20
1.11 Válvula de Admisión. . . . .	21
1.12 Válvula de Corte . . . . .	21
<b>II. DISEÑO DE ALABES PARA TURBINAS DE VAPOR</b> . . . . .	<b>22</b>
2.1 Generalidades. . . . .	22
2.2 Alabes Móviles y Fijos . . . . .	23
2.3 Partes del Alabe Móvil . . . . .	23
2.3.1 Raíz. . . . .	24
2.3.2 Paleta. . . . .	25
2.3.3 Protección contra Erosión . . . . .	25
2.3.4 Alambre de Unión, Tetón y Bandas. . . . .	25



2.4	Triángulo de Velocidades . . . . .	26
2.5	Perfil del Alabe . . . . .	29
2.6	Fuentes de Vibración . . . . .	31
2.6.1	Vibración por Flujo No Uniforme . . . . .	31
2.6.2	Vibración por Interacciones del Rotor y Estator . . . . .	31
2.6.3	Fenómenos de Autoexcitación . . . . .	32
2.6.4	Vibración por el Rotor. . . . .	33
2.7	Vibración Armónica . . . . .	33
2.8	Materiales para Fabricación de Alabes. . . . .	39
2.9	Pruebas No Destructivas. . . . .	43
2.9.1	Inspección Visual . . . . .	43
2.9.2	Prueba de Líquidos Penetrantes. . . . .	45
2.9.3	Prueba con Partículas Magnéticas. . . . .	45
2.9.4	Prueba Ultrasónica. . . . .	45
2.9.5	Prueba por Corriente "EDDY" . . . . .	46
2.9.6	Replica . . . . .	46

**III. METODOS DE PROTECCION CONTRA EROSION Y CORROSION  
PARA ALABES . . . . .**

		47
3.1	Fenómenos de Erosión y Corrosión . . . . .	47
3.2	Fuentes que producen Erosión a Alabes. . . . .	47
3.2.1	Por Impacto de Partículas Sólidas . . . . .	47
3.2.2	Por Impacto de Líquidos . . . . .	48
3.3	Procesos de Limpieza para Alabes . . . . .	48
3.4	Proyección de Partículas Abrasivas . . . . .	48
3.4.1	Tipos de Abrasivos. . . . .	49
3.5	Baños Químicos . . . . .	51
3.6	Procesos de Recubrimientos . . . . .	52
3.7	Termorrociado. . . . .	52
3.7.1	Rociado por Flama . . . . .	52
3.7.1.1	Rociado con Alambre. . . . .	53
3.7.1.2	Rociado con Polvos . . . . .	53
3.7.1.3	Pistola de Detonación. . . . .	53
3.7.2	Arco Eléctrico. . . . .	53
3.7.3	Rociado por Plasma. . . . .	54
3.8	Recubrimientos Tipo Injerto. . . . .	56

3.9	Técnicas de Protección por Endurecido. . . . .	59
3.9.1	Endurecido por Inducción. . . . .	59
3.9.1.1	Procedimiento para el proceso de Endurecido por Inducción . . . . .	60
3.9.2	Endurecido por Flama. . . . .	61
3.9.3	Endurecido por LASER. . . . .	63
3.10	Métodos de Protección Recientemente Desarrollados. . . . .	64
3.10.1	Método de Protección GENERAL ELECTRIC . . . . .	64
3.10.2	Método de Protección SIEMENS. . . . .	65
<b>IV.</b>	<b>RECUPERACION DE LA GEOMETRIA DEL ALABE MOVIL L-0 DE TURBINA DE VAPOR DE 300 MW . . . . .</b>	<b>67</b>
4.1	La Máquina de Medición por Coordenadas (MMC) . . . . .	67
4.2	Medición de los Perfiles del Alabe L-0 (Última Etapa) de Baja Presión. . . . .	67
<b>V.</b>	<b>PROCESO DE REPARACION POR SOLDADURA DEL ALABE MOVIL L-0 DE TURBINA DE VAPOR DE 300 MW . . . . .</b>	<b>99</b>
5.1	Proceso de Reparación. . . . .	99
5.2	Dispositivo de Fijación. . . . .	100
5.3	Limpieza . . . . .	102
5.4	Medición de Frecuencias Naturales. . . . .	102
5.5	Remoción del Injerto de Estelita Tipo "J". . . . .	106
5.6	Maquinado del Filo de Entrada del Alabe. . . . .	107
5.7	Maquinado del Injerto de Estelita Tipo Nariz Sólida. . . . .	109
5.8	Soldadura del Injerto de Estelita Tipo Nariz Sólida con el Alabe . . . . .	111
5.9	Enderezado de la Paleta. . . . .	117
5.10	Tratamiento Térmico. . . . .	118
5.11	Maquinado Final del Alabe. . . . .	122
5.12	Pruebas No Destructivas. . . . .	124
5.13	Medición de Nuevas Frecuencias Naturales . . . . .	124
<b>VI.</b>	<b>ANALISIS Y RESULTADOS DEL PROCESO DE REPARACION POR SOLDADURA DEL ALABE MOVIL L-0 DE TURBINA DE VAPOR DE 300 MW . . . . .</b>	<b>127</b>
6.1	Condiciones de Trabajo . . . . .	127
6.2	Características de los Injertos de Estelita que se utilizaron en el Proceso de Soldadura. . . . .	127
6.3	Resultados del Proceso de Maquinado del Injerto de Estelita Tipo Nariz Sólida . . . . .	128
6.4	Resultados del Proceso de Soldadura del Injerto de Estelita Tipo Nariz Sólida con el Alabe . . . . .	130

6.5	Resultados del Enderezado de la Paleta . . . . .	130
6.6	Resultados del Tratamiento Térmico . . . . .	131
6.7	Resultados del Maquinado Final del Alabe . . . . .	134
6.8	Resultados de las Pruebas No Destructivas. . . . .	134
6.9	Resultados de las Medición de Frecuencias Naturales. . . . .	135

<b>VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. . . . .</b>	<b>136</b>
---	------------

<b>BIBLIOGRAFIA . . . . .</b>	<b>139</b>
-------------------------------	------------

**APENDICES**

Apéndice A. Dibujos del despiece del dispositivo de fijación Dibujo de referencia 5.1 . . . . .	143
Apéndice B. Resultados del análisis metalográfico del injerto de estelita 6B, realizado por la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales (CMIM). . . . .	171

## NOMENCLATURA

### S I M B O L O

### D E S C R I P C I O N

P	Presión.
V	Volumen.
T	Temperatura.
S	Entropía.
$C_1$	Velocidad Absoluta del flujo de vapor a la entrada del rodete.
$W_1$	Velocidad Relativa del flujo de vapor a la entrada del rodete.
u	Velocidad de los álabes (rodete).
$\alpha_1$	Angulo de descarga a la entrada del rodete.
$\beta_1$	Angulo medio de entrada del vapor al rodete.
$C_2$	Velocidad Absoluta del flujo de vapor a la salida del rodete.
$W_2$	Velocidad Relativa del flujo de vapor a la salida del rodete.
$\alpha_2$	Angulo de descarga a la salida del rodete.
$\beta_2$	Angulo medio de salida del vapor del rodete.

- θ** Angulo de desviación del flujo de vapor sobre la cara de presión (lado cóncavo) en el perfil del álabe.
- S** Angulo de montaje del perfil del álabe.
- C** Cuerda del perfil del álabe.
- B** Ancho del perfil del álabe.
- I** Corriente.
- t** tiempo.

## INTRODUCCION.

Es indiscutible la necesidad que tiene todos los países de poseer fuentes de explotación para la generación de energía eléctrica, porque con ésta se puede lograr un completo desarrollo y autosuficiencia en las diversas áreas (agricultura, industria, comercio, etc.).

Nuestro país, MEXICO, se encuentra ante ésta problemática, porque actualmente atraviesa una etapa de crecimiento y desarrollo a raíz del TLC; y porque aún es dependiente en diversos aspectos de los países innovadores de tecnología para la producción y aprovechamiento de dicha energía eléctrica.

En MEXICO, uno de los elementos que más se utiliza para la generación de energía eléctrica es el AGUA, por encontrarse en cantidades abundantes y por su bajo costo en comparación con los combustóleos. El agua puede ser utilizada en su estado líquido, en las Centrales Hidroeléctricas, ó explotada su forma gaseosa (Vapor de Agua) en Centrales Termoeléctricas.

En casi todos los países, de su capacidad efectiva de generación eléctrica, el 15% se genera en Centrales Hidroeléctricas y el 85% restante en Centrales Termoeléctricas [10]. En MEXICO, durante 1992, de la capacidad efectiva de generación eléctrica el 29.30% se generó en Centrales Hidroeléctricas y el 70.70% en Centrales Termoeléctricas [38].

En las siguientes tablas se muestra en porcentaje de participación que tuvieron ambos sectores en la generación de energía eléctrica, en nuestro país, durante el año de 1992 [38].

CAPACIDAD EFECTIVA, AÑO 1992.  
SISTEMA ELECTRICO NACIONAL.

TIPO DE GENERACION	CAPACIDAD EFECTIVA (MEGAWATTS)	PARTICIPACION %
<b>T O T A L</b>	<b>27 067.53</b>	<b>100.00</b>
<b>HIDROELECTRICA</b>	<b>7 931.00</b>	<b>29.30</b>
<b>TERMOELECTRICA</b>	<b>19 136.53</b>	<b>70.70</b>
VAPOR	12 787.70	47.24
TURBOGAS	1 777.08	6.57
CICLO COMBINADO	1 817.66	6.72
COMBUSTION INTERNA	149.09	0.55
GEOTERMIA	730.00	2.70
NUCLEAR	675.00	2.49
CARBON	1 200.00	4.43

TIPO DE GENERACION	NUMERO DE		CAPACIDAD EFECTIVA (MEGAWATTS)
	CENTRALES	UNIDADES	
HIDROELECTRICA	74	208	7 930.998
%	47	37	29.30
TERMOELECTRICA	84	350	19 136.529
%	53	63	70.70
TOTAL	158	558	27 067.527
%	100	100	100.00

Me enfocaré en aquellas Centrales Termoeléctricas que utilizan vapor de agua como elemento de explotación; a éste vapor de agua se le transforma su energía cinética en energía mecánica, mediante el uso de una máquina térmica llamada TURBINA DE VAPOR.

En MEXICO, en 1992, se generaron 12 787.70 MW utilizando Turbinas de Vapor, casi el 50% (47.24%) del total de la energía generada en ese año, lo que señala la importancia que tienen éstas máquinas para la producción nacional de energía eléctrica [38].

Durante la operación comercial de la Turbinas de Vapor, que forman parte de una unidad de potencia, los álabes así como otros componentes del sistema de flujo sufren daños y desgaste natural o acelerado, que pueden ser de origen mecánico o metalúrgico y que no permiten su operación continua. También se refleja durante la operación, en la disminución de la disponibilidad, confiabilidad y rendimiento del equipo, con un aumento en el riesgo de que se presenten las fallas.

Los álabes de las últimas etapas de baja presión son las partes de la turbina, que después de ciertos periodos de servicio sufren daños y desgaste del material, por la erosión debida a condensación del vapor. La práctica común en las plantas, por recomendación del fabricante, es sustituir los álabes gastados por nuevos; eso significa un gran costo porque el precio de un sólo álabe móvil de baja presión llega cerca de 3000.00 dólares (N\$ 9300.00 aproximadamente), por el alto costo de la materia prima (aceros inoxidables) y por la mano de obra del maquinado (por su compleja geometría). Cabe mencionar, que el costo total de los álabes fijos y móviles es de aproximadamente el 25% del costo total de la Turbina [37].

Debido a lo anterior, bastantes compañías y centros de investigación se dedican al desarrollo de las tecnologías de rehabilitación y prolongación de la vida útil de los álabes y otros componentes de turbina. En la mayoría de los casos, un álabe rehabilitado podrá tener una vida útil más larga que la de un álabe nuevo, por la aplicación de recubrimientos y otros procesos especiales de protección. El costo de la rehabilitación es siempre solo una fracción del costo de una refacción nueva (varía de un 25% a un 30%) [37].

En ésta tesis se va a desarrollar un método de rehabilitación por soldadura para los álabes móviles L-0 de la última etapa de baja presión, de una turbina de vapor de 300 MW, MITSUBISHI, gastados por la erosión.

El presente trabajo está dividido en siete secciones o capítulos:

En el Capítulo I, se presentan los antecedentes históricos y generalidades de la turbina de vapor; se hacen varias clasificaciones de las turbinas, así como un análisis de su ciclo termodinámico. Se presenta la descripción de su arquitectura, en donde se señala la ubicación y clasificación principal de los álabes, que son los componentes sobre los que se desarrolla el tema principal de la tesis.

En el Capítulo II, se presenta la descripción del álabe móvil, así como la información de cada una de las partes que lo integran; un análisis en base a triángulos de velocidad del perfil del álabe y la nomenclatura del mismo. Se mencionan las principales fuentes que inducen vibración, y por consiguiente, daños a los álabes. Se da un resumen histórico de los materiales utilizados hasta la actualidad, así como las propiedades mecánicas y la composición química de los materiales que actualmente se utilizan para la fabricación de los álabes; para finalizar se enlistan las Pruebas No Destructivas que frecuentemente se aplican a álabes tanto de turbinas de vapor como de gas. En base a la información que se presenta, se hace una descripción detallada de los álabes con los que se trabaja en ésta tesis.

En el Capítulo III, se describen los fenómenos de Erosión y Corrosión, y se listan las fuentes que producen erosión a los álabes móviles de turbinas de vapor. Antes de aplicar a los álabes cualquier técnica de protección, es necesario llevar a cabo un proceso previo de limpieza; las características de éstos procesos de limpieza son aquí descritas, junto con las diferentes técnicas y procesos de protección contra erosión para los álabes. Se presenta un resumen histórico de la aplicación del Proceso de Recubrimiento Tipo Injerto, que es el proceso que se va a utilizar para reparar los álabes móviles L-0; así mismo, se proporciona la composición química de éstos injertos. Por último, se hace mención de las técnicas más actuales de protección para álabes, utilizadas por las empresas fabricantes de Turbinas.

En el Capítulo IV, se realiza el proceso de medición de seis perfiles del álabe móvil L-0, antes y después del proceso de reparación por soldadura; se presentan las coordenadas de los puntos medidos y los dibujos de cada una de las secciones antes y después del proceso de reparación.



En el Capítulo V, se describe el Proceso de Reparación por Soldadura, que consiste en: Limpieza del álabe; Medición de frecuencias naturales; Remoción del injerto de estelita tipo "J"; Maquinado del filo de entrada del álabe; Maquinado del injerto de estelita tipo nariz sólida; Soldadura del injerto de estelita tipo nariz sólida con el álabe; Enderezado de la paleta; Tratamiento térmico; Maquinado final del álabe; Pruebas no destructivas y Medición de las nuevas frecuencia naturales. Se proporcionan los dibujos para la construcción del dispositivo de fijación y se da un seguimiento a cada subproceso que conforma el proceso general de reparación.

En el Capítulo VI, se plantea el análisis y la evaluación de cada uno de los procesos que se realizaron durante la Reparación por Soldadura; se dan a conocer las condiciones de trabajo y las características de los injertos de estelita que se utilizaron en el proceso, junto con los resultados obtenidos de ensayos de dureza aplicados a los injertos.

Y por último, en el Capítulo VII, se presentan las conclusiones y las recomendaciones basadas en las experiencias y en los problemas que surgieron al llevar a cabo el Proceso de Reparación por Soldadura.

# CAPITULO I

## TURBINA DE VAPOR.

### 1.1 ANTECEDENTES HISTORICOS.

El hombre siempre ha requerido de una fuerza motriz, que lo ayude en sus diversos trabajos; así vemos en la antigüedad, el uso del caballo, del hombre mismo, etc., hasta la explotación de diversos elementos, uno de ellos el vapor de agua. La primera aplicación del vapor como fuerza motriz, destinada a la obtención de energía eléctrica fue en la turbina de reacción de Hero en Alejandría en el año 150 A.C. [1].

De Laval, en el año 1882, estudió la forma de la tobera, adaptándola al inyector, y de 1884 a 1889, proyectó turbinas con una tobera y un sólo escalón, fabricándolas desde 1 HP a 100 000 rpm, hasta 100 KW a 6 000 rpm, conocidas como turbinas De Laval [1].

NOTA: En la actualidad, las turbinas pequeñas se fabrican para 10 000 rpm como velocidad máxima de funcionamiento; muy por debajo de la velocidad de 100 000 rpm. que se menciona en el párrafo anterior y que se obtuvo de la referencia [1].

C. A. Parsons y C. G. Curtis [1], desarrollaron respectivamente, las turbinas de reacción y de impulsión (más adelante describiré cada tipo de turbina).

Primero se desarrolló la turbina de eje vertical, ya que exigía menor superficie de instalación y proporcionaba una corriente de vapor directa, desde la parte superior hacia el condensador [1].

En 1903, aparece la turbina de 5,000 KW, y la potencia para un mismo espacio de instalación aumento en pocos años, hasta poder soportar 12,000 KW. En 1914, aparece la mayor turbina vertical, la de 20,000 KW, y poco después aparece la turbina horizontal [1].

En 1930, las Compañías General Electric y la Westinghouse [1], construyen turbinas de 50 MW y se adopta la división de elementos de alta y baja presión.

Se prefieren las unidades de árbol único (compound tándem) de hasta 150 MW y se construyen las turbinas de 60 MW a 3600 rpm, reemplazando a las de 1800 rpm [1].

En la actualidad se pueden llegar a fabricar turbinas con una capacidad de hasta 1200 MW a 1500 rpm.

## 1.2 GENERALIDADES.

Una TURBINA DE VAPOR, es una máquina térmica de flujo permanente que transforma la energía cinética del vapor (proveniente de una caldera), en trabajo mecánico [2]. Al pasar el vapor por las toberas, se expande hasta una presión más baja, debido a la geometría de la tobera, adquiriendo con esta caída de presión una velocidad mucho mayor que a la entrada, en éstas condiciones se hace incidir al vapor sobre la rueda de álabes montada sobre un rotor, haciendo girar a éste último, transmitiendo (por medio de la flecha) el trabajo necesario para accionar diversos equipos; como: generadores, compresores, bombas, etc.; en la figura 1.1 se muestra el corte de la instalación de una Turbina de Vapor.

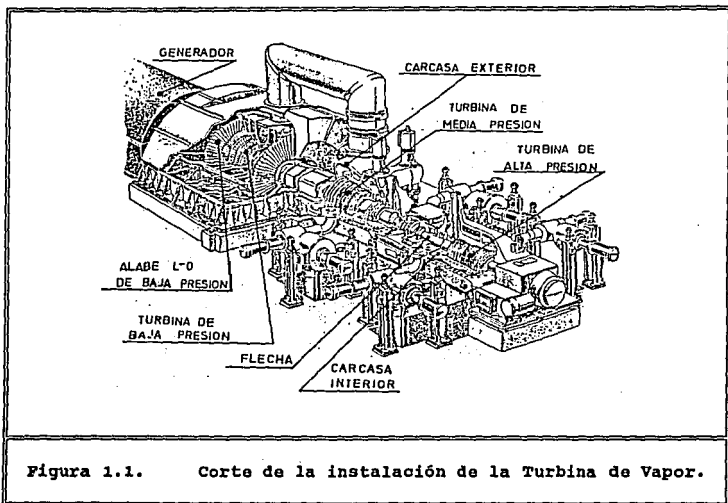


Figura 1.1. Corte de la instalación de la Turbina de Vapor.

Para producir una mayor cantidad de trabajo, es preciso inyectar mayor cantidad de vapor a la turbina y ésto se logra aumentando el diferencial de presión entre la entrada y la salida de la tobera, incrementando el número de toberas ó haciendo más grandes las toberas con las que se trabaja [6].

### 1.3 CICLO TERMODINAMICO DE LA TURBINA DE VAPOR.

El vapor de agua que se utiliza en una Central Termoeléctrica, sufre varios cambios de estado durante su aprovechamiento en los diferentes equipos de la planta, de tal modo que regresa a su estado original; es decir, se le trabaja en un CICLO. Se define un ciclo "cuando cierta masa de fluido en un estado particular pasa por una serie de procesos y regresa a su estado inicial" [8].

Básicamente el equipo de una central termoeléctrica es: Turbina (de Vapor ó de Gas), Generador, Condensador, Bomba y Caldera [6][8]; la figura 1.2 muestra su esquema de instalación; en éste equipo exceptuando el Generador, ocurren las transformaciones de estado del vapor.

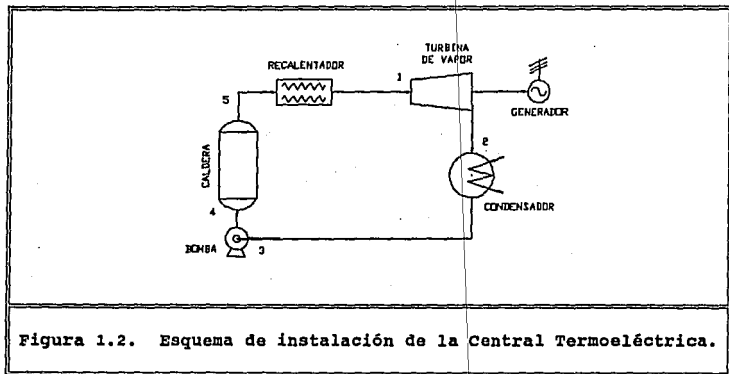


Figura 1.2. Esquema de instalación de la Central Termoeléctrica.

En la Turbina de Vapor ocurre el proceso de expansión del vapor, con el aprovechamiento de su energía cinética en trabajo mecánico para el Generador, y es una máquina de combustión externa, porque la combustión no tiene lugar en su interior, sino en la caldera. La reducción de calor se efectúa en el Condensador, originando que el vapor vuelva a su estado líquido.

En la Bomba ocurre el proceso de compresión, para alimentar a la caldera. En la Caldera se lleva a cabo la adición de energía calorífica al agua para transformarla en vapor. El vapor que sale de la caldera es un vapor saturado, por lo que se le hace pasar por un Recalentador, que aumenta su temperatura hasta convertirlo en vapor sobrecalentado a la presión de la caldera [5][6].

La Turbina de Vapor presenta mayor eficiencia cuando trabaja con vapor sobrecalentado, que con vapor saturado; las razones: el primero contiene mayor energía cinética por unidad de peso, por lo que efectúa el mismo trabajo con menor cantidad de vapor; posee menor cantidad de humedad, originando que las pérdidas por fricción en tuberías se reduzcan y se prolongue la vida útil de los álabes en la turbina de baja presión [5].

El CICLO RANKINE ó CLAUSIUS [13], es el ciclo que rige en la turbina de vapor [5][8] y se ilustra en la figura 1.3. La descripción del ciclo se hace atendiendo los puntos señalados en las figuras 1.2 y 1.3, considerando que la turbina emplea vapor saturado (números) y vapor sobrecalentado (letras).

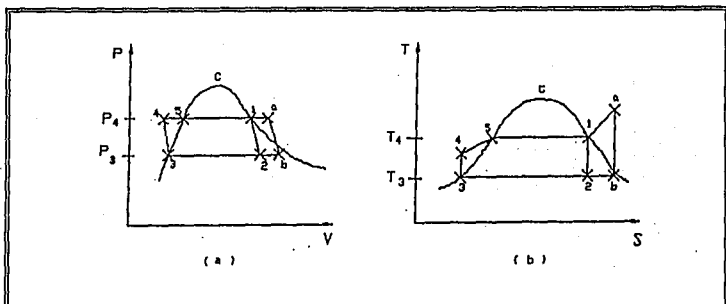


Figura 1.3. Ciclo Rankine.

Diagramas de: (a) Presión-Volumen; (b) Temperatura-Entropía.

Proceso de 1-2 y de a-b. En la turbina se lleva a cabo un proceso de expansión adiabático e isentrópico. El comienzo de la expansión del vapor saturado es el punto (1) y el del vapor sobrecalentado la letra (a); al final de la expansión, el punto (2) se localiza en la zona de humedad y la letra (b) en la zona de saturación.

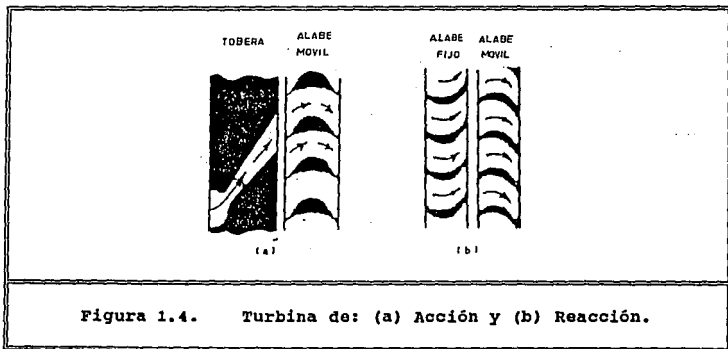
Proceso de 2-3 y de b-3. Es un proceso que se lleva a cabo en el condensador, siendo isobárico e isotérmico, hasta condensar el vapor húmedo (punto 2) o saturado (letra b) en líquido saturado.

Proceso de 3-4. Se realiza en la bomba y es un proceso de compresión adiabático e isoentrópico, en el que se utiliza el líquido saturado proveniente del condensador.

Proceso de 4-5-1-a. Se realiza en la caldera y el recalentador. De los puntos 4-5, es un proceso isobárico que se realiza en la caldera, donde al líquido saturado se le agrega calor hasta la temperatura de saturación a la presión de la caldera y comienza a evaporarse en vapor húmedo. De los puntos 5-1 el proceso es isobárico e isotérmico en la caldera, donde todo el vapor húmedo se transforma en vapor saturado. De los puntos 1-a el proceso se realiza en el recalentador siendo de recalentamiento isobárico, donde el vapor saturado pasa a vapor sobrecalentado, y se encuentra listo para entrar en la turbina, iniciándose una vez más el ciclo [5][6][8].

#### 1.4 TURBINAS DE ACCION Y DE REACCION.

Atendiendo el lugar donde se transforma la energía térmica en energía mecánica las turbinas de vapor se clasifican en: Turbinas de Acción y Turbinas de Reacción [4], y se ilustran en la figura 1.4.



En las TURBINAS DE ACCION, la expansión de vapor tiene lugar únicamente en las toberas, esto se debe a su geometría convergente-divergente, el vapor alcanza velocidades relativamente altas. Se les llama también TURBINAS DE IMPULSO [3], porque aprovechan el impulso ó ésta velocidad, para mover los álabes del rotor, los que absorben la energía cinética que contiene el vapor.

En las **TURBINAS DE REACCION O DE ALABES PARSONS**, la caída de presión es parcial en los álabes fijos, utilizados para canalizar el vapor y orientarlo adecuadamente para entrar en los álabes móviles, los que poseen una sección de desplazamiento variable en forma de tobera [4]. La completa reducción de la presión se lleva a cabo simultáneamente tanto en los álabes móviles como fijos, creándose la energía cinética y su utilización directa, accionando el rodete por la reacción que efectúa el vapor al expansionarse en los álabes móviles [1]. Si bien es cierto que la **TURBINA DE REACCION** es más eficiente que la **TURBINA DE IMPULSO**, por lo general requiere de más etapas que ésta última [6].

### 1.5 TURBINA DE ELEMENTOS MULTIPLES.

Las turbinas trabajan a presiones muy elevadas, ocasionando que la velocidad del vapor (adquirida después de la caída de presión), sea muy alta. Para poder obtener la máxima eficiencia, la velocidad de los álabes debe ser la mitad de la velocidad del vapor [2][3], por lo que, para aprovechar toda la energía en una sola etapa (una sola rueda de álabes), se necesita que la turbina trabaje entre 20,000 rpm y 40,000 rpm, lo cual no es factible por los esfuerzos y presiones generadas, además de obtener un mínimo rendimiento [3].

Debido a ésto, se colocan varias hileras de álabes, para dividir el aprovechamiento en varias etapas o escalones [4]. El número de etapas está íntimamente relacionado con la presión de entrada [2][3].

En las **TURBINAS UNIETAPICAS**, el vapor se expande desde la presión de entrada, hasta la presión de escape, en un sólo paso y se construyen en tamaños de hasta 1500 HP y con velocidades de 600 rpm hasta 7000 rpm [5].

En las **TURBINAS MULTIETAPICAS**, se distinguen dos tipos de arreglos o escalones [3]:

En el **ESCALONAMIENTO DE PRESION O RATEAU**, se presenta una caída de presión en un grupo de toberas, la velocidad del vapor es lo bastante baja, para ser aprovechado por la primera hilera de álabes móviles, al salir de éstos vuelve a entrar a otro grupo de toberas, en el cuál se realiza otra caída de presión, cuya velocidad resultante se aprovecha por una segunda rueda de álabes móviles. Este arreglo de **TOBERAS - ALABES MOVILES** se repite hasta que el vapor se expande totalmente [3].

En el **ESCALONAMIENTO DE VELOCIDAD O CURTIS**, se efectúa una caída de presión grande en un grupo de toberas, y el vapor se utiliza por los álabes móviles, al salir de éstos dicho vapor se orienta con álabes directrices, que no le cambian ni su presión ni su velocidad. El arreglo consiste de **TOBERA - ALABES MOVILES - ALABES FIJOS - ALABES MOVILES**, repitiéndose hasta utilizar la mayor energía cinética disponible del vapor [3]. En la figura 1.5 se muestran los escalonamientos de presión y de velocidad.

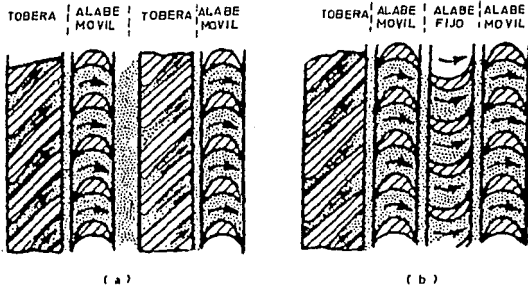


Figura 1.5. Escalonamientos de: (a) Presión y (b) Velocidad.

Para turbinas que trabajan a altas presiones de entrada y bajas presiones de salida, es recomendable que su diseño sea de varias etapas. Las turbinas de acción que tienen un gran rendimiento, emplean el escalonamiento de Rateau, seguido de un escalonamiento Curtis [1][3].

#### 1.6 TURBINAS CON CONDENSACION Y SIN CONDENSACION.

En las **TURBINAS CON CONDENSACION**, el vapor saturado que sale se le disminuye su presión, con lo cuál su expansión continúa; éste vapor se atrapa en un dispositivo llamado **CONDENSADOR**, cuya función es absorberle calor, para condensarlo y posteriormente recircularlo a la caldera. Este tipo de turbinas generalmente son multietápicas [5][6].

En las **TURBINAS SIN CONDENSACION O DE CONTRAPRESION**, el vapor saturado que escapa no se utiliza para volver a producir trabajo mecánico [6]. Son máquinas de pequeños rodetes, unietápicas ó con pocos escalones [1]. El vapor que sale se utiliza para diversos fines, como: calefacción de instalaciones, en procesos industriales químicos, alimentación de evaporadores, etc [1].



## 1.7 ARQUITECTURA DE LA TURBINA.

El conjunto de **ALABES FIJOS** montados sobre un disco recibe el nombre de **DIRECTRIZ**. Las directrices ensambladas entre ellas forman el **ESTATOR** [4].

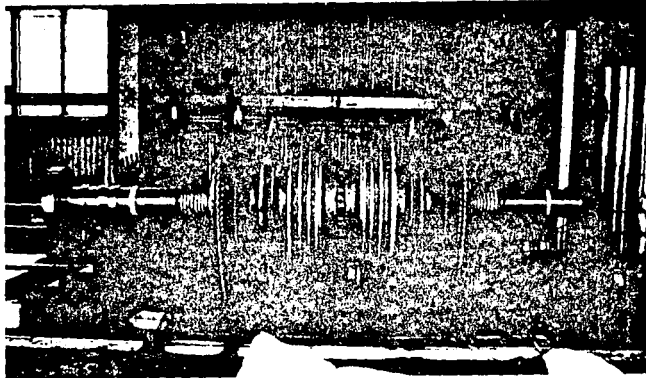
El conjunto de **ALABES MOVILES** se monta sobre un disco y se denominan **RODETE**; los rodets se montan sobre uno o varios ejes; y el eje equipado con ellos se llama **ROTOR** [4]. Los rodets pueden acoplarse en una sola línea (disposición **TANDEM-COMPOUND**), que se utiliza para trabajar gran volumen de vapor a baja presión; ó montarse en dos líneas (arreglo **CROSS-COMPOUND**), donde las flechas son separadas y paralelas a la turbina de alta presión [2][4].

### 1.7.1 ROTOR.

Como ya mencioné se compone de Alabes Móviles, Rodetes y Flechas [4]. Los álabes se maquinan por separado y después se fijan al rodete, el cuál se coloca a la flecha en caliente, quedando fijo a presión cuando se enfría. De otro modo, tanto la flecha como los álabes se forjan en una sola pieza [6]. La flecha del rotor se construye generalmente de acero forjado [1].

El rotor es el elemento que suministra la potencia útil para accionar la carga y se balancea dinámicamente agregando o quitando ciertas masas, las cuáles poseen un peso determinado; éstas masas son tornillos especiales, que proporciona el fabricante de la turbina.

En la **fotografía 1.1** se muestra un rotor de doble flujo de baja presión para una turbina de vapor de 300 MW, donde se instalan los álabes de ésta tesis.



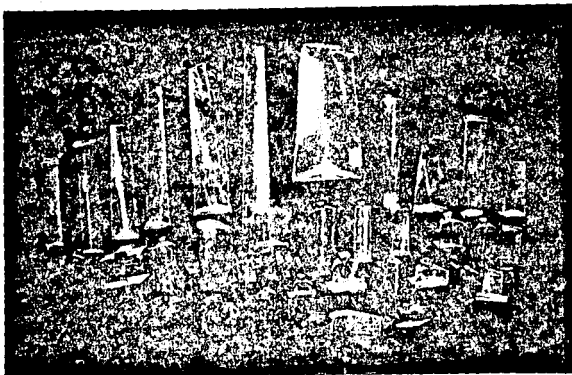
**Fotografía 1.1. Rotor de doble flujo de Baja Presión para Turbina de Vapor de 300 MW.**

#### **1.7.2 ALABES MOVILES.**

Se obtienen por fresado en bloques macizos de acero [1], en forma de aleta, y su perfil se diseña de acuerdo a la función que van a desempeñar, el material con que se hacen es acero inoxidable, pues es resistente a la corrosión, erosión y altas temperaturas.

El tipo de álabes que estoy estudiando en ésta tesis, son de la última etapa de baja presión ó etapa L-0; no profundizaré mucho, porque los describo en el Capítulo II. Estos álabes son de grandes dimensiones, y se agrupan mediante dos alambres de unión, que se colocan en las partes centrales de su paleta, para darles mayor rigidez y evitarles vibraciones, cuando están trabajando [4].

En la fotografía 1.2 se muestran diversos tipos de álabes móviles para turbinas de vapor.



Fotografía 1.2. Alabes Móviles para Turbina de Vapor.

### 1.7.3 RODETES.

En algunas turbinas, el primer rodete es doble, produciendo desde el primer instante una importante caída de presión y de temperatura, con la ventaja de que los siguientes rodetes se sometan a condiciones menos severas. Sustituye a más de cuatro rodetes simples con lo que se reduce la longitud del eje de la turbina [4].

### 1.7.4 CARCASA.

Es la cubierta de la turbina y está diseñada para sostener al rotor horizontalmente y sirve de recinto estanco al vapor [2][4]. Se divide en dos partes por el centro horizontal para su fácil inspección y desmantelamiento. En las partes de las turbinas de alta y media presión las carcasa son de fundición y en las partes de baja presión se soldan de placas de acero.

Contienen los soportes de las chumaceras, alojamiento de los sellos, líneas de purgas y extracciones, conexiones para el vapor de entrada y de salida, etc. [2]. Las turbinas modernas constan de un cuerpo interno y otro externo, entre los que circula un vapor de barrido, que sirve para disminuir la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior [4].

Existe una diferencia de presión entre la carcasa y la cámara de vapor, para que exista un flujo hacia la turbina. Si aumenta la presión en la carcasa, dicha diferencia de presión deja de existir y hay la posibilidad de que la carcasa se dañe si la presión de ésta iguala la del vapor de entrada, por lo que la turbina se arranca con la válvula de vapor abierta [5][6].

#### 1.7.5 DIAFRAGMA Y SELLOS DE LABERINTO.

Si se desea que la turbina trabaje a un buen rendimiento, es preciso evitar las fugas de vapor por los cuerpos de alta presión ó media presión, y la entrada de aire por las etapas de baja presión [4]. Para evitar las fugas de vapor se utilizan los SELLOS DE LABERINTO, entre el DIAFRAGMA y la FLECHA [4], como se ilustra en la figura 1.6.

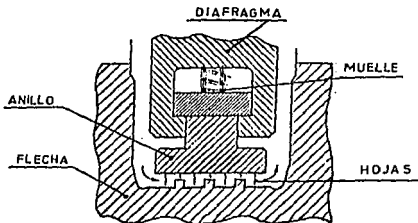


Figura 1.6. Sello de Laberinto.

El diafragma, se sitúa en la carcasa, es el que contiene a las toberas y por consiguiente separa a las diferentes etapas de la turbina. Se coloca rodeando la flecha con poca tolerancia, pero sin rozarla; pues si es de un material más duro que el de la flecha, ésta puede llegar a dañarse, por lo que se instala el sello, reduciéndose el espacio entre diafragma y flecha, como es de material más suave como bronce ó acero inoxidable, la flecha no sufre ningún daño si lo roza [6].

El sello de laberinto se forma con un anillo de metal, que lleva hojas de acero; las hojas tienen alternativamente un mayor y menor diámetro, con lo que se aumentan las dificultades de recorrido para las fugas de vapor, ya que se forman remolinos y turbulencias, originados por la diferencia de presión, con lo que se reducen las pérdidas por éste concepto [4][5][6].

#### 1.7.6 CHUMACERAS.

A parte de evitar las fugas de vapor de la turbina, para que ésta trabaje en forma eficiente, la flecha debe girar sin rozamiento, para no tener pérdidas por fricción; ni en sentido axial, ni radial. Estos movimientos se crean por el cambio de dirección del vapor en los álabes móviles del rotor, ocasionando un empuje dinámico; los empujes estáticos son debidos a la diferencia de presión existente entre ambas partes del rodete [4].

La flecha se monta sobre chumaceras, que le permiten girar con el mínimo de fricción, pues existe una película de aceite lubricante entre superficies en contacto, que se produce por el efecto de cuña, por lo que la flecha queda prácticamente suspendida en el aceite [5]. A las chumaceras que limitan el movimiento radialmente, se les conoce como CHUMACERAS RADIALES, y a las que evitan el movimiento axialmente se les conoce como CHUMACERAS DE CARGA O EMPUJE [2].

Las chumaceras de turbinas medianas y grandes se componen de un casquillo revestido interiormente de metal antifriccionante, que es el babbitt, en él se maquinan ranuras para distribuir el aceite durante la rotación [2][4][5].

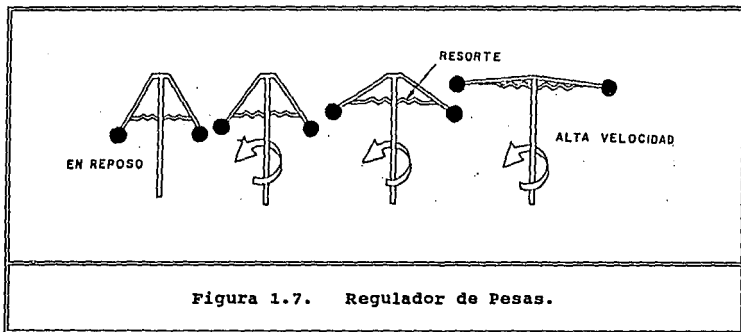
Las chumaceras absorben gran cantidad de calor, debido a la fricción que les origina la flecha y son enfriadas por el mismo aceite que fluye a través de ellas, por lo que una buena señal de un mal funcionamiento de la turbina es un incremento de temperatura del aceite que sale de la chumacera, arriba de 160 °F [2].

## 1.8 CONTROL DE VELOCIDAD.

Las turbinas son máquinas que trabajan a una velocidad constante [1], cuando existe variación en la carga aplicada se sobrerrevolucionan, alcanzando velocidades críticas llegando incluso a destruirse, para evitarlo se instalan diversos mecanismos, que regulan el caudal del vapor que entra a la turbina, en función inversa a la velocidad de ésta, para que mantenga siempre su velocidad de trabajo, ya sea que se acelere o desacelere.

### 1.8.1 EL REGULADOR DE PESAS.

Posee un par de pesas diametralmente opuestas sobre un eje secundario, accionado por el eje de la turbina a través de un juego de engranes, éstas pesas se desplazan por efecto de la fuerza centrífuga y dos muelles se oponen a su movimiento. Al variar la velocidad, varía también la fuerza centrífuga y las pesas se separan o se juntan, hasta quedar equilibrada dicha fuerza con la tensión de los muelles [4]. El regulador de pesas se ilustra en la figura 1.7.



El regulador controla la válvula de admisión de vapor para la turbina; durante el arranque, la velocidad es nula, por lo que las pesas se encuentran junto al eje secundario, y la válvula de admisión abierta totalmente. Al iniciarse el movimiento del eje, la fuerza centrífuga empieza a crecer, separando las pesas y cerrando la válvula de admisión, hasta que se equilibra por efecto de la fuerza de los muelles, alcanzando la velocidad de trabajo [5][6].

Al incrementarse la carga, la velocidad disminuye, la fuerza centrífuga disminuye también, y las pesas se juntan abriendo la válvula. Si la carga disminuye, la velocidad aumenta, la fuerza centrífuga aumenta y las pesas se separan, con lo que se cierra la válvula de admisión para evitar que la turbina trabaje a velocidades peligrosas.

Se utiliza en pequeñas turbinas, debido a que presenta fuerzas desbalanceadoras que retardan un poco su función de cierre o apertura, teniendo por lo tanto un rango de velocidad no controlada en un tiempo determinado de su operación [5][6].

### 1.8.2 RELEVADOR DE ACEITE.

Este regulador se compone básicamente de: Pistón, Válvula Piloto y Contrapesos [5], y gobierna la válvula de admisión de vapor. La válvula de admisión se conecta directamente al pistón, el cuál se acciona por la presión del aceite y un resorte [5][6].

El relevador posee dos puertos, uno de entrada de aceite y el segundo de salida a un carter, el flujo del aceite a través del relevador se controla con la válvula piloto, la que se posiciona con los contrapesos.

En un caso de sobrecarga, los contrapesos se juntan y la válvula piloto abre el puerto de entrada de aceite al pistón, cerrándose la salida al carter, la presión del aceite es lo bastante grande para vencer la fuerza del resorte, por lo que la válvula de admisión se abre [2][5][6].

Para un caso contrario, de disminución de carga, la velocidad aumenta, separándose los contrapesos, la válvula piloto abre ahora el puerto de salida y cierra el puerto de entrada de aceite, con ésta acción la fuerza del resorte vence la presión que ejerce el aceite, logrando cerrar la válvula de admisión; en la figura 1.8 se presenta un esquema del relevador de aceite.

Tiene la ventaja de mantener un control de velocidad bastante preciso, venciendo la fricción de los mecanismos y las fuerzas desbalanceadoras, además de que no produce fluctuaciones. Ya que son los contrapesos los que mueven a la válvula piloto, para ajustar la velocidad, la influencia de la temperatura sobre la viscosidad del aceite no modifica el control de la velocidad [5][6].

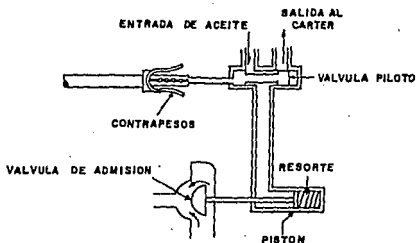


Figura 1.8. Relevador de Aceite.

### 1.9 PROTECCION CONTRA SOBREVELOCIDAD.

Este dispositivo se diseña como una segunda e independiente protección para la turbina, actúa cuando la máquina trabaja a velocidades superiores de las que permitirían los dos reguladores que ya mencioné, actúa generalmente a una velocidad del 10% sobre la velocidad normal [2].

Esta segunda protección es importante por lo siguiente: los álabes móviles de las turbinas en la etapa de baja presión tienen un diámetro considerable y se someten a grandes esfuerzos centrífugos. Si la velocidad a la que trabaja la turbina sobrepasa su velocidad de régimen, las tensiones sobre éstos álabes rebasan los límites de diseño produciéndose la fractura del álabe y la consecuente destrucción del rotor, y de la turbina en general.

El sistema de protección se compone por un perno montado en la flecha de la turbina y cargado mediante un resorte. Al presentarse la sobrevelocidad, el ajuste del perno es excedido, venciendo entonces la fuerza del resorte, con lo que el perno se dispara al exterior, accionando un sistema de palancas, que controlan el cierre de la válvula de corte, bloqueando el flujo del vapor hacia la turbina [2][5][6].



Se utiliza éste sistema mecánico para turbinas de baja capacidad, en las cuáles las fuerzas son pequeñas y las distancias requeridas para los mecanismos son cortas. Se vuelve inoperante cuando las fuerzas de fricción y de inercia son considerables [2][5][6].

Para turbinas de mediana y alta capacidad se utiliza un sistema mecánico-hidráulico. La primera etapa de éste sistema, es la misma que la utilizada por el sistema mecánico de las turbinas de baja capacidad, la diferencia consiste que cuando el perno se proyecta, acciona una válvula hidráulica de disparo, la que drena el aceite y cierra la válvula de corte [5][6].

Si el sistema se acciona el resorte mantiene la válvula hidráulica de disparo abierta, hasta que otra válvula de restablecimiento sea operada, obligando al pistón de la válvula hidráulica a cerrar, con lo que se crea nuevamente presión en el sistema, permitiendo la abertura de la válvula de corte e iniciando una vez más la operación de la turbina [5][6].

#### 1.10 LUBRICACION.

Los rotores de las turbinas de gran y mediana potencia descansan sobre chumaceras radiales, el diámetro interior de la chumacera es ligeramente superior al del eje. Antes del arranque cuando la turbina está parada, las superficies tanto del eje como de la chumacera están en contacto, y a éste último se le alimenta de aceite que circula a lo largo del eje [4].

Durante las primeras vueltas, el eje rueda sobre la chumacera y en su movimiento arrastra al aceite, forzándolo a pasar por huelgos cada vez más pequeños, lo que hace aumentar la presión. Al aumentar la velocidad del eje, la presión del aceite llega a ser suficiente, para levantar al eje y suprimir el contacto con la chumacera, en ese momento la lubricación se hace perfecta [4].

De no existir una buena lubricación, las chumaceras se destruyen en sólo unos segundos, por las altas velocidades a las que operan las turbinas. Para una eficiente lubricación se deben cuidar las condiciones de presión y temperatura a las que trabaja el aceite [5].

El aceite desempeña varias funciones; como la de lubricación de chumaceras, medio de enfriamiento de las mismas, y medio de accionamiento del gobernador de velocidad tipo relevador de aceite [5].

Existen diversos factores que afectan el aceite de lubricación, como: el CALOR que le reduce su viscosidad; el AIRE le produce oxidación y formación de espuma, que a su vez causa corrosión en las partes de la turbina y el AGUA forma en el aceite una emulsión que resta sus propiedades lubricantes y causa corrosión [5].

### 1.11 VALVULA DE ADMISION.

Sirve para regular la cantidad de vapor que entra en la turbina tomando en cuenta la potencia que necesita la máquina para trabajar en forma eficiente; cuando disminuye la carga se requiere menos vapor para mantener su velocidad de trabajo, por lo que la válvula de admisión cierra por efecto del regulador de velocidad; pero en un caso de sobrecarga de la máquina, se necesita una mayor entrada de vapor, por lo que la válvula se abre [5].

El número de válvulas generalmente varía entre cuatro y seis, pudiendo estar montadas sobre el cuerpo de la turbina. Las válvulas con asiento simple tienen el asiento de forma cónica y se diseña para que los caudales de vapor sean proporcionales al desplazamiento de su accionador. Cada válvula está provista de un vástago que se acciona por el regulador de velocidad [4].

El vapor que sale de cada válvula se conduce a la cámara de vapor, también llamada caja de toberas; es la caja anular que alimenta a los primeros álabes fijos. Esta puede ser una cámara única o estar dividida en varias cámaras distintas sin que exista comunicación de vapor entre dos válvulas de admisión [4].

### 1.12 VALVULA DE CORTE.

Esta válvula tiene como función impedir el flujo del vapor hacia la turbina en forma total cuando se presentan condiciones anormales, su principio de funcionamiento es entonces de "TODO o NADA" [4][5].

Son válvulas de simple asiento, accionadas por una servoválvula hidráulica de simple o doble efecto. El cuerpo de la válvula es una pieza de acero moldeado, que consta de una tubería de entrada, y de una o dos tuberías de salida. En el interior del cuerpo puede ir montado un filtro cilíndrico en la trayectoria del vapor [4].

La servoválvula de las válvulas de corte depende de los mecanismos de disparo de la turbina, estos dispositivos son los que supervisan el normal funcionamiento de la máquina, y se accionan cuando existe: presión baja del aceite de lubricación; temperatura alta del aceite en chumaceras; vibración alta del rotor, sobrevelocidad del mismo; etc. Con cualquiera de éstos mecanismos de protección que se dispare, la válvula de corte cierra totalmente; para abrirla de nuevo, es necesario rearmar el mecanismo de disparo que se activó [4][7].

## CAPITULO II

### DISEÑO DE ALABES PARA TURBINAS DE VAPOR.

#### 2.1 GENERALIDADES.

Todo diseño de cualquier álabe: estudio de esfuerzos, material, perfil, ángulos de entrada y de salida, dimensiones, etc., se determina de acuerdo con la función que va a desempeñar. La transformación de energía cinética a trabajo mecánico comienza en los álabes de las etapas de alta presión; para su fabricación se requieren aceros con alta resistencia térmica porque trabajan con vapor sobrecalentado y alta resistencia mecánica, porque las propiedades mecánicas del material disminuyen por las altas temperaturas del medio ambiente [9]; por su poca altura generan bajos esfuerzos centrífugos.

Conforme el vapor avanza a través de las etapas en las secciones de la turbina (alta, media y baja presión), se expande y aumenta su volumen específico por las caídas de presión y temperatura que sufre en ellas; por ésta razón, para aprovechar la energía que les transmite el vapor, los últimos álabes de la turbina de baja presión son cada vez más largos y se fabrican con aceros que tienen suficiente resistencia mecánica para soportar los grandes esfuerzos centrífugos [9] y baja resistencia térmica, porque el medio ambiente en el que trabajan no es tan severo, como en las primeras etapas de la turbina de alta presión. Trabajan con vapor saturado, en el que existen diminutas gotas de agua, por la condensación, que causan la erosión del material.

Durante el período de vida útil, que se predice ser igual o mayor a 30 años, los componentes operan en ciertos lugares a alta temperatura, superior a los 538 °C (1000 °F) y los afectan simultáneamente cargas estáticas, térmicas, dinámicas, etc. [9].

Para la fabricación de álabes se emplean aceros inoxidable con base de cromo porque son resistentes a la corrosión, oxidación, erosión, altas temperaturas, vibración, esfuerzos centrífugos, etc. [9].

Las turbinas pueden tener instalado un rotor de doble flujo en la sección de baja presión, para éste tipo de rotores se fabrican álabes "DERECHOS E IZQUIERDOS", de todas las etapas.

## 2.2 ALABES MOVILES Y FIJOS.

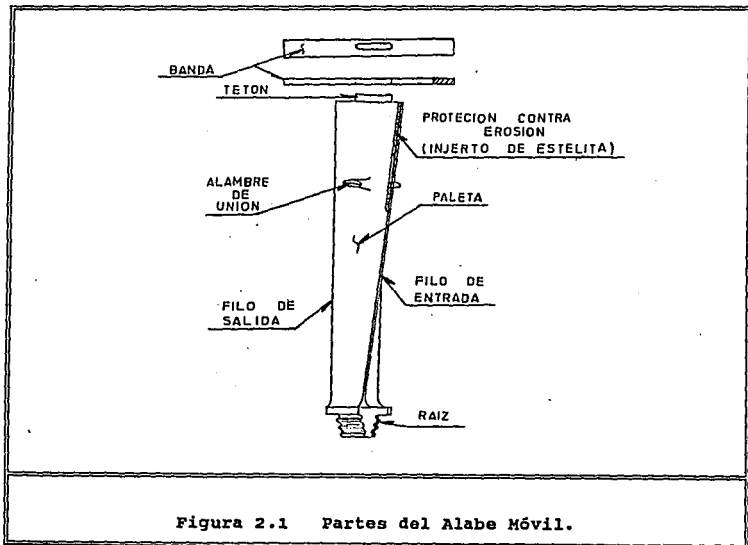
Los álabes de las turbinas se clasifican en: Alabes Móviles y Alabes Fijos [4].

Los ALABES MOVILES se colocan sobre los discos del rotor [4] y giran al paso del vapor cuando choca contra ellos, produciendo el trabajo mecánico que se transmite a la flecha. Existen dos clases de álabes móviles: ALABES LIBRES y ALABES AMARRADOS [10]; hablaré de ellos más adelante.

Los ALABES FIJOS, también se llaman ALABES ESTACIONARIOS O TOBERAS; se colocan sobre la carcasa [4], y orientan el vapor que sale de la rueda de álabes móviles que les antecede, dirigiéndolo hacia la siguiente rueda de álabes móviles; en ellos ocurre la estrangulación del vapor, es decir, caída de la presión con aumento de la velocidad.

## 2.3 PARTES DEL ALABE MOVIL.

Los álabes se componen de: Raíz, Paleta, Protección contra erosión, Alambres de Unión, Tetones y Bandas, como se ilustra en la figura 2.1.



### 2.3.1 RAIZ.

Se utiliza para colocar en posición el álabe sobre el disco, y se asegura por medio mecánico con un pequeño perno. La configuración de la raíz se determina por las condiciones de resistencia de la paleta y por la facilidad del montaje y cambio de álabes durante las reparaciones [11].

Las formas de las raíces que se utilizan son [4][11][12]: Simple " T "; Doble " T "; " T " con collarines; Hongo; Hongo con tres apoyos; Diente; Pino de colocación axial; Pino de colocación circular; Dedo ó Tenedor; Bola y Asta; y Cola de Milano.

Las anteriores formas de raíces se muestran en la figura 2.2. En los primeros escalones con paletas pequeñas, se emplean raíces de los tipos " T ", " T " con collarines y Hongo. Para paletas de mayor longitud se utilizan raíces de los tipos Dedo y Diente. Las raíces de Pino de entrada circular se emplean en paletas cuyo perfil es torcido hasta su extremo, tanto más larga es la paleta, mayor número de puntas tiene la raíz [11].

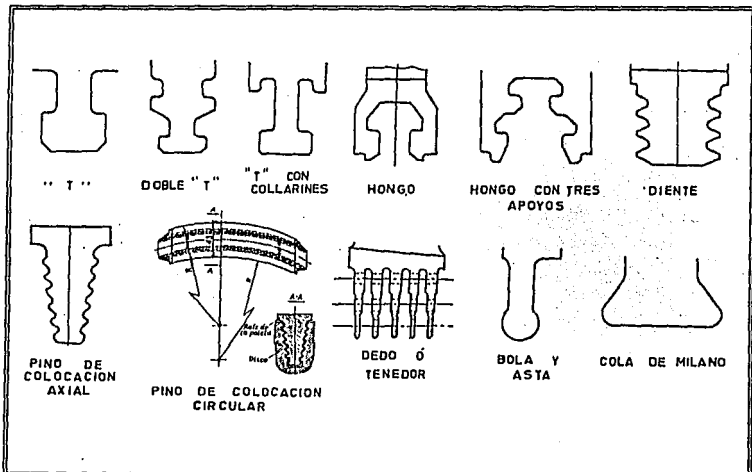


Figura 2.2 Formas de las raíces para álabes móviles.

### 2.3.2 PALETA.

La forma de las paletas depende de la etapa en la que operan los álabes; en las primeras etapas de la turbina de baja presión, tienen poca longitud y son curvadas con perfil constante; en las últimas etapas son largas, curvadas y torcidas con perfil variable, para lograr el mayor aprovechamiento de energía, porque el vapor se expande y su velocidad varía a través de todas las etapas.

### 2.3.3 PROTECCION CONTRA EROSION.

Los diferentes métodos de protección contra los efectos destructivos de la erosión que se aplican a álabes, los describo y desarrollo ampliamente en el Capítulo III.

### 2.3.4 ALAMBRE DE UNION, TETON Y BANDAS.

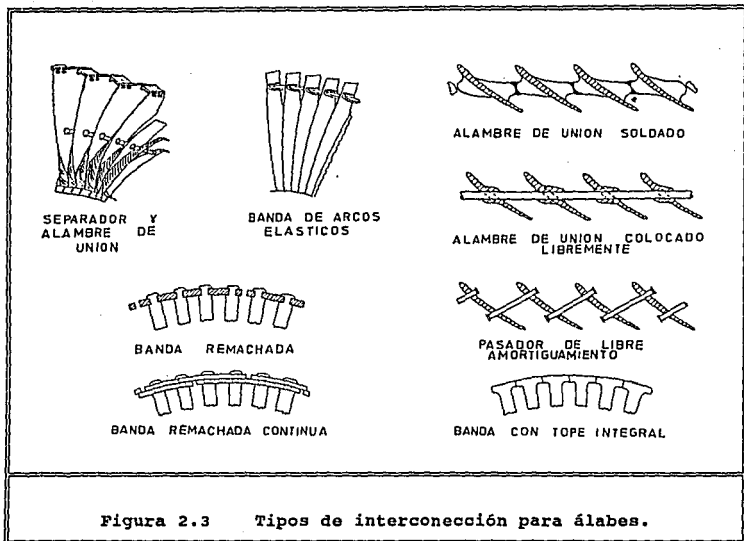
Con la acción conjunta de éstos tres elementos se proporciona mayor rigidez a los álabes y se evitan vibraciones críticas. Sirven para clasificar a los álabes móviles que se ensamblan en los rotores en [10]: ALABES LIBRES y ALABES AMARRADOS.

Los ALABES LIBRES se aseguran a la rueda sólo con la raíz y no tienen conexión con los álabes adyacentes [10]; son álabes de la última etapa de la turbina de baja presión, álabes L-0, que tienen una longitud hasta de 1500 mm.

Los ALABES AMARRADOS se conectan uno con otro para formar grupos utilizando BANDAS y ALAMBRES DE UNION; las bandas se remachan a cada álabe en el extremo superior del cuerpo de la paleta, con ayuda del TETON [10]; ésta técnica se aplica a los álabes de todas las etapas en la Turbina de Alta Presión y en las de Media Presión. En la Turbina de Baja Presión se aplica a los álabes desde las primeras etapas hasta las etapas L-1 ó L-2; los álabes de la última etapa L-0 que son los más largos, se fijan entre sí soldándoles los alambres de unión.

Los alambres de unión tienen forma cilíndrica, elipsoidal, etc. y pasan a través del álabe por medio de barrenos que se maquinan en las zonas intermedias de su paleta [10]. En la figura 2.3 se ilustran diferentes tipos de interconexión de álabes.

Los álabes que trabajo en ésta tesis son ALABES MOVILES, del último paso ó ETAPA L-0 de las turbinas de vapor DE BAJA PRESION, se utilizan en una unidad de 300 MW, MITSUBISHI; sus raíces son del tipo PINO DE COLOCACION CIRCULAR; las paletas son LARGAS, CURVADAS Y TORCIDAS; la protección contra erosión es un INJERTO DE BARRA ESTELITA TIPO CAPA QUE TIENE LA FORMA DE LETRA "J" que protege una parte del filo de entrada del álabe en el lado convexo; se cambiará por un INJERTO DE BARRA ESTELITA TIPO NARIZ SOLIDA, que protege todo el filo de entrada del álabe. Son ALABES AMARRADOS por medio de DOS ALAMBRES DE UNION y no tienen TETONES en sus extremos, por lo que tampoco utilizan BANDAS.



#### 2.4 TRIANGULO DE VELOCIDADES.

Las etapas de álabes fijos de las turbinas, se diseñan para expandir el vapor y descargarlo en la siguiente etapa de álabes móviles. Los requerimientos geométricos de los álabes fijos y móviles se establecen en términos de la velocidad del vapor que entra y sale de ellos [13].

El triángulo de velocidades es un modo de representar las velocidades de entrada y salida del vapor en una etapa de la turbina [13]. En la figura 2.4 se muestra el triángulo de velocidades para un álabes móvil.

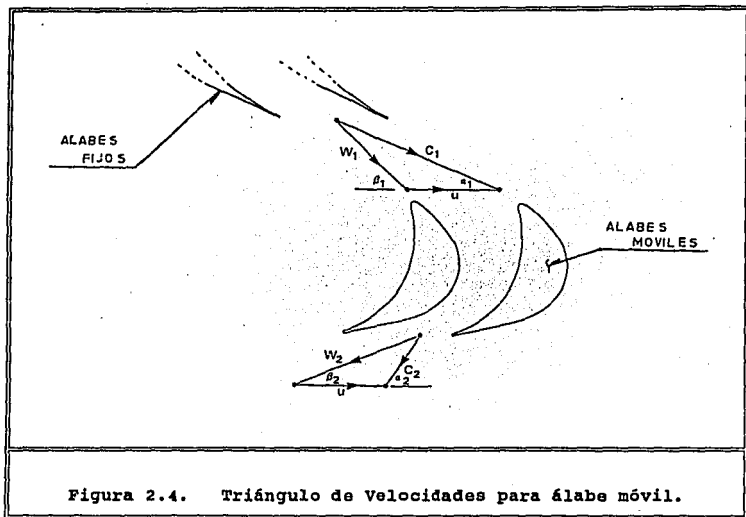


Figura 2.4. Triángulo de Velocidades para álabe móvil.

El álabe fijo anterior descarga el flujo de vapor sobre el álabe móvil con una velocidad absoluta de  $C_1$  y con un ángulo de descarga  $\alpha_1$  [3]. El valor de  $C_1$  corresponde a la velocidad equivalente de toda la energía que se expande en la etapa, considerando también las pérdidas que ocurren en ella [13].

El álabe móvil gira con una velocidad " $u$ " [3]; el vapor entra en él con una velocidad relativa  $W_1$  y con un ángulo  $\beta_1$ ; que es el ángulo que requiere el perfil del álabe, para que el vapor entre con el mínimo de choques. El vapor fluye por el álabe y se descarga a una velocidad relativa de salida  $W_2$ , con un ángulo  $\beta_2$  [13].

El valor de  $W_2$  esta influenciado por dos factores que se consideran para el diseño de todo el perfil [13]:

- Por pérdidas aerodinámicas y por fricción, que causan que su valor sea más pequeño que la velocidad relativa de entrada  $W_1$  [13].



NOTA: Las pérdidas por fricción se originan por mal acabado superficial del álabe; por daños mecánicos en la paleta (por erosión, deformaciones, grietas, etc.) y por depósitos químicos en el perfil que se producen por corrosión. Las pérdidas aerodinámicas se originan en general por disturbios del flujo; como flujo turbulento, etc.

- Por caídas de presión ó expansión del vapor durante su recorrido a través de los álabes móviles, con lo que su valor se incrementa más que el de  $W_1$  [13].

El álabe tiene una velocidad lineal equivalente de "u" [13]. La resultante de  $W_2$  y "u" es la velocidad absoluta de salida  $C_2$  que se descarga con un ángulo absoluto de  $\alpha_2$  [3]. Los dos parámetros  $W_2$  y  $\alpha_2$  determinan los requerimientos de la siguiente etapa de álabes fijos que debe aceptar éste vapor [13].

Si el álabe fuera teóricamente perfecto, la velocidad absoluta de salida  $C_2$  sería cero, y se absorbería toda la energía cinética del vapor. Esto es prácticamente imposible en una turbina real, porque siempre existen pérdidas que se originan por la velocidad  $C_2$ . Se escoge el ángulo de descarga  $\alpha_2$  y la velocidad relativa de salida  $W_2$  de forma que el valor de  $C_2$  sea mínimo [3].

## 2.5 PERFIL DEL ALABE.

Históricamente, los álabes de turbina han evolucionado de las gruesas placas que eran dobladas para proporcionarles un perfil, a los actuales perfiles aerodinámicos cuya forma se diseña para optimizar la energía y maximizar la eficiencia [13]. En la figura 2.5 se muestran los perfiles aerodinámicos de acción (impulso) y reacción.

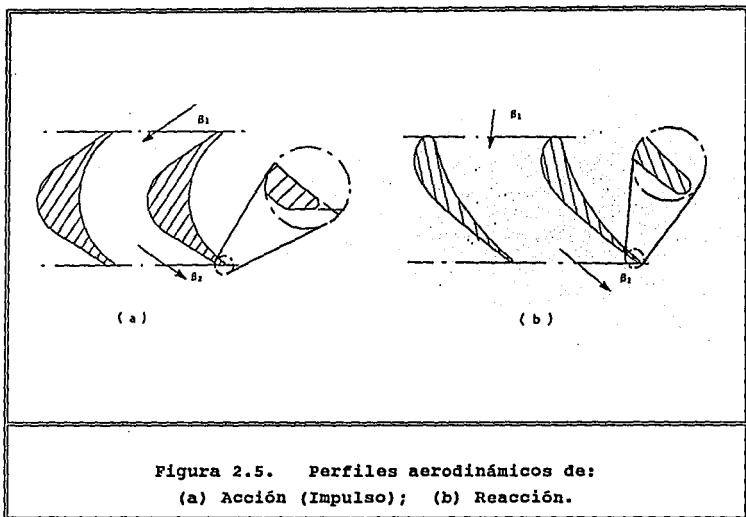


Figura 2.5. Perfiles aerodinámicos de:

(a) Acción (Impulso); (b) Reacción.

En la figura 2.6 se indica la nomenclatura del perfil del álabes. La cara de presión es el lado cóncavo, donde el vapor ejerce una presión positiva y se desvía en un ángulo  $\theta$ . La cara de succión es el lado convexo del perfil; los ángulos medios de entrada y salida del vapor en la dirección de rotación son  $\beta_1$  y  $\beta_2$  respectivamente [13].

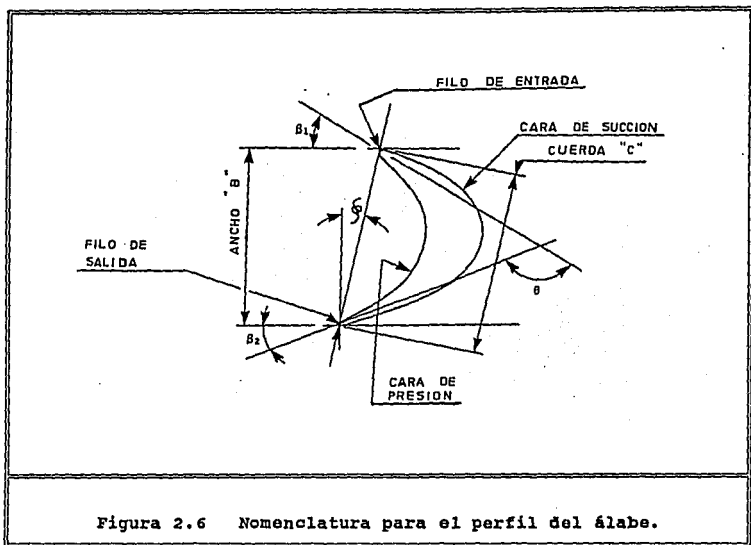


Figura 2.6 Nomenclatura para el perfil del álabe.

El ángulo  $\theta$  se calcula de la siguiente forma [13]:

$$\theta = 180 - (\beta_1 + \beta_2)$$

El perfil tiene un ángulo de montaje  $\phi$ , la cuerda  $C$  y el ancho  $B$ , que se relacionan del modo siguiente [13]:

$$B = C \cos \phi$$

Los requerimientos generales del perfil son [13]:

- Debe formar la cara de presión de un pasaje de vapor y la cara de succión del pasaje adjunto, con el ángulo de entrada que se requiera.
- Debe desviar el vapor en un ángulo  $\theta$ , para que lo empuje sobre su cara de presión, y transmitir ésta fuerza al rotor.

- El filo de entrada del perfil se diseña en un rango pequeño de ángulos de entrada, para que el vapor entre con el mínimo de pérdidas. Debe guiar el flujo en los dos pasajes que lo forman, sin formar demasiado flujo turbulento.
- El ángulo de salida, debe dejar salir al vapor del pasaje con un mínimo de separación de flujo de la capa límite y sin causar excesiva turbulencia en la parte inferior del perfil.
- Los radios de curvatura de las caras del perfil no deben cambiar bruscamente porque se generan pérdidas, sobre la cara de succión por la reducción de su radio de curvatura; y sobre la cara de presión por incremento de él.

## 2.6 FUENTES DE VIBRACION.

Toda las turbinas generan vibraciones que son continuas y complejas y el fenómeno de VIBRACION es el que provoca los mayores daños a los álabes [12].

La vibración de los álabes depende: de la complejidad de su geometría; de su rigidez; de las propiedades de los materiales sometidos a esfuerzos estáticos, dinámicos y térmicos; de las fuentes que causan la vibración; etc.

Las fuentes que provocan vibración a los álabes son [12]:

### 2.6.1 VIBRACION POR FLUJO NO UNIFORME.

Se origina por admisión parcial de vapor en las turbinas de alta presión; por la entrada radial del vapor en los álabes móviles y fijos que produce presiones y velocidades no uniformes; por los pasajes de extracción de vapor que causan disturbios del flujo; y por las partes de la turbina con formas elípticas (originadas por imperfecciones de fabricación) como diafragmas, que causan distancias no uniformes entre los álabes fijos [12].

### 2.6.2 VIBRACION POR INTERACCIONES DEL ROTOR Y ESTATOR.

Se deben a cambios en los impulsos del vapor que sale de las toberas; los impulsos disminuyen cuando un álabe móvil pasa en frente de un álabe fijo, y son máximos cuando el álabe móvil se encuentra en medio de dos [12].

Las ondas de choque se originan en los álabes fijos, cuando el flujo de vapor alcanza velocidades supersónicas o está estrangulado y subexpansionado, porque se forman ondas de expansión y compresión en la salida. El flujo fuera de la tobera obtiene una dirección cambiada (flujo doblado), que perturba el flujo a través de los álabes móviles [12].

En las últimas etapas de la turbina de baja presión, el vapor está debajo de su presión de saturación, y contiene humedad condensada; las gotas chocan a alta velocidad con los álabes móviles y producen la erosión de sus filos de entrada; los impactos se convierten en fuentes de vibración. Para disminuir la erosión y la fuente de vibración se necesita mayor separación axial entre rotor y estator; densidad alta y menos humedad en el vapor; y álabes largos para las últimas etapas [12].

### 2.6.3 FENOMENOS DE AUTOEXCITACION.

Los fenómenos "STALL FLUTTER" y "ROTATING STALL", son fenómenos aerodinámicos del flujo de vapor [12].

El fenómeno "STALL FLUTTER", ocurre en las últimas etapas de las turbinas de baja presión en condiciones de baja carga; los álabes sufren un ángulo negativo de entrada en la parte superior de la paleta, que actúa como un compresor; existen flujos de vapor recirculante que mueven al álabe de atrás hacia adelante [12].

El fenómeno "ROTATING STALL" se produce por desprendimiento de la capa límite en el filo de entrada de los álabes móviles, y crea una celda rotatoria que obstruye el canal de flujo en una etapa del rotor. La celda abarca una parte de la altura de los álabes y crece radialmente hasta cubrir toda su longitud; provoca un cambio en los ángulos de entrada de los álabes adyacentes al que contiene la celda, los aumenta en dirección contraria al giro del rotor y los disminuye en dirección opuesta [14], como se ilustra en la figura 2.7.

La consecuencia de lo anterior, es que el flujo se vuelve inestable en dirección al movimiento del rotor; la velocidad de las celdas rotatorias es menor que la del rotor, aunque sigue la misma dirección de giro [14].

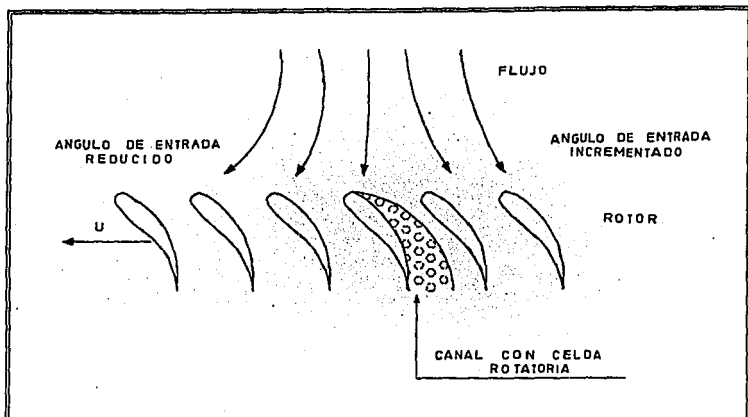


Figura 2.7. Propagación de las celdas rotatorias.

#### 2.6.4 VIBRACION POR EL ROTOR.

La vibración del rotor se origina por fallas eléctricas en el sistema de distribución y/o por desbalanceamiento; que a su vez, le transmiten vibración al álabe. Esta vibración se evita ajustando las frecuencias naturales del rotor lejos de la frecuencia de giro de la turbina ó en su caso balanceándolo [12].

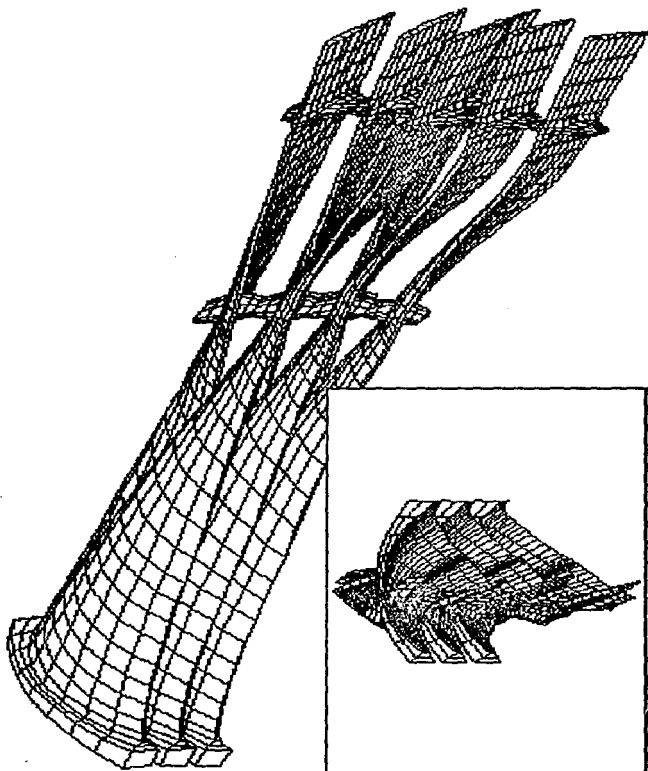
#### 2.7 VIBRACION ARMONICA.

Las FRECUENCIA NATURALES son las frecuencias a las que el álabe vibra en forma natural, son una característica propia de cada uno y dependen de su rigidez; de los esfuerzos estáticos, dinámicos y térmicos. Cuando la FRECUENCIA DE EXCITACION es igual a la Frecuencia Natural de un modo de vibración del álabe, de un grupo de álabes ó de un disco con álabes ya ensamblados, se produce una condición de RESONANCIA; es importante porque crecen los esfuerzos en los álabes por el nivel de vibración que alcanzan; las condiciones de Resonancia indican las velocidades críticas de funcionamiento de la Turbina [12].

Con la **SINTONIZACION** se cambia la Frecuencia Natural de los álabes para evitar la Resonancia, consiste en amarrar los álabes en grupos, dándoles mayor rigidez; Se crea una nueva Frecuencia Natural propia del grupo, diferente de la frecuencia natural de los álabes individuales [12]; los amarres son bandas alambres de unión descritos en párrafos anteriores.

La Frecuencia de Excitación es la frecuencia de giro de la turbina ó uno de sus múltiplos (armónico). Si la turbina trabaja a 3600 rpm, la Frecuencia de Excitación es 60 Hz (Frecuencia Fundamental); 120, 180 y 240 Hz son respectivamente el 1<sup>er</sup>, 2<sup>do</sup> y 3<sup>er</sup> armónico de la Frecuencia Fundamental.

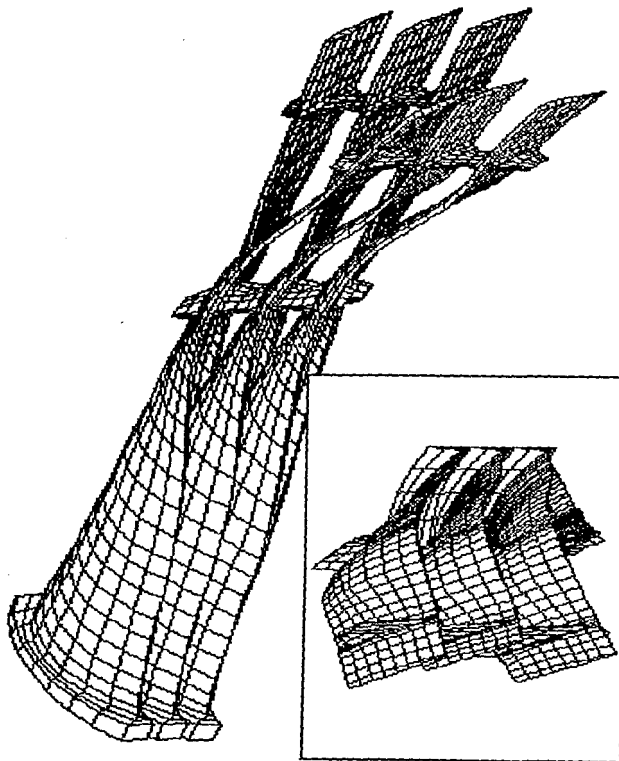
Las frecuencias naturales se determinan en forma experimental, y existen tantas frecuencias como grados de libertad tenga el álabe, teóricamente el número es infinito. En los álabes, las frecuencias naturales que se excitan bajo condiciones normales de trabajo son las primeras cuatro o cinco; en la figura 2.8 se presentan los cuatro primeros modos de vibrar de un grupo de tres álabes móviles L-0.



Frecuencia de Excitación = 0 Hz.  
Frecuencia Natural Estática = 110.92 Hz.

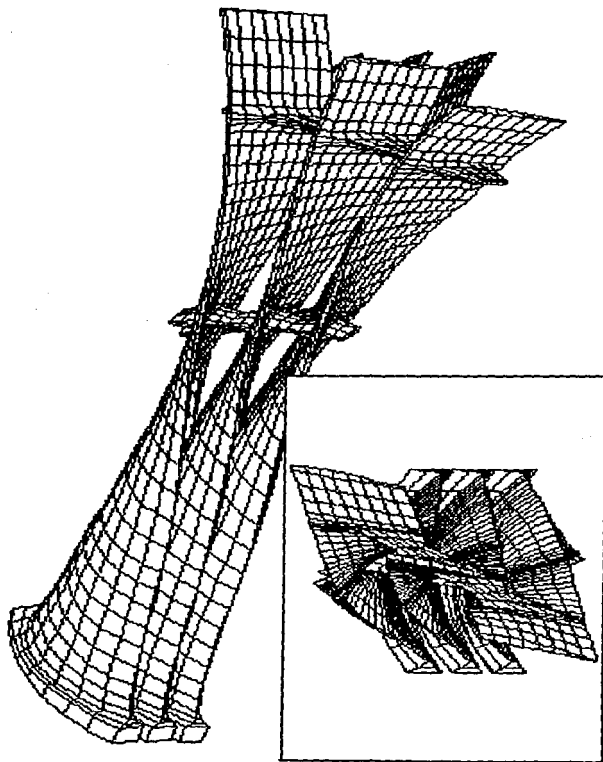
Figura 2.8. Primer Modo de vibrar de un grupo de tres álabes móviles L-0, de turbina de vapor de 300 MW.





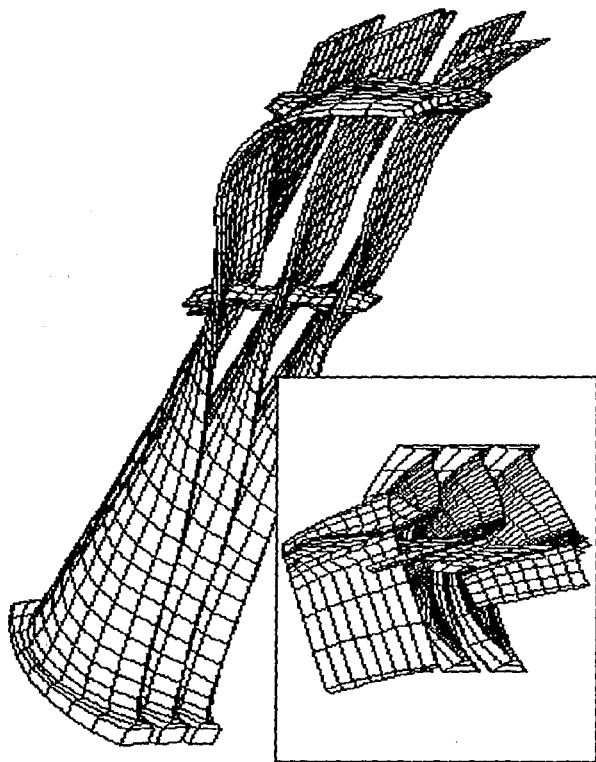
Frecuencia de Excitación = 0 Hz.  
Frecuencia Natural Estática = 157.80 Hz.

Figura 2.8. (Continuación) Segundo Modo de vibrar de un grupo de tres álabes móviles L-0, de turbina de vapor de 300 MW.



Frecuencia de Excitación = 0 Hz.  
Frecuencia Natural Estática = 248.90 Hz.

Figura 2.8. (Continuación) Tercer Modo de vibrar de un grupo de tres álabes móviles L-0, de turbina de vapor de 300 MW.



Frecuencia de Excitación = 0 Hz.  
Frecuencia Natural Estática = 431.70 Hz.

Figura 2.8. (Continuación) Cuarto Modo de vibrar de un grupo de tres álabes móviles L-0, de turbina de vapor de 300 MW.

## 2.8 MATERIALES PARA FABRICACION DE ALABES.

Los materiales operan en condiciones de altas cargas, vibraciones y temperaturas durante varios años de su servicio, arriba de las 200,000 horas; por eso deben tener un límite alto de tensión y fatiga a elevadas temperaturas [9].

El material que se utiliza para la fabricación de álabes de baja presión tiene resistencia contra corrosión, oxidación y erosión, porque trabajan en un ambiente con flujo rápido de vapor saturado; resistencia mecánica para soportar esfuerzos de tensión que se producen por fuerzas centrífugas; y conductividad térmica para unificar la temperatura a través de todo el álabe [9].

En la turbina de alta presión los álabes tienen poco diámetro en la raíz y desarrollan pequeñas fuerzas centrífugas, pero las propiedades mecánicas del material disminuyen por las temperaturas de su ambiente de trabajo, alrededor de 538 °C (1000 °F); para su fabricación se necesitan materiales con mucha resistencia mecánica y térmica [9].

En un principio se utilizaron aleaciones de cobre, como el bronce (72 Cu, 28 Zn); aleaciones de níquel-cobre (50 Cu, 10 Ni, 40 Zn), frecuentemente (66 Ni, 31 Cu, 1.3 Fe); cuando la capacidad de las turbinas se incrementó durante la década de 1920, se necesitó mayor resistencia contra esfuerzos y erosión, se utilizó un acero con un 5% de Níquel en su composición química; sin embargo, no tenía adecuada resistencia contra corrosión en la región de baja presión; y a partir de 1930 fue gradualmente sustituido por aceros inoxidable con un contenido de 12% de Cromo [12].

Actualmente se siguen utilizando éstos materiales, con diferentes especificaciones: clase AISI 403, AISI 410, y AISI 422 [12]. El acero AISI 422 se utiliza en regiones de alta temperaturas y los aceros AISI 403 y AISI 410 son apropiados para otras etapas. Al acero AISI 403 se le retiró el níquel de su composición para formar el acero AISI 410, con la finalidad de aumentar sus propiedades al tiempo de soldadura [9][13].

En la tabla 2.1 se muestra la composición química de los aceros inoxidable martensíticos típicos con cromo que se utilizan para la fabricación de álabes. La tabla 2.2, contiene sus propiedades mecánicas [9][13].

**TABLA 2.1 COMPOSICION QUIMICA DE LOS ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS.**

CLASE AISI	403		410		422	
	%	± %	%	± %	%	± %
CARBON	0.15	0.005	0.15	0.005	0.22	0.020
MANGANESO	1.00	0.030	1.00	0.030	0.69	0.030
FOSFORO	0.04	0.005	0.04	0.005	0.02	0.005
AZUFRE	0.03	0.005	0.03	0.005	0.03	0.005
SILICIO	0.50	0.050	1.00	0.050	0.50	0.050
CROMO	11.5-13.0	0.150	11.5-13.0	0.150	11.0-12.5	0.150
MOLIBDENO	-	-	-	-	0.93	0.050
NIQUEL	0.60	0.030	-	-	0.76	0.030
TUGSTENO	-	-	-	-	0.97	0.050
VANADIO	-	-	-	-	0.21	0.050

**TABLA 2.2 PROPIEDADES MECANICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES.**

PROPIEDADES MECANICAS	CLASE DE MATERIAL		
	AISI 403	AISI 410	AISI 422
LIMITE DE TENSION [Mpa]	760	760	970
LIMITE ELASTICO 0.2% [Mpa]	570	575	795
ELONGACION [%]	23	23	13
REDUCCION DE AREA [%]	60	60	25
DUREZA [BHN]	225	225	293-341
IMPACTO MUESCA V [J]	41	41	23

Desde años recientes se utiliza para la manufactura de álabes de turbinas de baja presión que trabajan a 3600 rpm, el acero inoxidable endurecido por precipitación 17-4 PH [12]. En las tablas 2.3 y 2.4, se muestran la composición química y las propiedades mecánicas de él, respectivamente. Para las últimas etapas de álabes es suficiente aplicar el material que tiene un límite a la tensión mínimo de 930 Mpa y revenido a una temperatura de 640 °C [9][13].

**TABLA 2.3 COMPOSICION QUIMICA DEL ACERO ENDURECIDO POR PRECIPITACION (17-4 PH).**

ELEMENTO	CONTENIDO [%]
CARBON	0.07 MAX
MANGANESO	1.00 MAX
POSFORO	0.04 MAX
AZUFRE	0.03 MAX
SILICIO	1.00 MAX
MOLIBDENO	0.50
CROMO	15.00 - 17.50
NIQUEL	3.00 - 5.00
COBRE	3.00 - 5.00
COLUMBIO (MAS TANTALIO)	0.15 - 0.45

**TABLA 2.4 PROPIEDADES MECANICAS DEL ACERO ENDURECIDO POR PRECIPITACION (17-4 PH).**

	482	550	620
TEMPERATURA DE REVENIDO [°C]			
LIMITE DE TENSION [Mpa]	1310	1070	930
LIMITE ELASTICO 0.2% [Mpa]	1170	1000	760
ELONGACION [%]	10	12	16
REDUCCION DE AREA [%]	37	45	50
DUREZA [BHN]	388 - 448	331 - 401	277 - 352
IMPACTO MUESCA V [J]	-	20	41

Para aplicaciones futuras, en las que se requieren soportar mayores fuerzas, se consideran aleaciones de titanio, principalmente Ti-6Al-4V, que se utilizan en forma experimental [12]. Las aleaciones de titanio tienen mayor resistencia a la fatiga en ambiente corrosivo que los aceros inoxidables martensíticos en un 50%; menor peso en un 30%, pero su costo es más elevado [9].

En la tabla 2.5 se muestra la composición química de la aleación de titanio y en la tabla 2.6 se dan sus propiedades mecánicas.

**TABLA 2.5 COMPOSICION QUIMICA DE LA ALEACION DE TITANIO.**

ELEMENTO	CONTENIDO [%]
ALUMINIO	6.200 - 6.600
VANADIO	4.100 - 4.500
OXIGENO	0.120 - 0.200
HIDROGENO	0.002 - 0.006
CARBON	0.020 - 0.040
NITROGENO	0.010 - 0.019
HIERRO	0.100 - 0.008
TITANIO	BALANCE

**TABLA 2.6 PROPIEDADES MECANICAS DE LA ALEACION DE TITANIO.**

PROPIEDADES	BARRAS	FORJAS
LIMITE DE TENSION [MPa]	930 - 1035	000 - 1070
LIMITE ELASTICO 0.2% [MPa]	795 - 970	970 - 1010
ELONGACION [%]	11.3 - 17.5	13.5 - 17.2
REDUCCION DE AREA [%]	25 - 50	46 - 47

Se están realizando estudios para la aplicación práctica de compuestos de fibra reforzada como materiales para álabes, pero aún no se logran resultados satisfactorios para su utilización [12].

## **2.9 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.**

Se realizan para inspeccionar los álabes y evaluar los daños que sufren durante su servicio, para determinar si son recuperables ó se requiere su reemplazo. Las fallas que se detectan con ellas son: discontinuidades en el material (poros, grietas y fisuras); cualquier tipo de desgaste (por erosión, corrosión y oxidación); deformación de las geometrías originales; etc. Al inspeccionar los desgastes de los componentes, se programan los mantenimientos preventivos. No se destruye el álabe para determinar la naturaleza de las fallas que se detectan [15].

Las pruebas no destructivas que se aplican a álabes son [15] [16]:

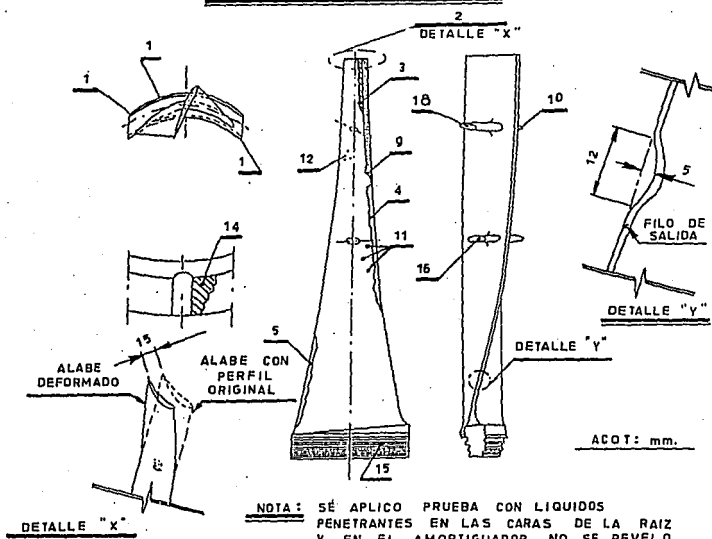
### **2.9.1 INSPECCION VISUAL.**

Los álabes se inspeccionan visualmente para detectar impactos, fisuras, daños mayores como deformaciones, etc. Se revisa que la raíz no presente desgaste por rozamiento; que los filos de entrada y de salida no estén gastados por erosión. Todas las fallas que se encuentran, se especifican en una hoja de registro, auxiliándose de un dibujo en el que se marca la localización de la falla, así como sus características de longitud, profundidad, diámetro, altura, etc. [15]. En la figura 2.9 se presenta hoja de registro, de la inspección visual de un álabe móvil L-0.

Cuando se necesitan inspeccionar los componentes internos de la turbina y no se encuentra desmantelada, se utiliza un instrumento óptico llamado BOROSCOPIO. Este instrumento es de precisión y puede ser flexible ó rígido en varios diámetros y longitudes; contiene una guía de luz de fibra de vidrio para iluminar el objeto, y por medio de lentes transmite la imagen hacia el observador; se equipa con una cámara de T.V. ó con una cámara fotográfica [16].



ALABE L-0 CTE TULA HIDALGO



**NOTA:** SE APLICA PRUEBA CON LIQUIDOS PENETRANTES EN LAS CARAS DE LA RAIZ Y EN EL AMORTIGUADOR. NO SE REVELO NINGUNA FALLA. ALABE NO REPARABLE.

NUMERO BASE:		NUMERO LATERAL:	
/	1. Golpes ligeros.	/	10. Amortiguador.
/	2. Extremo golpeado.	/	11. Incrustación metálica.
/	3. Rozamiento.	/	12. Poros en el álabe.
/	4. Erosión.	/	13. Deformación filo entrada
/	5. Erosión al inicio de la paleta.	/	14. Deformación en el material del barreno.
	6. Estelita golpeada.	/	15. Raíz defectuosa.
	7. Estelita fracturada.	/	16. Falta material alambre.
	8. Falta de estelita	/	17. Fisura en el álabe.
/	9. Falta soldadura de plata.	/	18. Corte con segueta.

Figura 2.9. Hoja de Registro para la Inspección Visual de álabe móvil L-0, 300 MW.

### **2.9.2 PRUEBA DE LIQUIDOS PENETRANTES.**

Para realizar la prueba se requiere que la superficie a revisar se encuentre libre de polvo, grasa, partículas extrañas, etc., que puedan influir en los resultados que se obtienen.

Para la limpieza se utiliza un solvente como acetona ó alcohol desnaturalizado; un cepillo de alambre de acero inoxidable y un limpiador industrial. Una vez limpia la pieza se rocía o se sumerge en el líquido, que penetra en toda irregularidad que tenga su superficie. Posteriormente, la pieza se lava con agua tibia para retirar el exceso de líquido, se deja secar y se aplica una fina capa de un revelador, que extrae la tinta de las grietas absorbiéndola y señala el lugar donde se encuentran las fallas [15][16].

### **2.9.3 PRUEBA CON PARTICULAS MAGNETICAS.**

Para efectuar ésta prueba también se limpia la pieza a examinar; una vez limpia, se magnetiza colocándola en un campo magnético ó pasando una corriente eléctrica a través de ella. Se le aplican partículas magnéticas muy finas, en forma de polvo seco ó se rocían en forma de "spray". Todo tipo de discontinuidad, imperfección ó grieta en la superficie causa una "fuga" del campo magnético, que origina una acumulación de partículas junto a la falla. Para continuar la inspección, las partes no dañadas se limpian y desmagnetizan [16].

Se deben cumplir las siguientes condiciones para que se produzca una indicación visible de la falla [16]:

- El campo magnético tiene que ser fuerte.
- Las partículas magnéticas se tienen que acumular en suficiente cantidad.
- Las fallas tienen que ser largas.

### **2.9.4 PRUEBA ULTRASONICA.**

Se introduce a la pieza un sonido a alta frecuencia y se observa el comportamiento del sonido que se transmite ó que se refleja; las fallas se identifican por pérdidas de la transmisión. Se aplica para detectar grietas en los alambres de unión y en los tetones; para álabes de turbinas de gas con sistema de enfriamiento, se utiliza para detectar fisuras en los ductos y estimar el espesor entre la pared exterior y los ductos de enfriamiento [15][16].

### 2.9.5 PRUEBA POR CORRIENTE "EDDY".

Se aplica para materiales magnéticos y antimagnéticos; se utiliza para inspección de tuberías de condensadores y generadores nucleares de vapor, y muy poco como prueba de inspección para álabes de turbinas.

Se realiza por medio de una sonda que se coloca sobre ó cerca de la superficie del álabe; se genera un campo magnético que produce corrientes eléctricas circulantes, que se alteran por las discontinuidades en el material. Las fallas producen un desbalance de voltaje que origina una modificación de la señal que se produce [15] [16].

### 2.9.6 REPLICA.

Esta técnica se desarrolla para obtener replicas idénticas en celulosa de las superficies de los álabes u otros equipos, sin la necesidad de desmontar la pieza; las replicas revelan exactamente los detalles de su microestructura de la pieza. Se utiliza un microscopio electrónico de transmisión para examinar la microestructura sobre la replica, con el objeto de evaluar los cambios originados por termofluencia [15][16].

## CAPITULO III

### METODOS DE PROTECCION CONTRA EROSION Y CORROSION PARA ALABES.

#### 3.1 FENOMENOS DE EROSION Y CORROSION.

A los componentes de las turbinas los afectan fenómenos químicos y físicos, como corrosión, oxidación y erosión, que disminuyen su vida útil [17].

El fenómeno de **CORROSION** se define como el deterioro que sufren los materiales cuando reaccionan con su medio ambiente, cabe hacer notar que se torna más agresiva al aumentar la temperatura. Cuando se involucran reacciones con gases a altas temperaturas ocurre la corrosión seca; en la corrosión húmeda es un líquido donde se desarrolla el proceso [17].

El efecto corrosivo puede ser uniforme y extenderse sobre toda la superficie del material ó localizarse en pequeñas áreas (fisuras, poros, etc.). Los elementos químicos **AZUFRE, SODIO y VANADIO**, son los causantes de la corrosión en álabes de turbinas. Otra forma de corrosión es la **OXIDACION**, en la que se reacciona con oxígeno a alta temperatura [17].

La American Society for Testing and Materials (ASTM) define al fenómeno de **EROSION** como: "la pérdida progresiva del material original de una superficie sólida, debido al mecanismo de interacción entre esa superficie y un fluido, un fluido multicomponente ó un líquido con partículas sólidas suspendidas" [17][18].

#### 3.2 FUENTES QUE PRODUCEN EROSION A ALABES.

La erosión en álabes móviles se produce por [17]:

##### 3.2.1 Por impacto de partículas sólidas.

El origen de las partículas es la desfoliación de la pared interna de los tubos de la caldera; es decir, desprendimiento de la superficie interior por efecto de la corrosión; la desfoliación de los tubos se presenta después del paro de la turbina y en el siguiente arranque.

### **3.2.2 Por impacto de líquidos.**

Las gotas de agua dentro de la turbina de baja presión tienen un diámetro que varía desde décimas de milímetro hasta 10 mm, y chocan contra los álabes a una velocidad de 1 Km/s [17].

En los álabes móviles de los últimos pasos de la turbina de baja presión, la erosión ataca los filos de entrada en la parte superior de la paleta y el filo de salida en la base cerca de la raíz, por el flujo recirculante (flujo secundario) durante el arranque de la turbina con los rociadores (enfriadores).

El daño que producen la corrosión y la erosión en los materiales puede ser tan grande que se necesite reemplazar el equipo dañado, así como la utilización de aleaciones más resistentes, pero más costosas para su manufactura. Por lo anterior se protegen los materiales contra tales fenómenos, aplicándoles diversos TRATAMIENTOS Y RECUBRIMIENTOS, para prolongar su vida útil [17].

### **3.3 PROCESOS DE LIMPIEZA PARA ALABES.**

Antes de aplicar los recubrimientos se necesita un proceso de limpieza de los álabes para remover los contaminantes que se depositan durante su operación; los métodos empleados para remover óxidos y escoria de la superficie de los álabes son [19]:

- Chorros de partículas abrasivas húmedas ó secas.
- Cepillado.
- Baños químicos.
- Baños de sales.
- Baños con soluciones alcalinas.
- Ácidos limpiadores.

Su selección depende de las siguientes consideraciones [19]:

- Tipo de contaminante a remover.
- Espesor del óxido y de la escoria.
- Composición del metal base: propiedades químicas.
- Características del metal base: propiedades físicas, dureza, porosidad, coeficiente de expansión térmica, conductividad, punto de fusión.
- Tolerancia de acabado superficial.
- Forma y tamaño de la pieza.

### **3.4 PROYECCION DE PARTICULAS ABRASIVAS.**

La limpieza con chorros de partículas consiste en proyectar partículas abrasivas secas ó suspendidas en un líquido, contra la superficie para remover contaminantes ligeros ó pesados, pintura, rebabas, tierra, escoria, arena, etc; y para producir rugosidad ó un acabado superficial [19].

### 3.4.1 TIPOS DE ABRASIVOS.

La proyección de partículas abrasivas secas emplea partículas de 20 a 30 de malla; y los abrasivos húmedos de 60 a 500 de malla [19].

- **Cuentas de vidrio.** Son los medios abrasivos más utilizados para rectificar, pulir, remover, etc; sus diámetros varían de 0.043 mm a 1.7 mm (0.0017" a 0.067") [19].

- **Perdigones de acero.** Son hechos de fundiciones de acero endurecido ó alambre de acero recocido; se utilizan para remover escoria. Los aceros inoxidables sufren un endurecimiento superficial por trabajo en frío, como lo es la proyección de perdigones de acero; éste método de limpieza no debe aplicarse si dicha condición no es favorable para los usos futuros de la pieza [19].

El trabajo de limpieza con la proyección de perdigones de acero es únicamente de impacto, al mismo tiempo que se incrementa la densidad de la superficie por efecto de la compresión [19].

- **Arenilla.** Son partículas angulares hechas de fundición de acero endurecido, limpian rápidamente dejando una superficie adecuada de trabajo. Las partículas se pueden incrustar en el material causando una seria disminución de la resistencia a la corrosión de las superficies de acero inoxidable. El trabajo de limpieza con la arenilla de acero es de impacto, pero además corta el acero de la pieza [19].

El uso de arenilla de acero inoxidable reduce la formación de herrumbre, pero no elimina completamente residuos de incrustaciones de óxidos, para eliminarlos se necesita un baño químico posterior [19].

- **Arena.** Puede ser de materiales naturales como granate, sílice, novaculita, piedra pómez y cuarzo; ó de materiales manufacturados como plástico, carburo de silicio y óxido de aluminio.

Los chorros de arena son métodos previos a la limpieza con un baño químico. Se utilizan para dejar una superficie limpia de partículas metálicas y por su rápida acción de remoción de escoria en aceros inoxidables, en fundiciones y en piezas forjadas, empleándose la arena de sílice. La proyección del abrasivo se realiza en constante movimiento para evitar el corte excesivo [19].

La arena desarrolla una acción de arrastre, aparte de la fuerza de impacto; la partícula de arena al impactar la superficie se fragmenta en dirección horizontal; ésta acción limpia y crea un perfil de la misma. La limpieza que se logra es más completa que utilizando perdigones de acero ó arenilla [19].

- **Oxido de aluminio.** Remueve rebabas, óxidos y escoria de cualquier aleación fundida ó forjada; es muy económico y reutilizable; produce una adecuada superficie de adhesión para el recubrimiento [19].

• **Carburo de silicio.** Se utiliza para limpieza de superficies duras como el carburo de tungsteno [19].

• **Granate.** Se utiliza para remover oxidos, escoria de soldadura, etc; es muy duro y de corte rápido [19].

En la tabla 3.1 se muestra las aplicaciones recomendadas de varios abrasivos.

**TABLA 3.1. APLICACIONES RECOMENDADAS DE VARIOS ABRASIVOS.**

ABRASIVOS RECOMENDADOS.			
APLICACION	TIPO	DIAMETRO NOMINAL (mm)	DUREZA ROCKWELL (HRC)
REMOCION DE ESCORIA LIGERA	PERDIGON O ARENILLA	0.177 - 0.711	30 - 36
REMOCION DE ESCORIA PESADA	PERDIGON O ARENILLA	0.711 - 1.980	45 - 66
LIMPIEZA DE FUNDICIONES	PERDIGON O ARENILLA	0.431 - 1.980	30 - 66
UNICAMENTE APARIENCIA MATE	ARENILLA	0.127 - 0.431	50 - 66
PREPARACION PARA OTRO ACABADO	PERDIGON O ARENILLA	0.177 - 0.711	30 - 66

La presión del chorro en términos económicos varía entre 2.8 a 4.2 Kg/cm<sup>2</sup> (40 a 60 psi), y depende del material abrasivo. Una excesiva presión sólo acelera la fractura del abrasivo con un mínimo de reducción en el tiempo de aplicación [19].

Se debe considerar el ángulo de impacto; un ángulo de 45° produce una superficie rugosa que es adecuada para la adhesión del recubrimiento; un ángulo de 30° produce un buen acabado superficial [19].

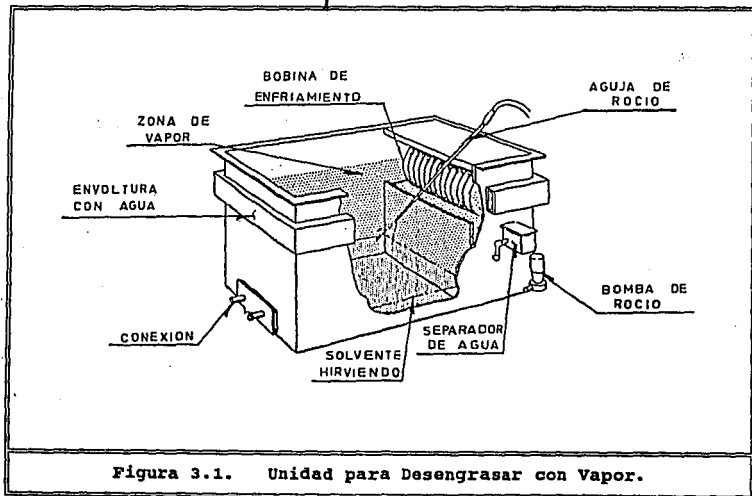
Un factor más que se considera es la distancia, que debe permanecer constante durante todo el proceso de limpieza. Los abrasivos artificiales se aplican a una distancia de 152 mm a 304 mm (6" a 12"); los abrasivos naturales suaves se aplican a una distancia de 76 mm a 152 mm (3" a 6") [19].

Los contaminantes viscosos como grasas, aceites ó alquitrán no pueden removerse mediante la proyección de partículas abrasivas; a parte de que resisten la acción de limpieza, se adhieren al material abrasivo, impidiendo su recuperación y reciclado. Las piezas que presentan éstos contaminantes deben desengrasarse antes de aplicar el chorro de abrasivo [19].

En piezas soldadas en las que se produce una escoria fuertemente adherida, se aplica un baño químico después del chorro de partículas abrasivas para retirarla [19].

### 3.5 BAÑOS QUIMICOS.

Se emplea para remover aceite y grasa mediante vapor caliente de un solvente clorinado, que es tricloroetileno con una temperatura de ebullición de 87 °C. En la figura 3.1 se muestra la unidad para desengrasar con vapor. Consta de un tanque cerrado de acero con un sumidero en el fondo donde se encuentra el solvente hirviendo; una bobina de enfriamiento que se localiza en la parte superior de uno de sus extremos [15].





La pieza que se va a limpiar se coloca dentro de la unidad y se calienta el sumidero para hervir el solvente y generar vapor del mismo; que llena completamente el tanque. La diferencia de temperatura entre el vapor y la pieza más fría, origina que el vapor se condense sobre la pieza y disuelve las impurezas que tiene en forma uniforme. En la bobina de enfriamiento el vapor se condensa totalmente, manteniendo un nivel constante de él en el interior del tanque [15].

### 3.6 PROCESOS DE RECUBRIMIENTOS.

El recubrimiento es el método que más comúnmente se emplea para proteger los componentes de turbinas contra los efectos de la erosión y de la corrosión. Existen tres formas de proteger al material [17]:

- Aplicando una capa de otro material sobre la superficie.
- Fortalecer la superficie del material mediante la difusión de elementos aleantes (cromo, aluminio, etc.).
- Utilizando materiales de sacrificio, que se van a destruir en lugar del metal base.

Las características que deben tener los recubrimientos son [17]:

- Buena estabilidad.
- Alta resistencia contra erosión y corrosión.
- No ser porosos.
- Buena adhesión con el metal base.
- Resistencia contra fuertes cambios térmicos.
- Buena conductividad térmica.

### 3.7 TERMORROCIADO.

Consiste en la aplicación de un rocío de metal atomizado por inyección, los materiales metálicos, como el zinc ó el aluminio, se encuentran en forma de polvos y alambres; y se depositan en condición fundida ó semifundida sobre la pieza; la fuente de calor puede ser una flama, un arco eléctrico ó plasma; la técnica de termorrociado se clasifica en [17][19][20]:

#### 3.7.1 ROCIADO POR FLAMA (FLAME SPRAYING).

Se utiliza una flama oxiacetilénica a una temperatura de 3060 °C. El combustible que más se usa es el acetileno, pero el hidrógeno y el propano también son comunes.

Los factores que influyen en la duración del recubrimiento son: preparación de la superficie, operación del equipo, distancia de aplicación, temperatura de la pieza y tipo de recubrimiento.

La adherencia entre las partículas que se rocían depende: de la finura del rocío, de la relación del gas y presión, de la velocidad de alimentación del material, etc. [17][19][20].

El proceso de rociado por flama se subdivide en [17][19][20]:

#### **3.7.1.1 Rociado con Alambre (Wire Flame Spray).**

Se utiliza alambre metálico que se dirige en forma eléctrica ó neumática a través de una pistola especial. La combustión de la mezcla oxígeno-acetileno funde el alambre, que se atomiza en pequeñas gotas; y con un flujo de aire u otro gas se deposita sobre la pieza. Las partículas fundidas solidifican inmediatamente que impactan la superficie que se recubre.

La flama que se produce es corta; la distancia entre la pistola y la pieza debe ser de 75 mm (3") para producir un recubrimiento fino; se debe rociar con un ángulo de 90°. Este proceso es el que más se utiliza porque produce menor calentamiento de la pieza, el recubrimiento que se logra tiene buena densidad y adherencia con ella [17][19][20].

#### **3.7.1.2 Rociado con Polvos (Powder Flame Spray).**

El metal o cerámico en polvo se suministra en un flujo de aire comprimido ó gas; que lo suspende y lo entrega a la flama oxiacetilénica, donde se funde para después proyectarse hacia la pieza.

La flama que se produce es larga y espesa; la pistola debe colocarse a una distancia de 150 mm a 200 mm (6" a 8") de la pieza, moviéndola rápida y transversalmente para minimizar el calentamiento. El costo del equipo es menor comparado con el que se utiliza para el rociado con alambre [17][19][20].

#### **3.7.1.3 Pistola de Detonación (Pistola D).**

Se utiliza una pistola que posee una cámara especial, en la que se introduce el material en polvo y una combinación de gases (oxígeno, nitrógeno y acetileno); por medio de una chispa a períodos determinados se detona la mezcla, creándose un flujo de gas caliente a alta velocidad que proyecta el recubrimiento hacia la pieza. Este proceso es que no puede aplicarse en campo [17][20].

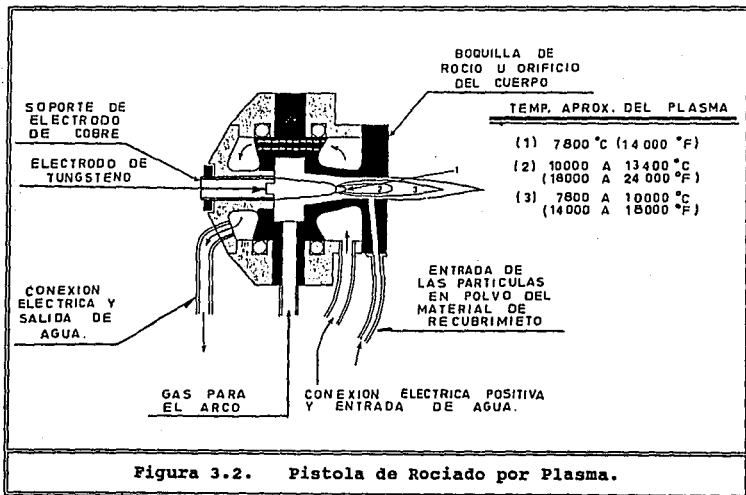
#### **3.7.2 ARCO ELECTRICO (ELECTRIC ARC).**

El material de recubrimiento se emplea en forma de alambre; y como fuente de calor se crea un arco de alto voltaje que se mantiene entre las puntas de dos electrodos consumibles; conforme los electrodos se funden, el material se proyecta hacia la pieza utilizando un flujo de aire comprimido [17][20].

### 3.7.3 ROCIADO POR PLASMA (PLASMA SPRAYING).

El plasma se describe como el cuarto estado de la materia, es un gas inerte que se excita por un arco de alto voltaje. Un gas ó mezcla de gases (argón, helio, hidrógeno y nitrógeno), se alimenta dentro de una pistola y se calienta con el arco eléctrico entre un electrodo y una boquilla a temperaturas de 7800 °C (14000 °F) a 13400 °C (24000 °F) para formar la flama del plasma. La flama pasa por la boquilla convergente - divergente donde adquiere velocidades (de rocío) superiores a Match 2, en éstas condiciones cualquier material de recubrimiento, sea metálico, carburo, cerámico ó plástico puede fundirse; el material en polvo se transporta por un flujo de gas y se inyecta dentro del plasma, que lo proyecta hacia la pieza; el espesor del recubrimiento varía de 0.08 mm a 0.15 mm (0.003" a 0.006") [17][19][20][21].

En la figura 3.2 se muestra la pistola de rociado por plasma; se enfría con agua y posee una cámara abierta en la cuál se forma la flama del plasma. El gas ó mezcla de gases que produce la flama, se introduce dentro de la cámara y se calienta con un arco de alta frecuencia. Una vez que se inicia la descarga, el plasma puede conducir corrientes de hasta 2000 A en corriente directa, con voltajes potenciales de 30 a 80 V. Las pistolas normales para plasma se especifican a 40 KW, y las de mayor energía hasta para 80 KW [17][19][20][21].



En lo que se refiere al recubrimiento de componentes de turbinas de vapor de baja presión, los procesos de rociado son altamente recomendados debido a la portabilidad del equipo y por el bajo calentamiento que sufren las piezas. Además, el acceso a la superficie es relativamente normal a la dirección del flujo del plasma y el costo de aplicación es bajo [19].

El rociado por plasma es uno de los procesos que se emplean para depositar los RECUBRIMIENTOS TIPO CAPA, que tienen su base en el sistema M-Cr-Al-X [15].

donde: M = Ni, Co, Ni-Co, Co-Ni ó Fe ± Ni ± Co  
X = Adición del elemento activo: Y, Si, Ta, Hf, W, etc.

Los álabes para las etapas de altas temperaturas en turbinas de vapor se fabrican con un acero clase AISI 422, es un acero inoxidable martensítico con 12% de Cr en su composición química [9]. Los recubrimientos tipo capa que se aplican sobre éste material son [22]:

Co - 30% Cr - 10% Ni - 4.5% W  
Fe - 30% Cr - 5% Al - 1 % Y  
Ni - 20% Cr - 10% Mo

Para proteger los extremos de los álabes contra el desgaste por erosión durante su servicio, se aplican los recubrimientos tipo [15]:

Co-Cr-Al-Y-Hf

Co-Cr-Al-Y

Los recubrimientos que se aplican contra la corrosión son del tipo [15]:

Ni-Cr-Al-Y

Fe-Cr-Al-Y

Ni-Co-Cr-Al-Y

Co-Cr-Al-Y-Si

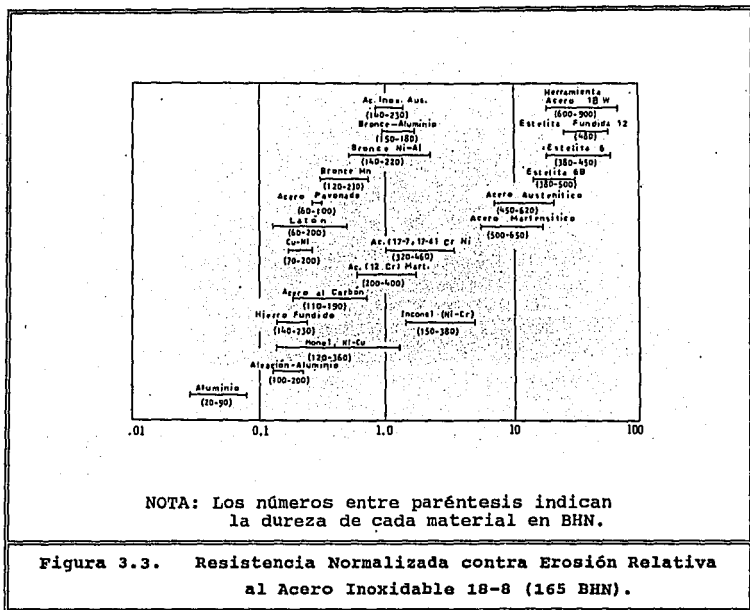
Ni-Co-Cr-Al-Y-Si-Hf.

Los RECUBRIMIENTOS TIPO BARRERA TERMICA se aplican sobre álabes de turbinas de gas, cuyo ambiente de trabajo se desarrolla a elevadas temperaturas del orden de los 1300 °C; los recubrimientos contienen una capa cerámica de baja conductividad térmica sobre una capa de adherencia M-Cr-Al-X que contiene el álabe. Se utilizan para poder incrementar la temperatura del gas a la entrada de la turbina, manteniendo la temperatura del álabe constante; y para reducir el consumo de aire de enfriamiento. La temperatura del álabe se encuentra de 150 °C a 200 °C más baja que la del gas [15].

Los recubrimientos tipo barrera térmica que se aplican son [15]:

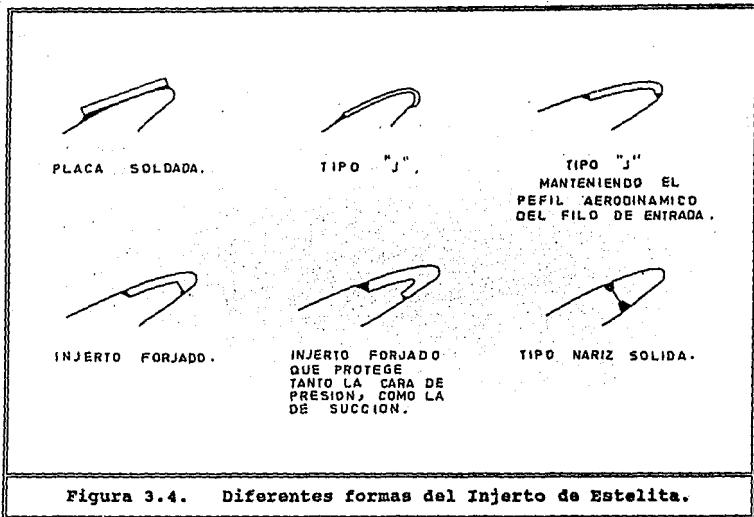
- Ni-Co-Cr-Al-Y (capa de adherencia) con ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (capa cerámica) hasta 1300 °C.
- Itrio estabilizado con circonio (CHROMALLOY) hasta 1300 °C.
- ZrO<sub>2</sub> estabilizado con CaO (óxido de calcio), ó con MgO (óxido de magnesio) hasta 1200 °C.

En la figura 3.3 se muestra la resistencia normalizada contra erosión para varios materiales.



### 3.8 RECUBRIMIENTOS TIPO INJERTO.

Se utilizan para retardar los efectos de la erosión y se aplican a los álabes de los últimos pasos de la turbina de baja presión; consiste en soldar, empleando soldadura de plata, un injerto de metal ESTELITA, en el filo de entrada del álabes. Los fabricantes habilitan los álabes nuevos con ésta protección, como se muestran en la figura 3.4.

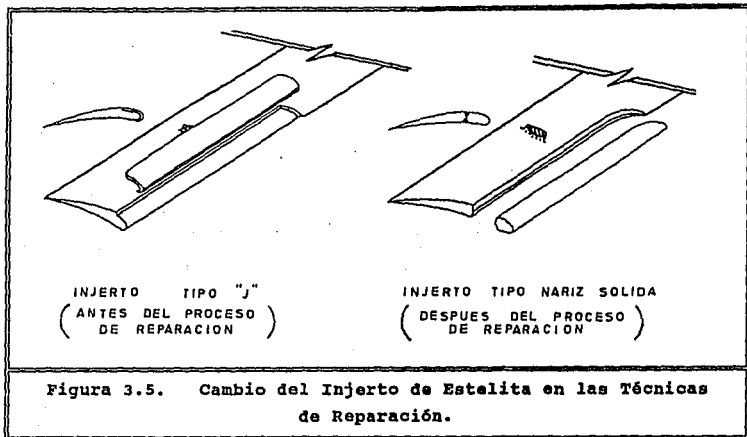


Después del período de vida útil, los álabes se encuentran muy erosionados y se necesita su reemplazo; para evitarlo, se aplican técnicas de reparación que permiten a los usuarios, la recuperación y reutilización de éstos componentes.

La técnica de reparación por soldadura de álabes de turbinas de vapor es un desarrollo reciente; consiste en cambiar los injertos de Estelita Tipo "J", por injertos de Estelita Tipo Nariz Sólida, que abarcan todo el filo de entrada del álabes, como se muestra en la figura 3.5. Los injertos tipo "J" se utilizan desde la década de 1960 (30 años aproximadamente), y la reparación con injertos tipo nariz sólida se realiza desde hace 16 años aproximadamente (1978) [26].

La técnica de reparación por soldadura la aplican diversos países como E.U.A., ALEMANIA, FRANCIA, SUDAFRICA e INGLATERRA por mencionar algunos [26].

En 1978 se repararon por éste método los primeros álabes de turbinas de vapor, en E.U.A.; y el costo de la reparación fue de un 30% el costo de los álabes nuevos [26].



En INGLATERRA se aplicó ésta técnica en el año de 1982, para reparar álabes de la "CENTRAL ELECTRICITY GENERATING BOARD"; los álabes eran de entrada axial con 36" de longitud [26].

En 1985 en E.U.A., se repararon 200 álabes de 40" de longitud y en 1986 se repararon otros 400 álabes, por la compañía "SOUTHERN CALIFORNIA EDISON". En ese mismo año se reparó una rueda completa de álabes perteneciente a una compañía alemana; los álabes tenían 27" de longitud, un alambre de unión y la raíz tipo pino de colocación circular [26].

En la tabla 3.2 se muestra la composición química y dureza de los injertos de estelita 6B [27].

**TABLA 3.2. COMPOSICION QUIMICA Y DUREZA DE ESTELITA 6B.**

Co	Ni	Si	Fe	Mn	Cr	Mo	W	C	HRC
Ba- lance	3.0 *	2.0 *	3.0 *	2.0 *	28.0 32.0	1.5 *	3.5 5.5	0.9 1.4	37 45

\* / ≈ valores máximos.

### 3.9 TÉCNICAS DE PROTECCION POR ENDURECIDO.

Las técnicas de protección por endurecido se aplican a álabes de barras laminadas, forjados y forjas matrizadas [28]. Los materiales que se emplean para la fabricación de álabes de turbinas de vapor son: AISI 403 (con 0.15 %C), AISI 410 (con 0.15 %C) y AISI 422 (con 0.22 %C) [9]; las técnicas sólo se aplican al material AISI 422 porque se requiere alto contenido de carbono para endurecer la superficie sobre la que se trabaja.

El proceso de protección se lleva a cabo sobre el filo de entrada del álabe que se endurece por su efecto; la superficie que se produce tiene alta resistencia contra los efectos de la erosión [29]. Se aplican tres técnicas de endurecido:

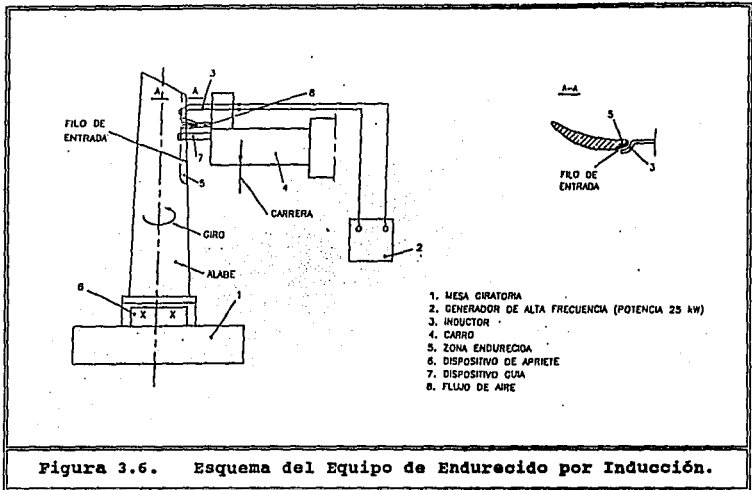
- Endurecido por Inducción.
- Endurecido por Flama.
- Endurecido por LASER.

#### 3.9.1 ENDURECIDO POR INDUCCION.

Los álabes antes del proceso de endurecido se inspeccionan con un defectoscopio, para verificar que no existan fallas, como fisuras, discontinuidades, poros, grietas, rayas, etc.; deben estar totalmente terminados y maquinados. Previamente se especifica la zona a endurecer, longitud, espesor, ancho y la dureza requerida [28].

El proceso de endurecido se aplica sobre el filo de entrada, donde se forma una superficie más resistente que lo protege de los efectos de la erosión [29]. Se utiliza una máquina de endurecido que se acopla a un generador de alta frecuencia con una potencia de 25 KW [28], como se muestra en el figura 3.6.





### 3.9.1.1 PROCEDIMIENTO PARA EL PROCESO DE ENDURECIDO POR INDUCCION [28].

- El álabes se coloca en un dispositivo de fijación y se instala el sistema del inductor y el mecanismo guía.
- Se ajusta el inductor al ancho y altura para obtener el endurecido requerido.
- Se recorre varias veces con el inductor, lo largo de la zona que se va a endurecer, y se verifica constantemente la distancia entre el inductor y el álabes en distintas secciones.
- Se instala el pirómetro y se enfoca en el filo de entrada del álabes.
- La zona a endurecer del álabes se recubre con una emulsión "TEMPILAG" u otra similar y se espera hasta que se seque.
- Se determina el tiempo de precalentamiento y velocidad de carrera del inductor.

- Se determina la potencia de calentamiento con relación al espesor del álabe y ancho de la zona a endurecer.
- Se ajusta el flujo de aire comprimido de la tobera.
- El proceso de endurecido se lleva a cabo de abajo hacia arriba manteniendo la temperatura de endurecido entre 1020 °C y 1060 °C, y la velocidad a lo largo de la trayectoria del inductor es de 30 mm/min aproximadamente.

**NOTA:** El cambio de color de la emulsión "TEMPILAG" indica que la temperatura del álabe no es la adecuada en todo el ancho.

- En el recorrido del filo de entrada, al inductor le sigue la tobera que enfría rápidamente con el flujo de aire comprimido, la zona que se calentó; causando el efecto de templado.
- Después del proceso, se desmonta el álabe del dispositivo y se deja enfriar al medio ambiente en posición vertical.
- Una vez frío el álabe se verifica su dureza, que debe ser entre 41 HRC y 61 HRC en la zona endurecida; y menor de 36 HRC en las cercanías de la misma.
- En caso de que no se obtenga un precalentamiento uniforme de toda la zona a endurecer, se incrementa la potencia de calentamiento.
- Para el caso de que no se obtenga la profundidad necesaria en la zona endurecida se disminuye la velocidad del inductor.
- Si existe un excesivo precalentamiento de la superficie del álabe sobre el área que se encuentra fuera de control del pirómetro (fuera del filo de entrada del álabe), se cambia el ajuste del inductor con relación al álabe.

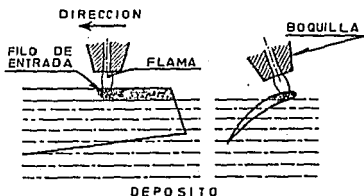
### 3.9.2 ENDURECIDO POR FLAMA.

El proceso de endurecido por flama del filo de entrada de álabes móviles de las últimas etapas de las turbinas de baja presión ha demostrado ser muy efectivo para minimizar los efectos destructivos de la erosión desde hace más de 30 años [29].

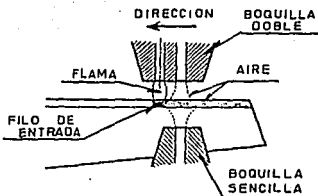
El proceso consiste en calentar el filo de entrada del álabe con una flama que se produce por la combustión de un gas; al enfriarse el filo de entrada se genera una superficie de protección, que es resistente contra los efectos de la erosión. El proceso se ha mejorado para eliminar mayores esfuerzos que originen grietas y dañen el álabe, en lugar de protegerlo; se inicia calentando en el extremo superior de la paleta y se avanza hacia la raíz [29].

Utiliza dos medios para enfriar el álabe; que son AGUA ó AIRE COMPRIMIDO; la elección del medio de enfriamiento depende de varios factores como: el material del álabe, el espesor, etc. [29].

Cuando se emplea AGUA dentro de un depósito especial, el álabe se introduce casi todo, dejando el filo de entrada sin sumergir, al que se le aplica el proceso, como se muestra en la figura 3.7a. Conforme se va calentando la paleta del álabe, el agua la enfría para que solo el filo de entrada se endurezca [29].



(a)  
Proceso enfriado  
con agua.



(b)  
Proceso enfriado  
con aire.

Figura 3.7. Proceso de Endurecido por Flama.  
Enfriamiento por: (a) Agua; (b) Aire Comprimido.

En el proceso que utiliza **AIRE COMPRIMIDO** como medio de enfriamiento, se emplean dos boquillas; una boquilla doble y una sencilla [29].

La boquilla doble tiene dos ductos independientes uno del otro; por uno escapa la flama que calienta el filo de entrada y por el otro sale el aire comprimido que lo enfría; durante el recorrido del filo de entrada se aplica primero la flama y después el aire, como se muestra en la **figura 3.7b** [29].

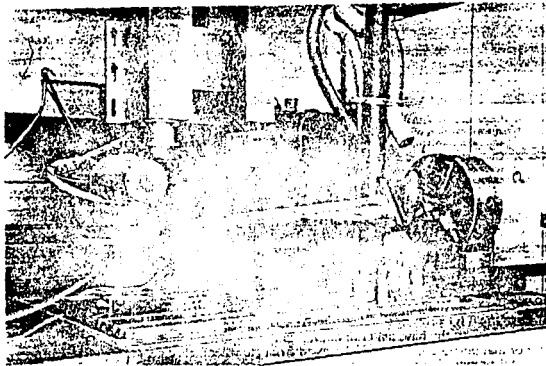
Por la boquilla sencilla solo escapa aire comprimido que enfría el resto de la paleta del álabe y el filo de entrada desde otra dirección [29].

### **2.9.3 ENDURECIDO POR LASER.**

Se observa que la mayor resistencia contra erosión, se obtiene con microestructuras martensíticas, que se producen intencionalmente, como una protección pasiva para las zonas del álabe sujetas a los ataques de la erosión [31].

El proceso de endurecido es un proceso de transformación microestructural de la fase perlita a martensita, y se rige por un diagrama Tiempo-Temperatura-Transformación (diagrama TTT); el acero perlítico de un álabe se transforma a acero martensítico, aumentando su temperatura hasta alcanzar la estructura austenítica; seguido por la aplicación de un tratamiento de templado, con el que se enfría rápidamente logrando la transformación de fase sólida de perlita en martensita. Se utiliza un equipo de rayo LASER, para calentar el filo de entrada del álabe, hasta la temperatura que se requiere en el proceso, como se muestra en la **fotografía 3.1**, seguido de un enfriamiento con aire comprimido [31].

El proceso de endurecido por LASER, produce una microestructura más homogénea que el proceso de endurecido por inducción ó por flama. El espesor de la capa endurecida, que se produce es de 0.4 mm (0.016 ") [31].



Fotografía 3.1. Proceso de Endurecido Por LASER.

### 3.10 METODOS DE PROTECCION RECIENTEMENTE DESARROLLADOS.

Todas las compañías que fabrican turbomáquinas (General Electric, Asea Brown Boveri, Siemens, Toshiba, Westinghouse, Mitsubishi, etc.), y los centros de investigación; están constantemente invirtiendo en investigación para la solución de los diversos problemas que se presentan durante la operación de las turbinas.

De los problemas que se presentan, como ya he mencionado, la erosión es uno de los principales, por eso se siguen buscando nuevas técnicas para contrarrestar sus efectos; hace dos años, en 1992, las Compañías General Electric y Siemens lanzaron al mercado el desarrollo de dos técnicas de protección para álabes que logran disminuir el desgaste de los mismos; dichas técnicas son las siguientes:

#### 3.10.1 METODO DE PROTECCION GENERAL ELECTRIC.

En éste diseño, la protección contra erosión consiste en la modificación del filo de entrada del álabe móvil; que se maquina en forma ranurada; dándole al perfil la forma de DIENTE DE SIERRA en el filo de entrada, como se muestra en la figura 3.8.

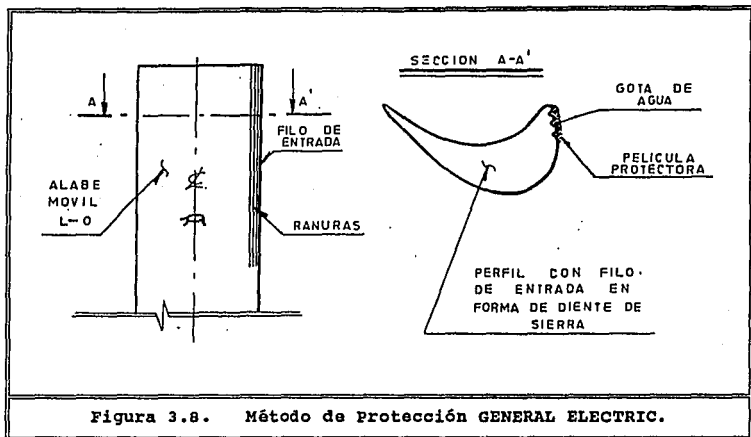


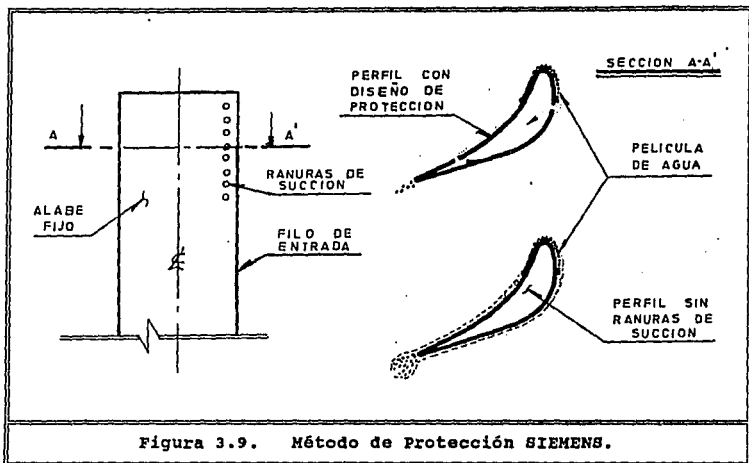
Figura 3.8. Método de Protección GENERAL ELECTRIC.

La distancia del maquinado depende de la longitud del álabe y de la etapa en la que trabaja; para un álabe L-0 de longitud 762 mm (30"), se maquina hasta una distancia de 229 mm (9") aproximadamente con una profundidad de 1.6 mm (0.062").

El mecanismo de protección contra erosión actúa al estar operando la turbina; las gotas de agua que se forman por la condensación en las últimas etapas, chocan contra los álabes en su filo de entrada y se alojan en las ranuras del diseño, formando una película protectora para el álabe; las siguientes gotas no chocan contra él, porque lo hacen contra la película. Por efecto de la centrifugación, una parte de la película se expulsa de la parte superior de la paleta fuera del álabe, mientras que otras gotas continúan formándola; de modo, que la película existe en forma constante durante el funcionamiento de la turbina, mientras se condense el vapor de trabajo.

### 3.10.2 METODO DE PROTECCION SIEMENS.

Este diseño se aplica a álabes fijos; consiste en maquinas ranuras en el filo de entrada de la cara de succión (lado convexo), y en el filo de salida de la cara de presión (lado cóncavo) [30], como se muestra en la figura 3.9. Los álabes tienen un ducto que los atraviesa en dirección longitudinal, que los hace huecos.



Las gotas que existen en la turbina de baja presión; forman una película de agua que erosiona el álabe fijo; ésta película se succiona tanto por las ranuras del filo de entrada como por las del filo de salida, y se purga por diferencia de presión fuera del álabe.

La succión por ranuras en los álabes fijos ha probado ser un método muy efectivo para reducir los efectos de la erosión, al disminuir el área de contacto entre la película de agua y el álabe, como se muestra en la misma figura 3.9. Además, al ser los álabes fijos los que recolectan y drenan el agua que se forma, evitan que perjudique los filos de entrada de los siguientes álabes móviles [30].

**NOTA:** La información que se obtuvo resulta escasa para poder describir completamente los dos anteriores métodos de protección (GENERAL ELECTRIC Y SIEMENS); la falta de información, se debe a que ambos son diseños recientes y no existe mucha publicación al respecto; únicamente boletines, reportes, folletos, etc. Se mencionan porque son técnicas de protección contra erosión para álabes de turbina de vapor.

## CAPITULO IV

### RECUPERACION DE LA GEOMETRIA DEL ALABE MOVIL L-0 DE TURBINA DE VAPOR DE 300 MW.

#### 4.1 LA MAQUINA DE MEDICION POR COORDENADAS (MMC).

La máquina de medición por coordenadas (MMC), es un dispositivo que mide las coordenadas de un punto en el espacio; que se referencia a un origen determinado. Por medio de las escalas que posee en cada uno de sus ejes, la probeta que se instala se puede trasladar por cualquiera de las direcciones "x", "y" ó "z"; es decir, la MMC es capaz de medir en tres dimensiones (medición espacial) [32].

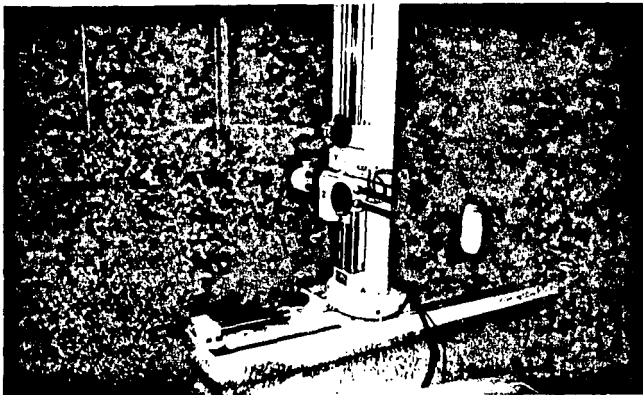
La MMC posee mayor ventaja y versatilidad sobre instrumentos convencionales de medición como el calibrador, micrómetro o "gages", que son capaces de medir únicamente en una dirección; en "x", (instrumentos de medición unidimensional); ó a diferencia de aquellos proyectores de perfil que ofrecen una lectura de coordenadas en los ejes "x-y" (dispositivos de medición bidimensional) [32].

La máquina de medición por coordenadas que utilizo para el desarrollo de ésta tesis y específicamente para la medición de los diferentes perfiles del álabe, antes y después del proceso de reparación, es un modelo MICROPAK 120 MITUTOYO que permite obtener dimensiones de piezas mecánicas complejas, con precisiones de centésimas de milímetro (diez milésimas de pulgada), lo cuál es indispensable para determinar la geometría de los perfiles.

#### 4.2 MEDICION DE LOS PERFILES DEL ALABE L-0 (ULTIMA ETAPA) DE BAJA PRESION.

El álabe se coloca en un dispositivo donde se fija para evitar que se mueva y cambie de posición; es importante mantener una sola posición del álabe cuando se está midiendo, porque las coordenadas de los puntos que se miden, se refieren a las coordenadas de otro punto llamado "origen"; de tal modo, que al cambiar la posición de la pieza de trabajo, las coordenadas del punto origen cambian también, ocasionando mediciones defasadas. El proceso de medición de los perfiles se muestra en la fotografía 4.1.





Fotografía 4.1. Proceso de Medición de los Perfiles del Alabe L-0.

**NOTA:** El dispositivo de fijación en el que se coloca el álabé, es el mismo que se utiliza para su fijación en los procesos de: Maquinado del Filo de Entrada del Alabe, Soldadura del Injerto de Estelita Tipo Nariz Sólida con el Alabe, Enderezado de la Paleta y Tratamiento Térmico (Relevo de Esfuerzos).

Se midieron seis secciones (perfiles) de la parte superior de la paleta del álabé, a diferentes distancias, abarcando toda la longitud del injerto de estelita, como se indican en el dibujo 4.1.

Los perfiles están referenciados a un punto origen "0", que es el centro del radio de curvatura que presenta la raíz. Las coordenadas de los puntos de las secciones A-A', B-B', C-C', D-D', E-E' y F-F' medidos antes del proceso de reparación se presentan en las tablas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6, respectivamente.

Los perfiles de las secciones A-A', B-B', C-C', D-D', E-E' y F-F' medidos antes del proceso de reparación, se presentan en los dibujos 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7, respectivamente. Utilizo éstos perfiles, así como las coordenadas de sus puntos para el diseño de los ESCANTILLONES.

**TABLA 4.1 COORDENADAS DE LOS PUNTOS EN LA SECCION A-A'.  
MEDIDOS ANTES DEL PROCESO DE REPARACION.**

PUNTO	X	Y		PUNTO	X	Y
1	66.01	82.06		14	134.01	100.51
2	70.01	83.56		15	119.89	97.09
3	77.01	86.22		16	99.10	91.15
4	84.01	89.00		17	88.63	87.61
5	99.01	94.90		18	66.01	79.99
6	112.01	99.00		A	63.63	79.17
7	124.01	103.41		B	153.01	104.21
8	133.98	105.77		C	161.74	-10.10
9	142.53	107.49		D	203.86	-230.37
10	150.29	108.50		E	150.65	106.15
11	151.80	108.20		F	64.51	80.37
12	140.01	101.87		G	140.26	104.38
13	139.51	101.58				

**TABLA 4.2 COORDENADAS DE LOS PUNTOS EN LA SECCION B-B'.  
MEDIDOS ANTES DEL PROCESO DE REPARACION.**

PUNTO	X	Y		PUNTO	X	Y
1	70.30	84.67		14	136.88	100.29
2	87.38	90.94		15	111.41	95.01
3	99.10	95.41		16	91.88	89.35
4	109.88	99.08		17	88.64	88.30
5	120.14	102.34		18	65.93	80.99
6	129.06	104.46		A	63.62	80.25
7	137.02	105.77		B	153.83	102.87
8	142.95	106.61		C	149.11	71.71
9	147.61	107.12		D	184.86	-195.28
10	151.73	107.05		E	151.45	104.71
11	148.44	101.94		F	64.54	81.51
12	141.84	100.99		G	133.60	102.42
13	140.33	100.77				

**TABLA 4.3 COORDENADAS DE LOS PUNTOS EN LA SECCION C-C'.  
MEDIDOS ANTES DEL PROCESO DE REPARACION.**

PUNTO	X	Y		PUNTO	X	Y
1	68.33	85.90		13	115.61	97.03
2	98.33	96.13		14	92.96	91.80
3	109.69	99.68		15	86.21	89.71
4	120.11	102.44		16	63.88	82.79
5	129.30	104.17		A	61.21	81.96
6	139.66	105.19		B	154.84	100.50
7	146.69	105.41		C	145.64	26.75
8	152.63	105.11		D	153.03	-116.78
9	149.80	100.28		E	152.48	102.75
10	142.84	99.98		F	61.93	82.95
11	141.34	99.91		G	142.76	102.63
12	138.11	99.78				

**TABLA 4.4 COORDENADAS DE LOS PUNTOS EN LA SECCION D-D'.  
MEDIDOS ANTES DEL PROCESO DE REPARACION.**

PUNTO	X	Y		PUNTO	X	Y
1	67.43	87.60		12	116.63	97.31
2	99.01	97.62		13	93.50	92.83
3	111.05	100.89		14	84.58	90.39
4	121.53	103.03		15	64.08	84.79
5	130.70	104.07		A	59.58	83.55
6	138.79	104.20		B	156.04	97.96
7	146.54	103.68		C	134.98	-9.48
8	154.02	102.75		D	137.31	-71.38
9	144.04	98.40		E	153.68	100.41
10	142.54	98.46		F	60.34	84.55
11	139.99	98.55		G	134.90	101.21

**TABLA 4.5 COORDENADAS DE LOS PUNTOS EN LA SECCION E-E'.  
MEDIDOS ANTES DEL PROCESO DE REPARACION.**

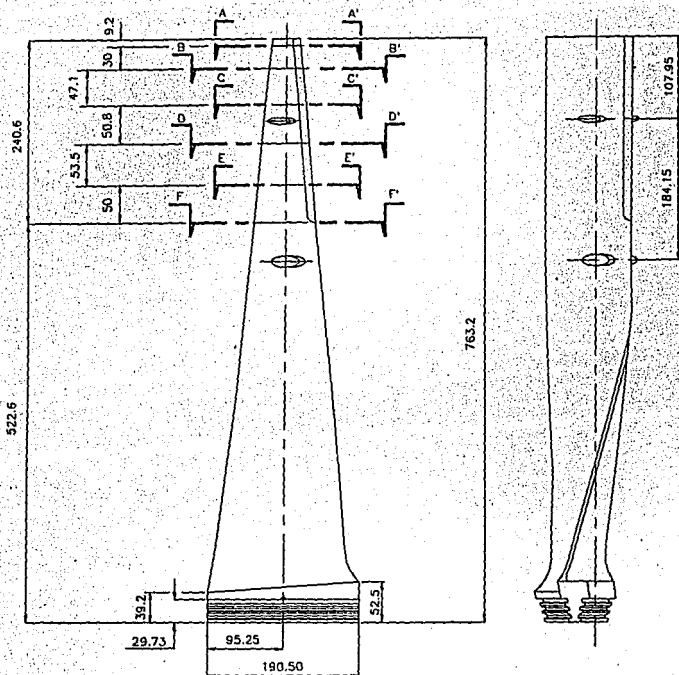
PUNTO	X	Y		PUNTO	X	Y
1	65.69	89.77		13	115.47	97.43
2	99.15	98.86		14	93.54	94.12
3	111.06	101.61		15	82.04	91.46
4	121.98	103.29		16	62.25	86.88
5	131.46	103.74		A	57.04	85.68
6	137.38	103.32		B	157.30	94.99
7	146.88	101.70		C	88.64	-211.03
8	154.96	100.09		D	127.14	-54.45
9	152.95	95.55		E	154.95	97.67
10	145.30	96.53		F	57.90	86.76
11	143.80	96.72		G	134.82	100.51
12	137.64	97.51				

**TABLA 4.6 COORDENADAS DE LOS PUNTOS EN LA SECCION F-F'.  
MEDIDOS ANTES DEL PROCESO DE REPARACION.**

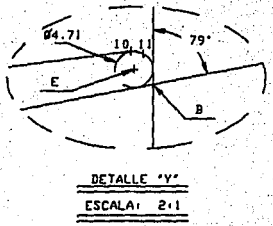
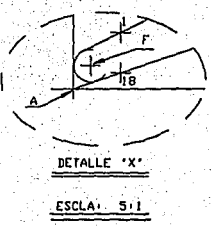
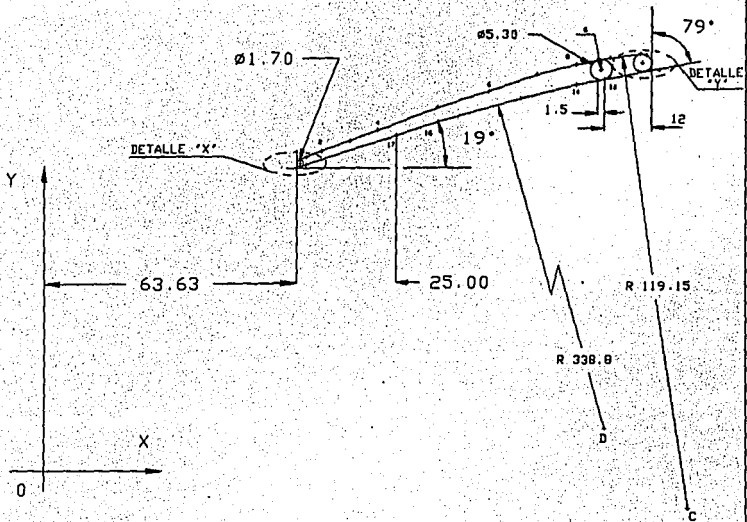
PUNTO	X	Y		PUNTO	X	Y
1	56.95	91.37		13	110.65	97.63
2	87.62	99.17		14	85.13	94.95
3	99.56	101.63		15	79.40	93.75
4	112.88	103.41		16	59.88	89.66
5	126.06	103.54		A	54.40	88.51
6	137.46	101.77		B	158.48	89.32
7	145.26	99.24		C	122.27	41.63
8	156.92	94.58		D	110.68	-25.20
9	153.21	90.68		E	156.14	92.36
10	146.48	92.40		F	55.50	89.87
11	144.98	92.79		G	131.34	98.97
12	138.73	94.39				

**TESIS SIN PAGINACION**

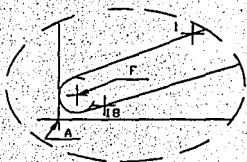
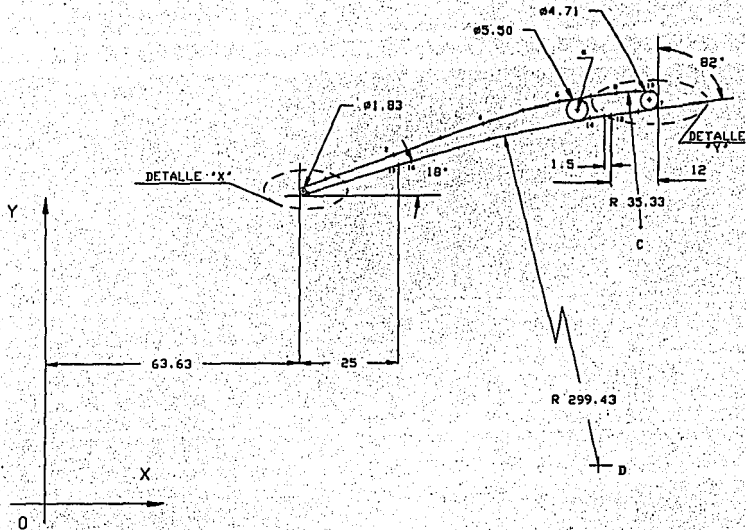
**COMPLETA LA INFORMACION**



1	1	Alabe Móvil L-0	AIISI S 17400 (17-4 PH)	SIN
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios	Esc: 1:5	Acot: mm	Fecha: 07/02/94	
Firma:	ALABE MOVIL L-0 PARA TURBINA DE VAPOR DE 300 MW, CON INJERTO DE ESTELITA TIPO "J".			
Revisó: M. C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 4.1

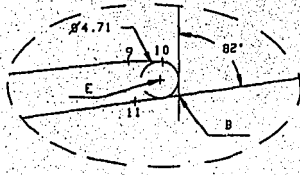


2	1	Sección A-A'	AISI S 17400 (17-4 PH)	Dibujo 4.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 07/02/94
Firma:		SECCION A-A' DE ALABE L-O		
Revisó: M. C. Mazur		PARA TURBINA DE VAPOR DE 300 MW		
Firma:		ANTES DEL PROCESO DE REPARACION.		
				No. Dibujo: 4.2



DETALLE 'X'

ESCALA: 5:1

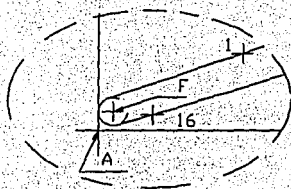
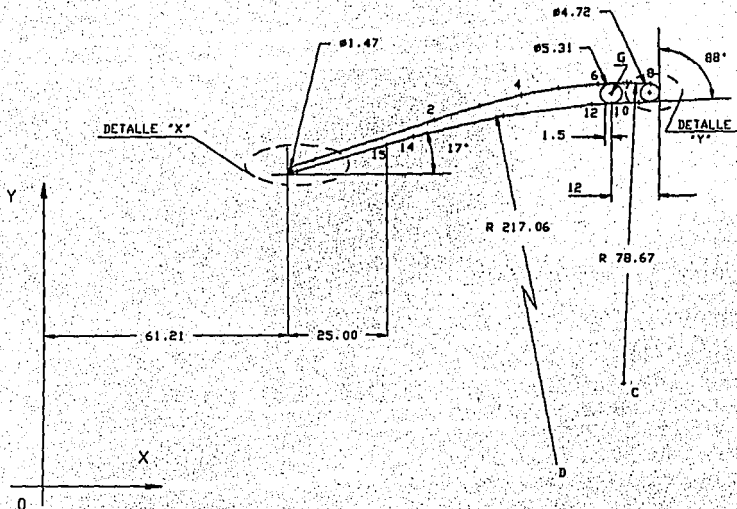


DETALLE 'Y'

ESCALA: 2:1

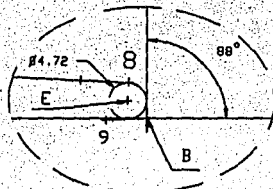
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
3	1	Sección B-B'	AISI S 17400 (17-4 PH)	Dibujo 4.1
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN U.N.A.M.				
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS I.I.E.				
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 07/02/94
Firma:		SECCION B-B' DE ALABE L-0 PARA TURBINA DE VAPOR DE 300 MW ANTES DEL PROCESO DE REPARACION.		
Revisó: M. C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 4.3





DETALLE "X"

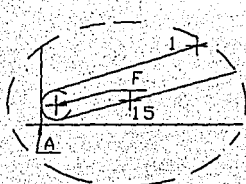
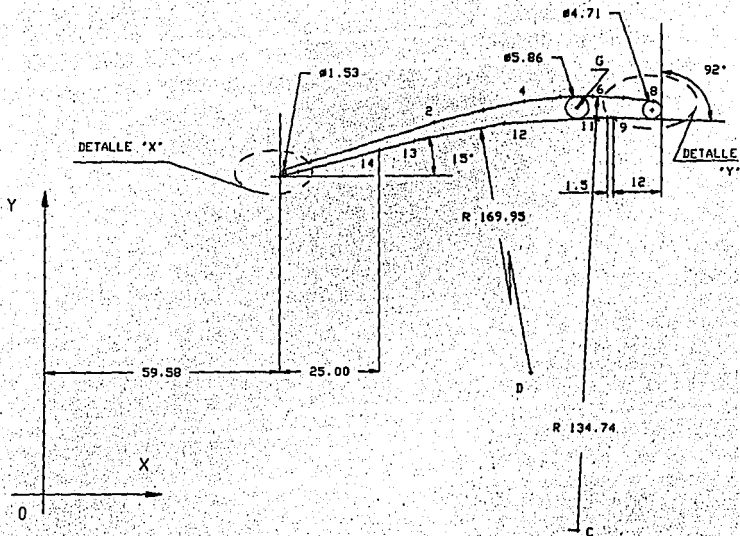
ESCALA: 5:1



DETALLE "Y"

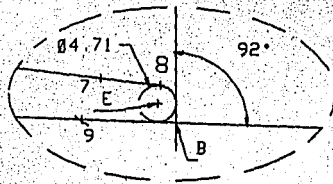
ESCALA: 2:1

4	1	Sección C-C'	AI S 17400 (17-4 PH)	Dibujo 4.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 07/02/94
Firma:		SECCION C-C' DE ALABE L-D		
Revisó: M. C. Mazur		PARA TURBINA DE VAPOR DE 300 MW		
Firma:		ANTES DEL PROCESO DE REPARACION.		
				No. Dibujo: 4.4



DETALLE \*X\*

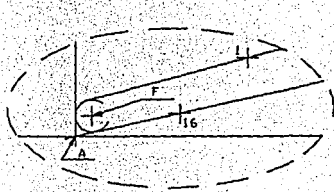
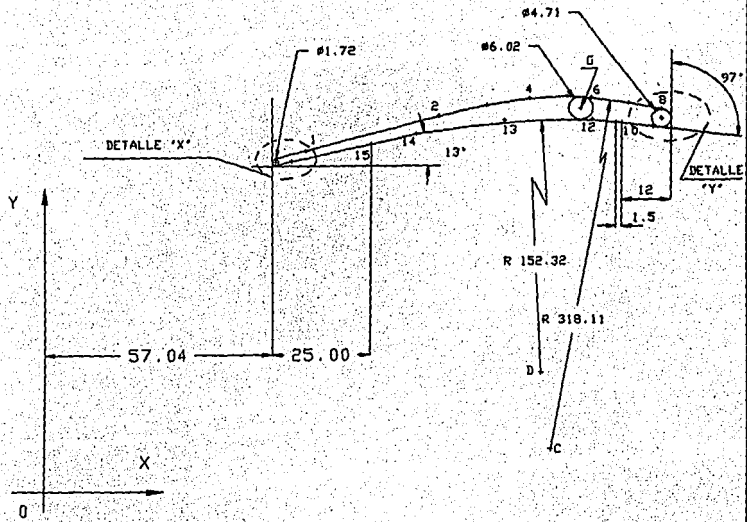
ESCALA: 5:1



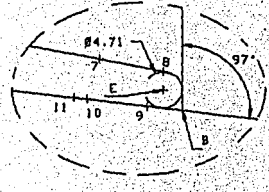
DETALLE \*Y\*

ESCALA: 2:1

Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
5	1	Sección D-D'	AIISI S 17400 (17-4 PH)	Dibujo 4:1
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN U.N.A.M. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS I.I.E.				
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 07/02/94
Firma:		SECCION D-D' DE ALABE L-0 PARA TURBINA DE VAPOR DE 300 MW ANTES DEL PROCESO DE REPARACION.		
Revisó: M. C. Mazur				
Firma:				

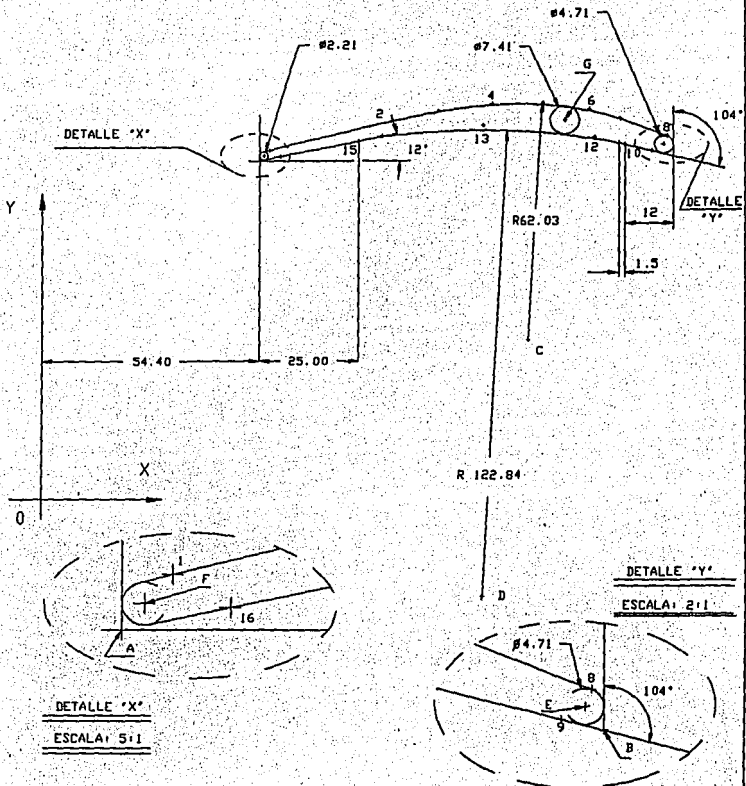


DETALLE 'X'  
ESCALA: 5:1



DETALLE 'Y'  
ESCALA: 2:1

Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
6	1	Sección E-E'	ASI S 17400 (17-4 PH)	Dibujo 4.1
		FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILAN		U.N.A.M.
		INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS		I.I.E.
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 07/02/94
Firma:		SECCION E-E' DE ALABE L-0 PARA TURBINA DE VAPOR DE 300 MW		
Revisó: M. C. Mazur				
Firma:		ANTES DEL PROCESO DE REPARACION.		No. Dibujo: 4.6



Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
7	1	Sección F-F'	AISI S 17400 (17-4 PH)	Dibujo 4.1
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN U.N.A.M.				
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS I.I.E.				
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 07/02/94
Firma:		SECCION F-F' DE ALABE L-0		
Revisó: M. C. Mazur		PARA TURBINA DE VAPOR DE 300 MW		
Firma:		ANTES DEL PROCESO DE REPARACION.		
				No. Dibujo: 4.7

Las coordenadas de los puntos de las secciones A-A', B-B', C-C', D-D', E-E' y F-F' medidos después del proceso de reparación se presentan en las tablas 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 y 4.12, respectivamente.

Los perfiles de las secciones A-A', B-B', C-C', D-D', E-E' y F-F' medidos después del proceso de reparación, se presentan en los dibujos 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13, respectivamente.

El diseño de los escantillones para la cara de presión (lado cóncavo del perfil) correspondientes a las secciones A-A', B-B', C-C', D-D', E-E' y F-F', los presento en los dibujos 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 y 4.19, respectivamente.

El dibujo 4.20 muestra el diseño del escantillón para el filo de entrada en la sección A-A'; y el dibujo 4.21 muestra el diseño del escantillón para el filo de entrada en la sección F-F'.

Unicamente se presentan los escantillones para el filo de entrada en las secciones A-A' y F-F', como apoyo para los seis escantillones de la cara de presión, en la determinación de la geometría del perfil; se eligieron dichas secciones por su localización en los extremos.

**TABLA 4.7 COORDENADAS DE LOS PUNTOS EN LA SECCION A-A'  
MEDIDOS DESPUES DEL PROCESO DE REPARACION.**

PUNTO	X	Y		PUNTO	X	Y
1	64.17	81.15		17	141.08	95.97
2	68.79	82.99		18	139.95	96.10
3	74.17	84.60		19	136.09	96.03
4	79.39	86.07		20	131.45	95.49
5	90.23	89.34		21	124.38	94.13
6	99.67	92.27		22	113.66	91.91
7	106.14	94.18		23	104.38	89.88
8	117.63	97.43		24	90.95	86.67
9	127.21	99.67		25	77.64	83.50
10	135.16	100.99		A	63.63	79.17
11	138.81	101.14		B	154.58	94.48
12	143.25	100.98		C	140.31	27.85
13	149.94	100.10		D	137.47	51.76
14	148.10	95.20		E	152.17	97.14
15	143.99	95.66		F	64.48	80.36
16	142.58	95.81		G	140.05	98.59

**TABLA 4.8 COORDENADAS DE LOS PUNTOS EN LA SECCION B-B'  
MEDIDOS DESPUES DEL PROCESO DE REPARACION.**

PUNTO	X	Y		PUNTO	X	Y
1	64.22	82.28		20	149.59	94.23
2	73.67	85.56		21	145.34	94.77
3	81.60	87.79		22	142.46	95.18
4	94.34	91.60		23	140.08	95.22
5	102.17	93.92		24	136.34	95.29
6	107.86	95.52		25	132.53	94.95
7	114.91	97.41		26	130.40	94.53
8	120.70	98.87		27	123.15	93.38
9	125.50	99.94		28	112.14	91.34
10	127.80	100.38		29	90.64	86.60
11	130.82	100.89		30	69.68	81.57
12	135.34	101.40		31	65.27	80.66
13	139.11	101.48		A	63.63	80.25
14	142.19	101.30		B	156.08	93.26
15	145.92	100.91		C	138.32	27.82
16	148.66	100.51		D	138.96	28.24
17	150.99	100.03		E	153.43	96.33
18	153.51	99.27		F	64.54	81.42
19	150.79	94.05		G	139.05	98.36

**TABLA 4.9 COORDENADAS DE LOS PUNTOS EN LA SECCION C-C'.  
MEDIDOS DESPUES DEL PROCESO DE REPARACION.**

PUNTO	X	Y		PUNTO	X	Y
1	62.59	84.01		22	144.20	94.45
2	65.19	84.89		23	142.32	94.78
3	71.30	86.66		24	139.88	95.16
4	78.07	88.62		25	135.73	95.74
5	85.27	90.74		26	133.42	95.58
6	93.81	93.19		27	130.77	95.52
7	100.91	95.10		28	119.45	94.08
8	107.99	96.90		29	108.06	92.48
9	113.88	98.27		30	95.47	90.16
10	120.85	99.61		31	82.16	87.20
11	125.93	100.38		32	73.89	85.06
12	131.95	100.90		33	65.67	82.99
13	135.61	100.90		34	62.12	82.18
14	137.88	100.78		A	61.21	81.96
15	141.12	100.51		B	154.95	92.47
16	143.56	100.17		C	133.66	41.07
17	146.66	99.64		D	135.14	57.39
18	148.87	99.15		E	152.47	95.42
19	152.30	98.15		F	61.95	82.90
20	149.94	93.33		G	137.52	98.18
21	147.36	93.77				

**TABLA 4.10 COORDENADAS DE LOS PUNTOS EN LA SECCION D-D'.  
MEDIDOS DESPUES DEL PROCESO DE REPARACION.**

PUNTO	X	Y		PUNTO	X	Y
1	60.65	85.51		22	144.35	92.75
2	61.94	85.98		23	141.67	93.56
3	67.04	87.43		24	139.39	93.96
4	77.61	90.20		25	136.53	94.38
5	80.53	91.00		26	132.31	94.48
6	99.57	96.08		27	127.17	94.37
7	110.26	98.40		28	122.43	94.18
8	114.73	99.17		29	115.32	93.64
9	118.82	99.73		30	106.33	92.63
10	123.79	100.24		31	100.07	91.78
11	127.04	100.46		32	86.79	89.43
12	131.19	100.57		33	77.53	87.68
13	135.09	100.42		34	69.37	85.97
14	137.15	100.24		35	62.59	84.24
15	141.06	99.58		A	59.58	83.55
16	144.59	98.69		B	154.90	90.29
17	147.56	97.82		C	128.59	32.64
18	149.87	97.09		D	130.17	43.98
19	152.50	96.05		E	152.54	93.26
20	149.81	91.60		F	60.35	84.53
21	147.25	91.88		G	136.73	97.41



**TABLA 4.11 COORDENADAS DE LOS PUNTOS EN LA SECCION E-E'.  
MEDIDOS DESPUES DEL PROCESO DE REPARACION.**

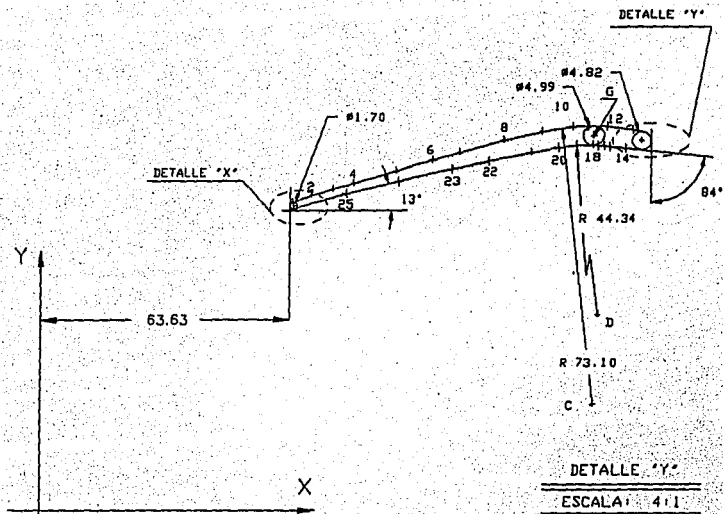
PUNTO	X	Y		PUNTO	X	Y
1	58.24	87.75		22	143.52	91.82
2	59.77	88.27		23	140.95	92.47
3	64.54	89.56		24	137.40	93.22
4	70.49	90.89		25	135.46	93.45
5	80.68	93.06		26	131.05	94.01
6	91.09	95.45		27	125.03	94.23
7	99.05	97.27		28	111.91	94.04
8	107.27	98.84		29	102.37	93.00
9	113.40	99.74		30	93.35	92.04
10	120.17	100.43		31	83.86	90.36
11	126.32	100.73		32	74.02	88.76
12	129.48	100.59		33	66.08	87.20
13	132.33	100.32		34	60.65	86.10
14	137.23	99.53		A	57.04	85.68
15	141.09	98.57		B	155.17	88.08
16	145.18	97.32		C	124.72	38.49
17	148.34	96.26		D	125.43	25.13
18	149.86	95.69		E	152.82	91.27
19	151.87	94.80		F	57.90	86.66
20	149.77	89.75		G	131.93	97.13
21	146.61	90.90				

**TABLA 4.12 COORDENADAS DE LOS PUNTOS EN LA SECCION F-F'.  
MEDIDOS DESPUES DEL PROCESO DE REPARACION.**

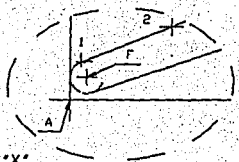
PUNTO	X	Y		PUNTO	X	Y
1	58.02	91.84		21	146.63	87.80
2	65.88	93.84		22	144.16	88.48
3	75.88	96.02		23	141.39	89.15
4	91.61	99.13		24	135.46	91.02
5	96.26	99.95		25	128.98	92.43
6	107.25	101.37		26	125.40	93.05
7	113.43	101.73		27	119.52	94.00
8	117.63	101.73		28	111.20	94.60
9	121.08	101.61		29	99.53	94.57
10	124.39	101.38		30	81.64	93.04
11	128.00	100.96		31	72.97	91.80
12	131.07	100.42		32	64.43	90.37
13	139.09	98.21		33	59.11	89.32
14	142.14	97.05		A	54.40	88.51
15	145.03	95.78		B	155.85	84.91
16	147.81	94.46		C	118.71	39.95
17	149.83	93.44		D	105.13	-26.61
18	152.83	91.64		E	153.51	88.07
19	153.95	90.82		F	55.50	89.81
20	148.88	87.03		G	136.81	94.78

**TESIS SIN PAGINACION**

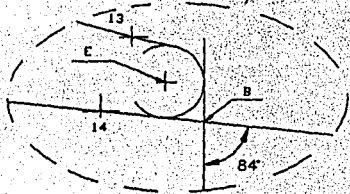
**COMPLETA LA INFORMACION**



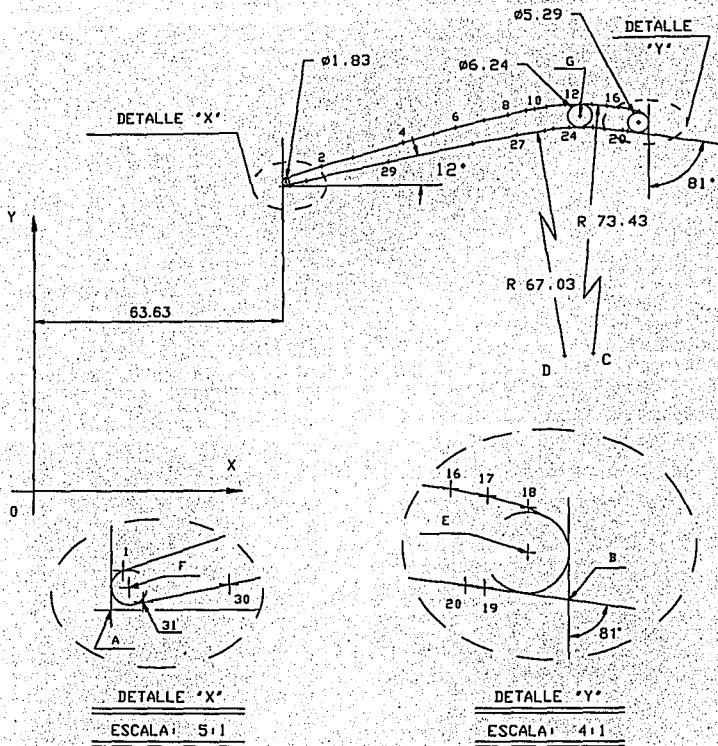
DETALLE 'Y'  
 ESCALA: 4:1



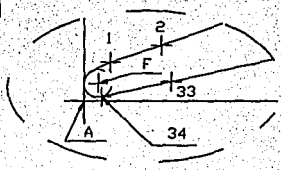
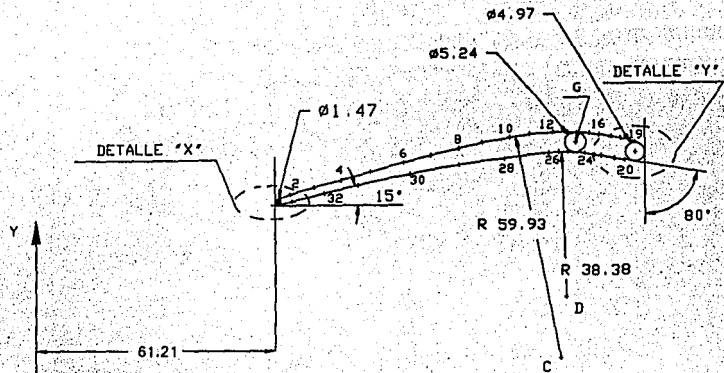
DETALLE 'X'  
 ESCALA: 5:1



8	1	Sección A-A'	AISI S 17400 (17-4 PH)	Dibujo 4:1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 05/03/94
Firma:		SECCION A-A' DE ALABE L-0		
Revisó: M. C. Mazur		PARA TURBINA DE VAPOR DE 300 MW		
Firma:		DESPUES DEL PROC. DE REPARACION.		
				No. Dibujo: 4.8

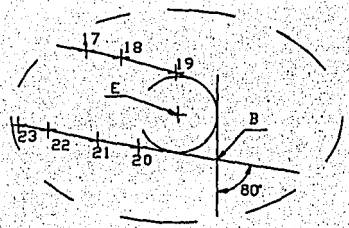


9	1	Sección B-B'	AISI S 17400 (17-4 PH)	Dibujo 4:1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios	Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 05/03/94	
Firma:	SECCION B-B' DE ALABE L-O PARA TURBINA DE VAPOR DE 300 MW			
Revisó: M. C. Mazur	DESPUES DEL PROC. DE REPARACION			
Firma:				No. Dibujo: 4.9



DETALLE 'X'

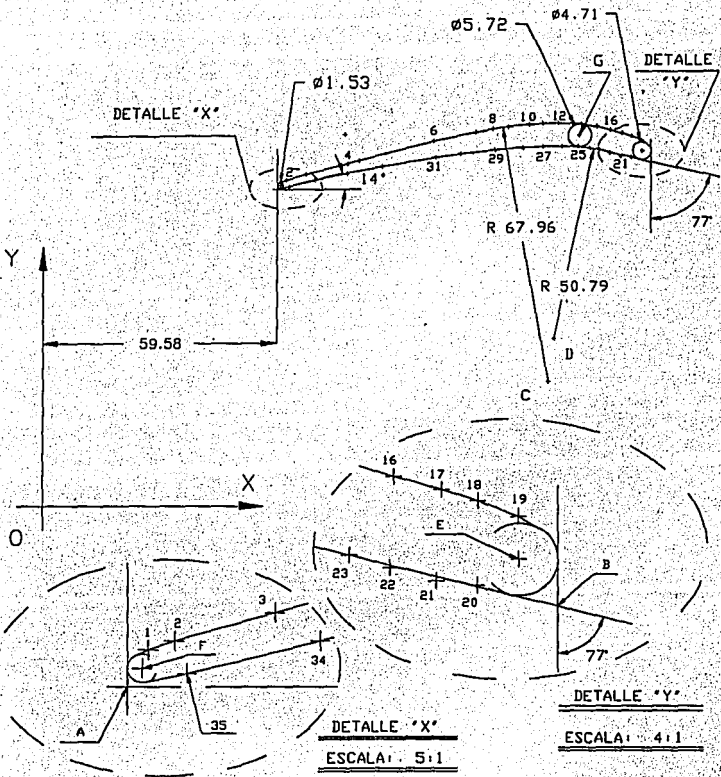
ESCALA: 5:1



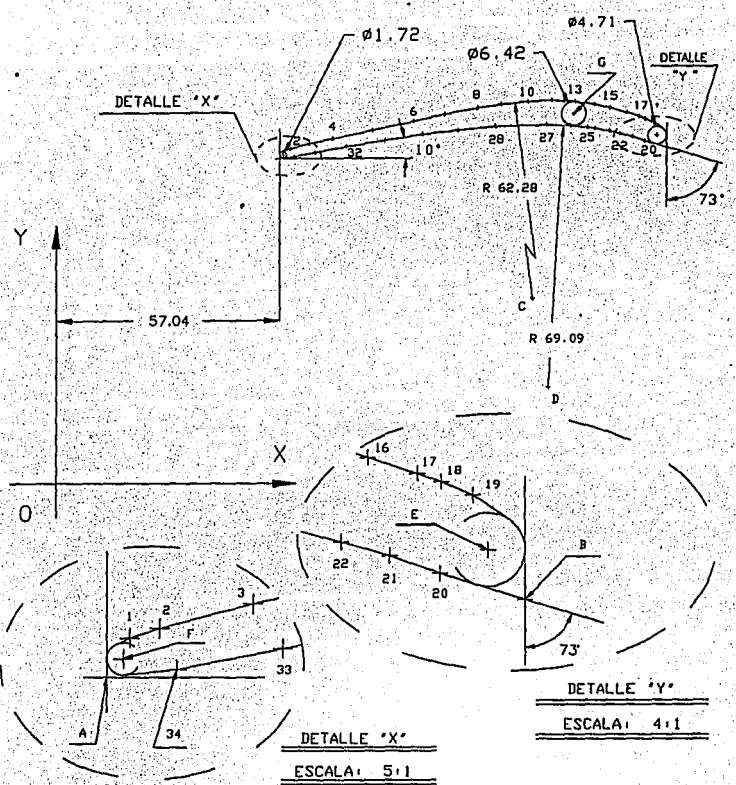
DETALLE 'Y'

ESCALA: 4:1

10	1	Sección C-C'	AIISI S 17400 (17-4 PH)	Dibujo 4.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN			U.N.A.M.	
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS			I.I.E.	
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 05/03/94
Firma:		SECCION C-C' DE ALABE L-0		
Revisó: M. C. Mazur		PARA TURBINA DE VAPOR DE 300 MW		
Firma:		DESPUES DEL PROC. DE REPARACION.		
				No. Dibujo: 4.10

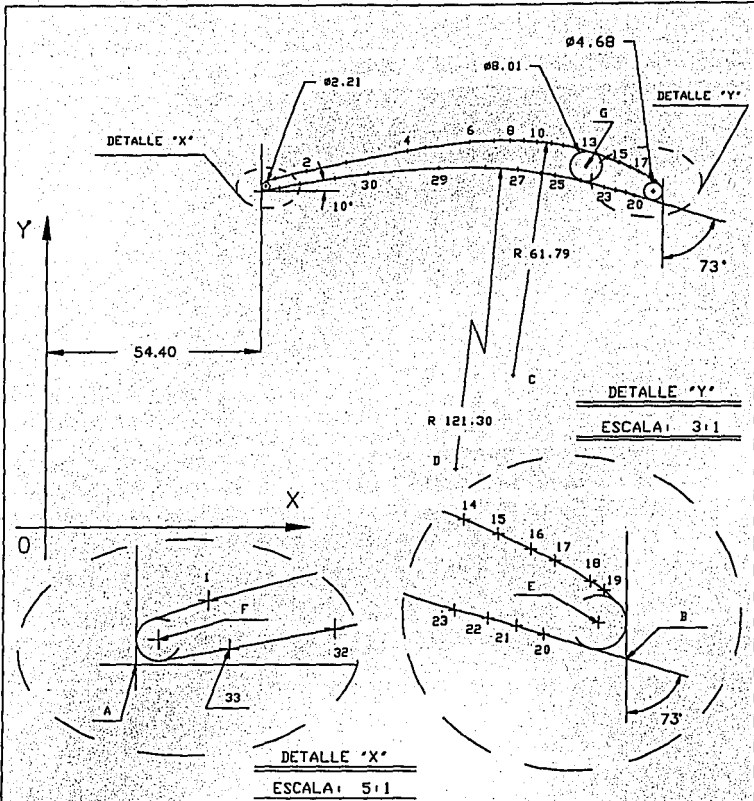


11	1	Sección D-D'	ASI S 17400 (17-4 PH)	Dibujo 4.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 05/03/94
Firma:		SECCION D-D' DE ALABE L-0		
Revisó: M. C. Mazur		PARA TURBINA DE VAPOR DE 300 MW		
Firma:		DESPUES DEL PROC. DE REPARACION.		No. Dibujo: 4.11

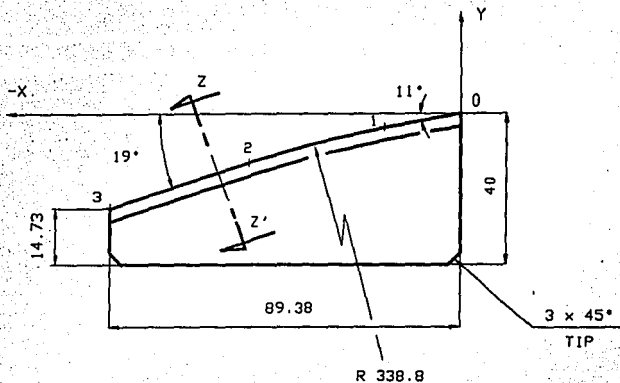


12	1	Sección E-E'	AISI S 17400 (17-4 PH)	Dibujo 4.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 05/03/94
Firma:		SECCION E-E' DE ALABE L-D		
Revisó: M. C. Mazur		PARA TURBINA DE VAPOR DE 300 MW		
Firma:		DESPUES DEL PROC. DE REPARACION.		
				No. Dibujo: 4.12





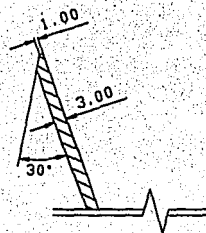
13	1	Sección F-F'	AlSi S 17400 (17-4 PH)	Dibujo 4.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios	Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 05/03/94	
Firma:	SECCION F-F' DE ALABE L-0			
Revisó: M. C. Mazur	PARA TURBINA DE VAPOR DE 300 MW			
Firma:	DESPUES DEL PROC. DE REPARACION			
				No. Dibujo: 4.13



PUNTO	X	Y
1	-19.00	-3.70
2	-53.91	-13.06
3	-89.38	-25.04
4	50.85	-334.58

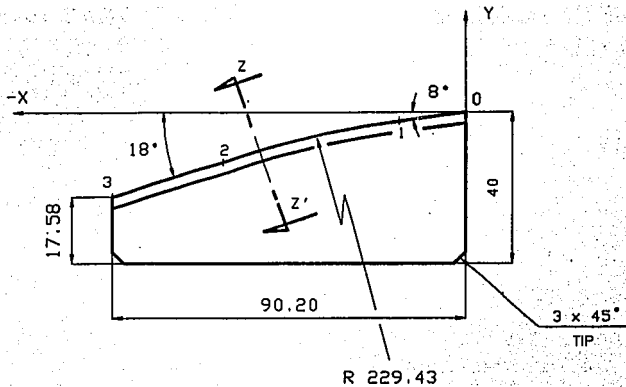
NOTAS:

- TEMPLAR Y REVENIR A 50 DRC
- TOLERANCIAS DEL PERFIL 0.05 mm



SECCION Z-Z'

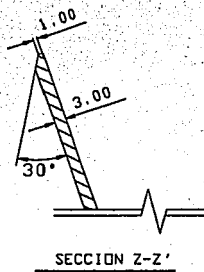
14	1	Escantillón	AISI 1055	Dibujo 4.2
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 24/03/94
Firma:		ESCANTILLON PARA EL PERFIL DE LA CARA DE PRESION DEL ALABE L-0 EN LA SECCION A-A'.		
Revisó: M. C. Mazur				
Firma:				No. Dibujo: 4:14



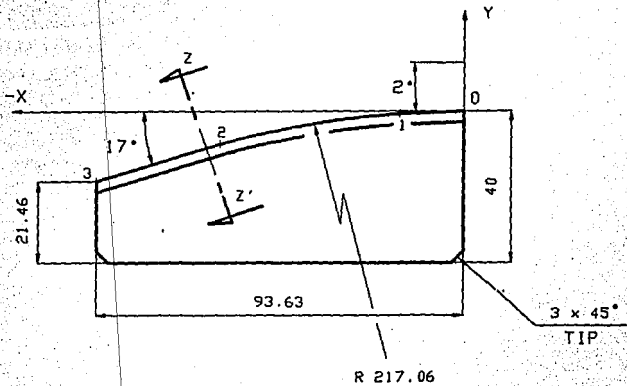
PUNTO	X	Y
1	-16.95	-2.38
2	-61.95	-13.32
3	-90.20	-22.42
4	31.03	-297.95

NOTAS:

- TEMPLAR Y REVENTIR A 50 DRC
- TOLERANCIAS DEL PERFIL 0.05 mm



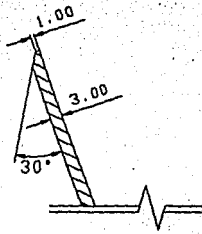
15	1	Escantillón	AISI 1055	Dibujo 4.3
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseñó: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 24/03/94
Firma:		ESCANTILLON PARA EL PERFIL DE LA CARA DE PRESION DEL ALABE L-0 EN LA SECCION B-B'.		
Revisó: M. C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 4.15



PUNTO	X	Y
1	-16.70	-0.70
2	-61.88	-8.70
3	-93.63	-18.54
4	-1.84	-217.28

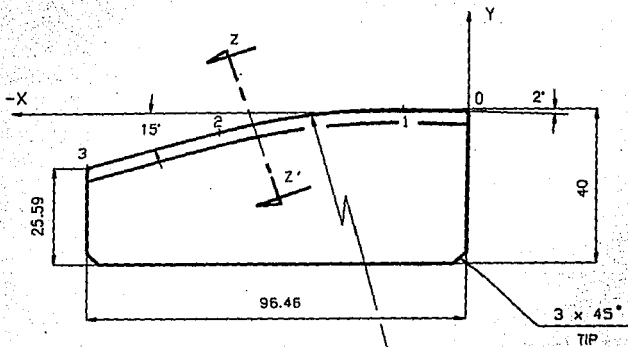
NOTAS:

- TEMPLAR Y REVENIR A 50 DRC
- TOLERANCIAS DEL PERFIL 0.05 mm



SECCION Z-Z'

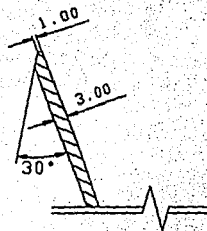
16	1	Escantillón	AISI 1055	Dibujo 4.4
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseñó: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 24/03/94
Firma:		ESCANTILLON PARA EL PERFIL DE LA CARA DE PRESION DEL ALABE L-0 EN LA SECCION C-C'.		
Revisó: M. C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 4.16



PUNTO	X	Y
1	-16.05	0.59
2	-62.54	-5.13
3	-96.46	-14.41
4	-18.73	-169.34

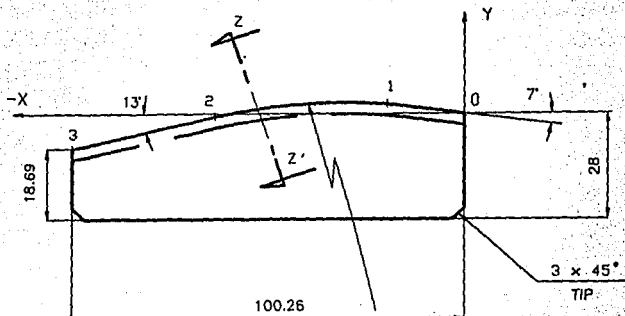
NOTAS:

- TEMPLAR Y REVENIR  
A 50 DRC.
- TOLERANCIAS DEL  
PERFIL 0.05 mm



SECCION Z-Z'

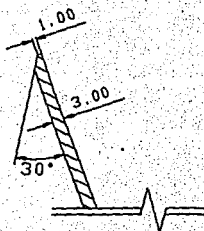
17	1	Escantillón	AISI 1055	Dibujo 4.5
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 24/03/94
Firma:		ESCANTILLON PARA EL PERFIL DE LA CARA DE PRESION DEL ALABE L-O EN LA SECCION D-D'.		
Revisó: M. C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 4.17



PUNTO	X	Y
1	-19.66	2.52
2	-63.76	-0.87
3	-100.26	-9.31
4	-30.16	-149.44

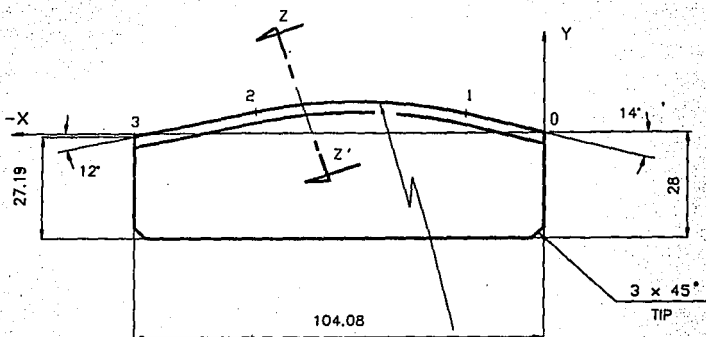
NOTAS:

- TEMPLAR Y REVENIR  
A 50 DRC
- TOLERANCIAS DEL  
PERFIL 0.05 mm



SECCION Z-Z'

18	1	Escantillón	AISI 1055	Dibujo 4.6
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN		U.N.A.M.		
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS		I.I.E.		
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 24/03/94
Firma:		ESCANTILLON PARA EL PERFIL DE LA CARA DE PRESION DEL ALABE L-0 EN LA SECCION E-E.		
Revisó: M. C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 4.18

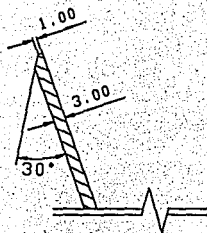


PUNTO	X	Y
1	-19.70	5.07
2	-73.35	5.63
3	-104.08	-0.81
4	-47.80	-114.52

NOTAS:

- TEMPLAR Y REVENIR  
A 50 DRC
- TOLERANCIAS DEL  
PERFIL 0.05 mm

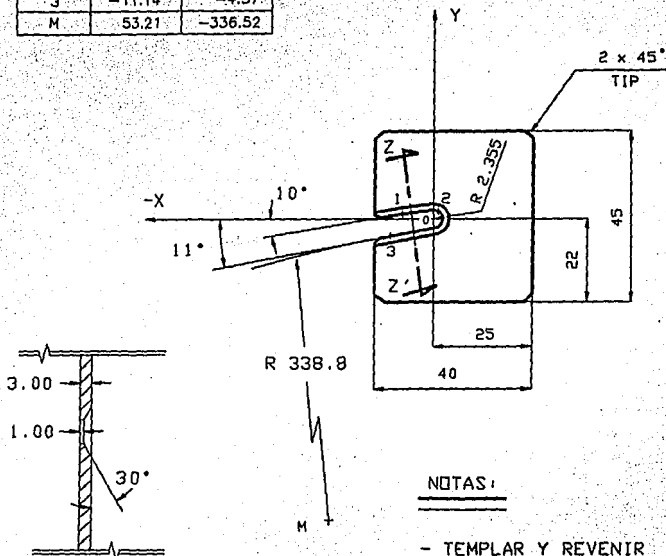
R 122.84



SECCION Z-Z'

19	1	Escantillón	AISI 1055	Dibujo 4.7
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILAN U.N.A.M.				
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS I.I.E.				
Diseño: D. Palacios		Escal: 1:1	Acot: mm	Fecha: 24/03/94
Firma:		ESCANTILLON PARA EL PERFIL DE LA CARA DE PRESION DEL ALABE L-0 EN LA SECCION F-F'.		
Revisó: M. C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 4.19

PUNTO	X	Y
1	-8.12	1.34
2	1.15	2.05
3	-11.14	-4.57
M	53.21	-336.52



SECCION Z-Z'

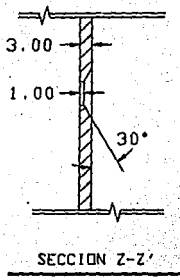
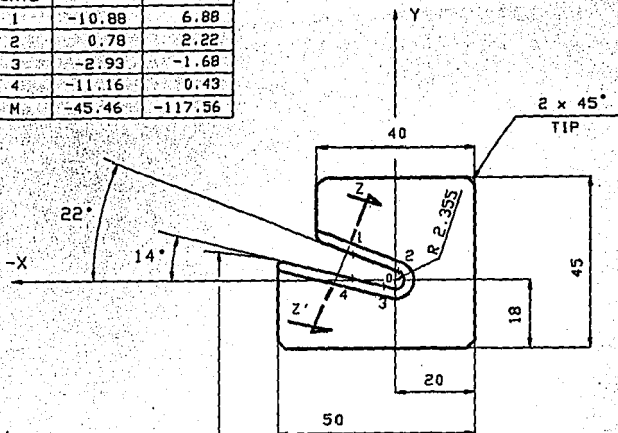
NOTAS:

- TEMPLAR Y REVENIR A 50 DRC
- TOLERANCIAS DEL PERFIL 0.05 mm

20	1	Escantillón	AISI 1055	Dibujo 4.2
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 24/03/94
Firma:		ESCANTILLON PARA EL PERFIL DEL FILO DE ENTRADA DE ALABE L-0 EN LA SECCION A-A'.		
Revisó: M. C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 4.20



PUNTO	X	Y
1	-10.88	6.88
2	0.78	2.22
3	-2.93	-1.68
4	-11.16	0.43
M	-45.46	-117.56



R 122.84

NOTAS:

- TEMPLAR Y REVENIR A 50 DRC
- TOLERANCIAS DEL PERFIL 0.05 mm

4.21	1	Escantillón	AISI 1055	Dibujo 4.7
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN U.N.A.M.				
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS I.I.E.				
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 24/03/94
Firma:		ESCANTILLON PARA EL PERFIL DEL FILO DE ENTRADA DE ALABE L-0		
Revisó: M. C. Mazur		EN LA SECCION F-F'		
Firma:		No. Dibujo: 4.21		

## CAPITULO V

### PROCESO DE REPARACION POR SOLDADURA DEL ALABE MOVIL L-0 DE TURBINA DE VAPOR DE 300 MW.

Después de concluido el proceso de medición de los perfiles del álabe L-0, se prosigue con el proceso de reparación por soldadura del filo de entrada.

El Proceso de Reparación por Soldadura, consiste en modificar la protección contra erosión; se sustituye el Injerto de Estelita Tipo "J", que abarca una parte del filo de entrada del álabe en el lado convexo (protección original), por un Injerto de Estelita Tipo Nariz Sólida, que se solda y abarca todo el filo de entrada del álabe.

Con el proceso de reparación por soldadura se logran recuperar los álabes gastados por erosión mediante la sustitución del material deteriorado, a la vez que se minimizan las fallas en el futuro. La rehabilitación de los álabes L-0 por éste procedimiento representa de un 25% a un 30% el costo de un álabe nuevo.

#### 5.1 PROCESO DE REPARACION.

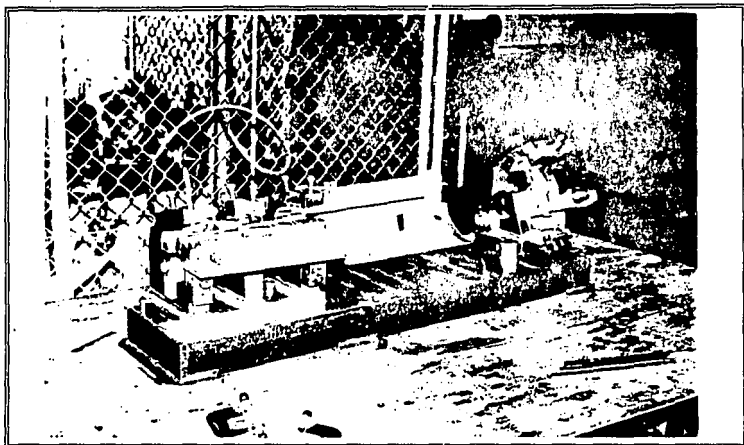
El proceso de reparación consiste en:

- Limpieza del Alabe.
- Medición de Frecuencias Naturales.
- Remoción del Injerto de Estelita Tipo "J".
- Maquinado del Filo de Entrada del Alabe.
- Maquinado del Injerto de Estelita Tipo Nariz Sólida.
- Soldadura del Injerto de Estelita Tipo Nariz Sólida con el Alabe.
- Enderezado de la Paleta (en caso de ser necesario).
- Tratamiento Térmico.
- Maquinado Final del Alabe.
- Pruebas No Destructivas.
- Medición de Nuevas Frecuencia Naturales.

Para el proceso de maquinado del filo de entrada del álabe se requiere utilizar un dispositivo de fijación, el cuál asegura el álabe por la raíz y por el extremo superior de la paleta.

Este dispositivo es el que se utilizó para fijar el álabe durante el proceso de medición de los perfiles (Capítulo IV); se utiliza también en los Procesos de Soldadura del Injerto de Estelita Tipo Nariz Sólida con el Alabe y Tratamiento Térmico. Con éste dispositivo se puede pretorcer el álabe, para compensar la deformación que sufre la paleta durante el proceso de soldadura.

La fotografía 5.1 ilustra el Dispositivo de Fijación.



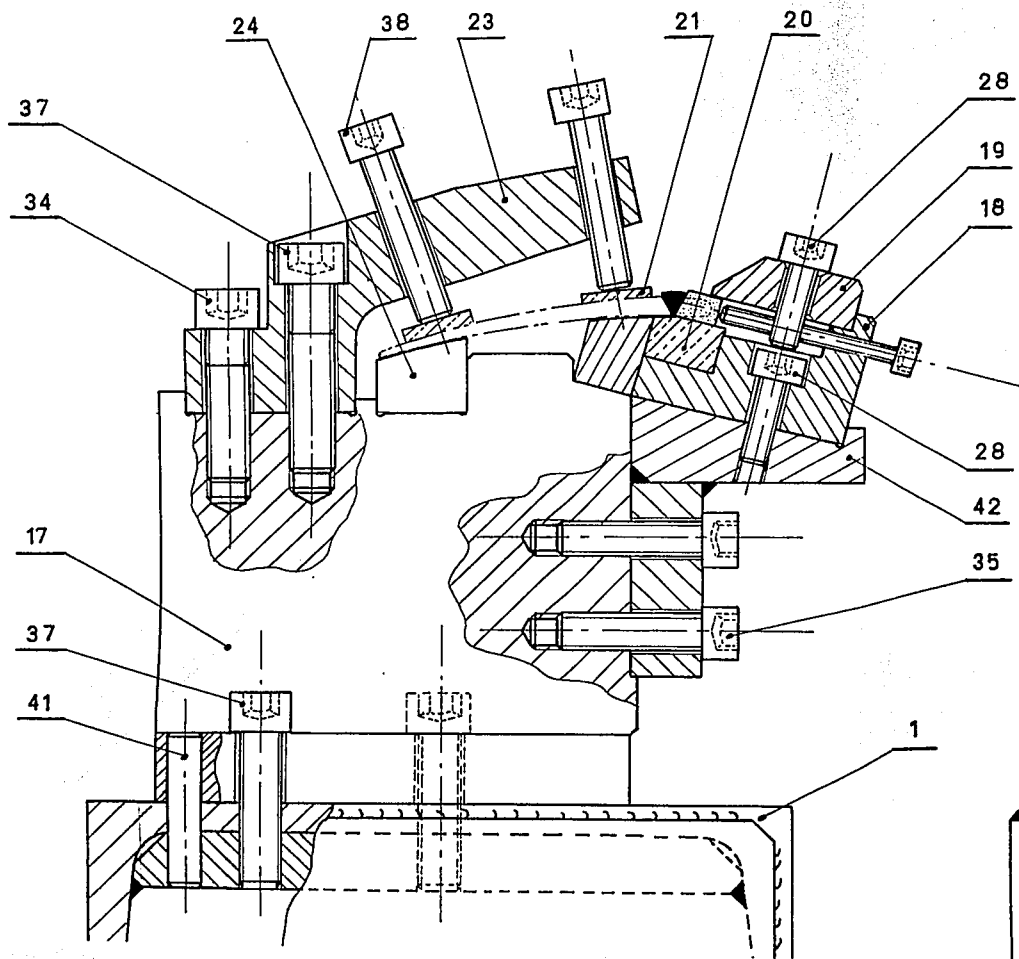
Fotografía 5.1. Dispositivo de Fijación.

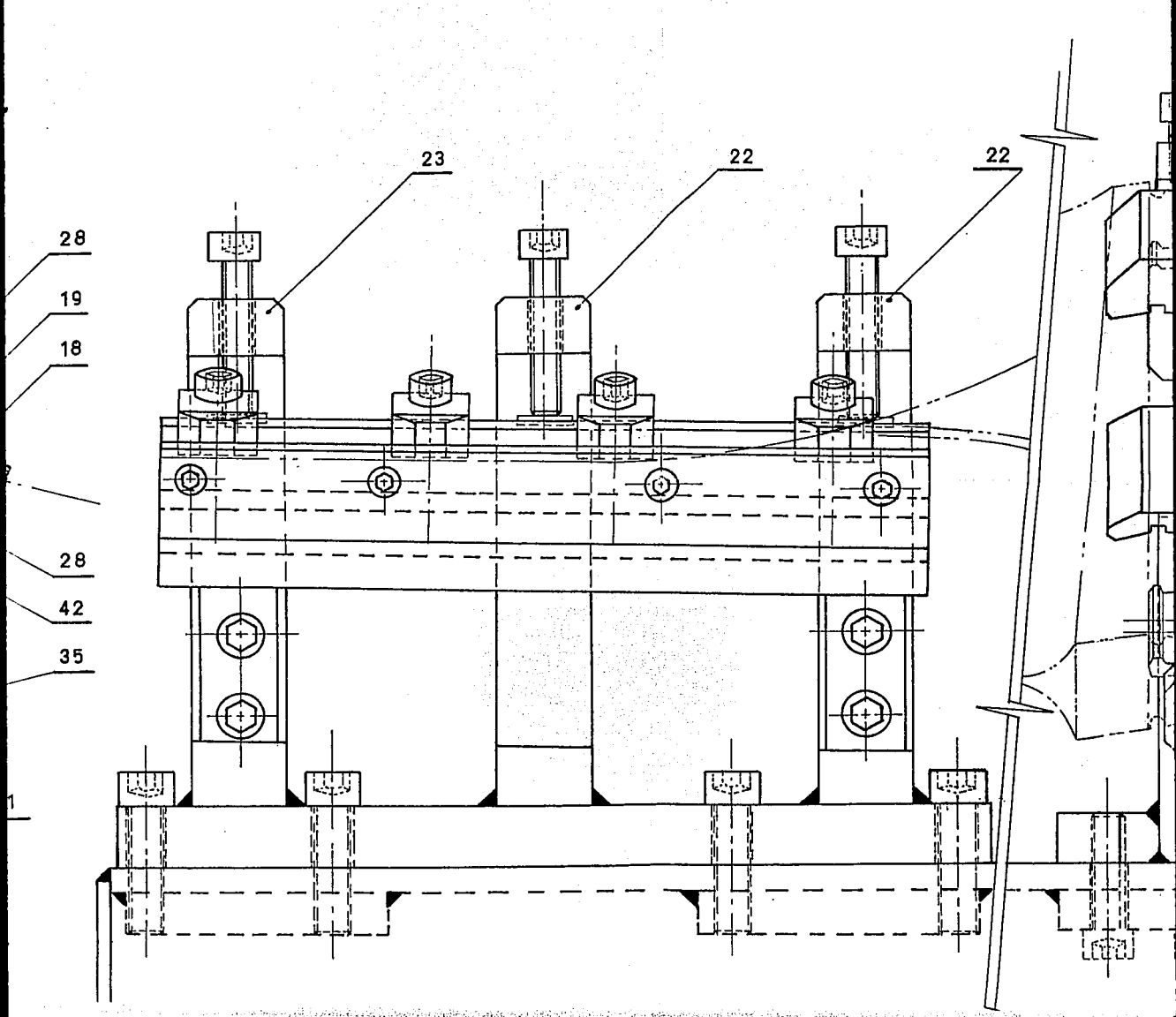
## 5.2 DISPOSITIVO DE FIJACION.

El dispositivo de fijación se presenta en el dibujo 5.1; en la vista lateral derecha se muestra el modo en que se sujeta la raíz del álabe y el tensor para pretorcer la paleta; en la vista lateral izquierda se muestra la sujeción del extremo superior de la paleta y del injerto de estelita tipo nariz sólida. En la sección X-X' se muestra el mandril ó perno eje para pretorcer el álabe; y en la sección Y-Y' se muestra la sujeción de la raíz del álabe.

El despiece del dispositivo se presenta en el APENDICE A, en los dibujos 5.1.1 al 5.1.27.

VISTA LATERAL IZQUIERDA





28

19

18

28

42

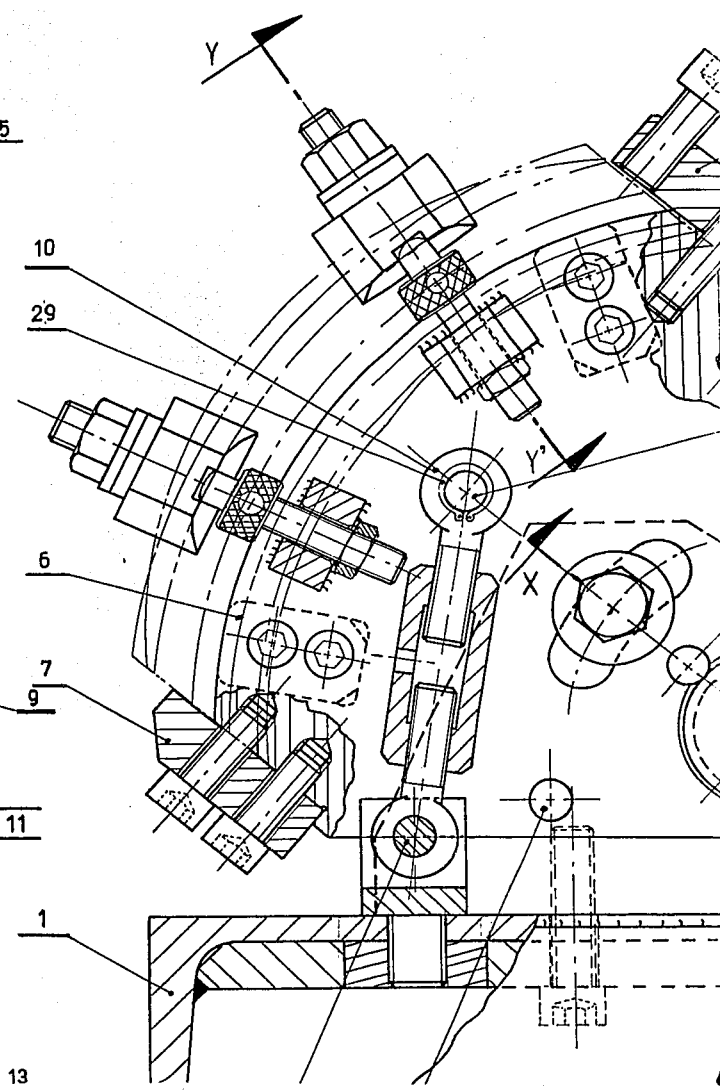
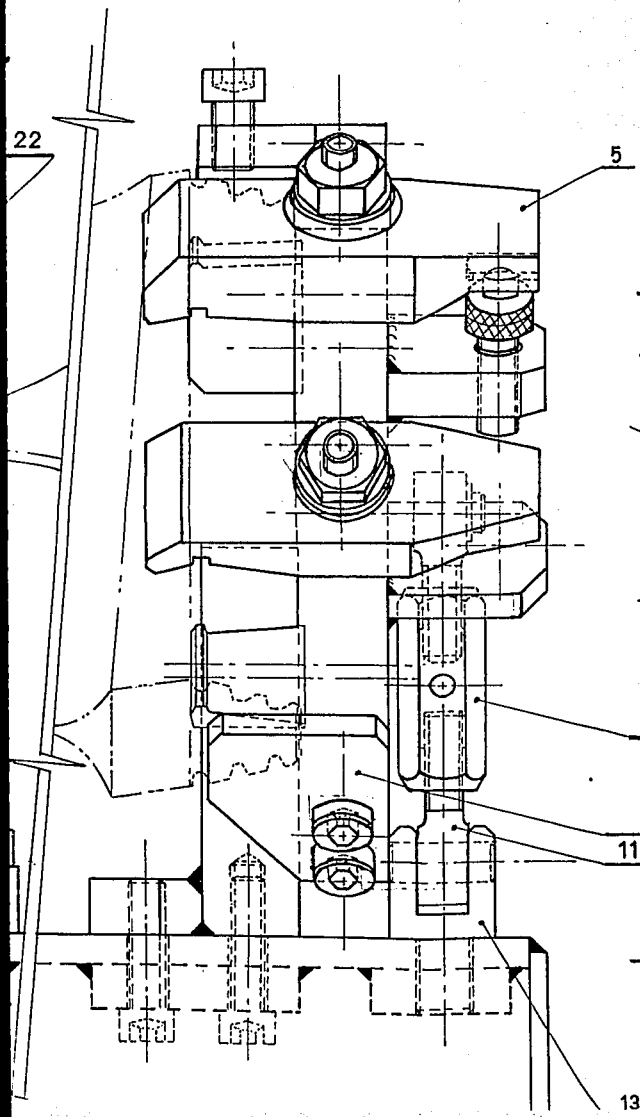
35

23

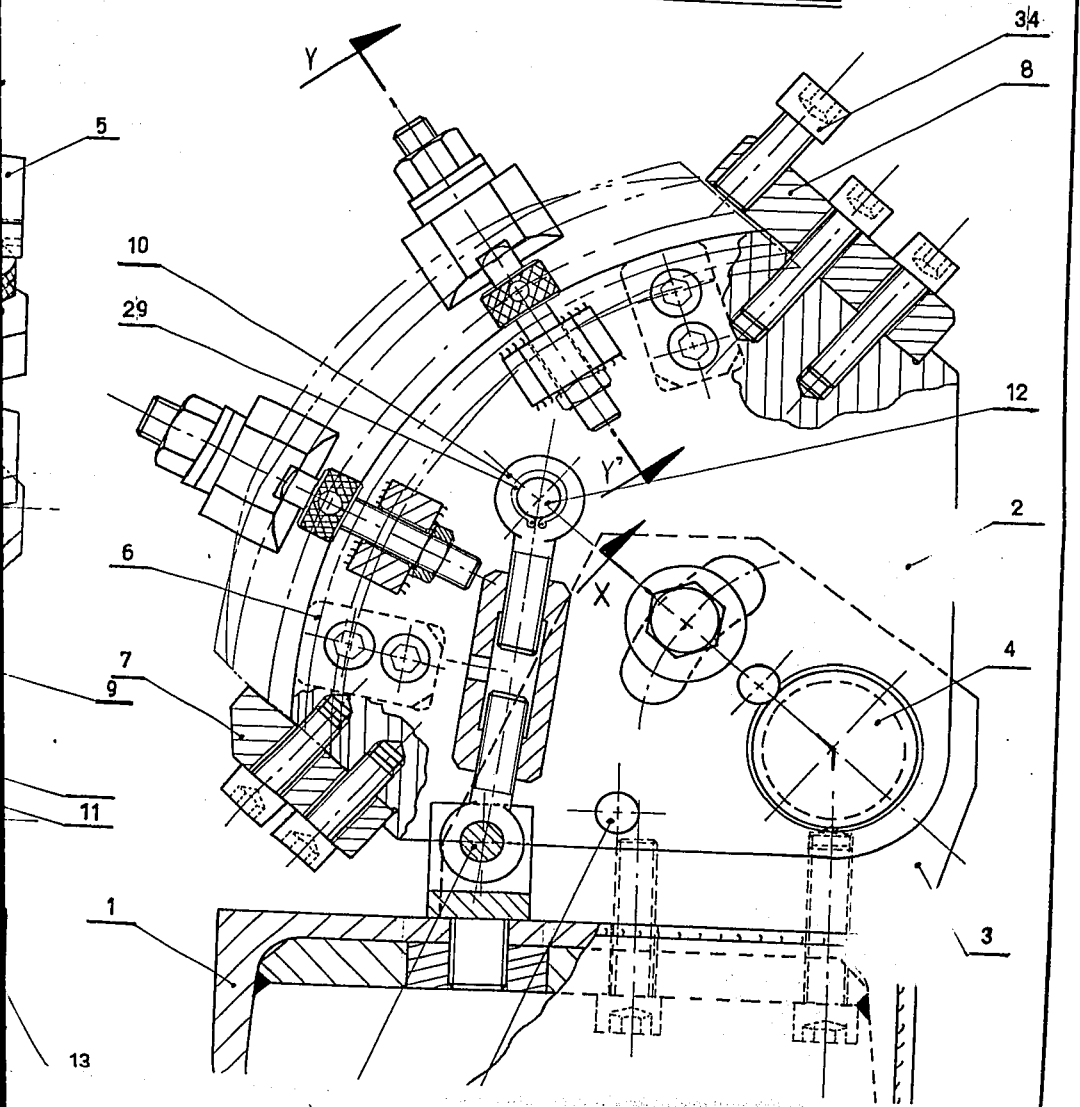
22

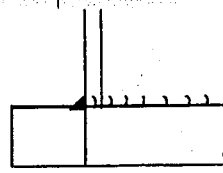
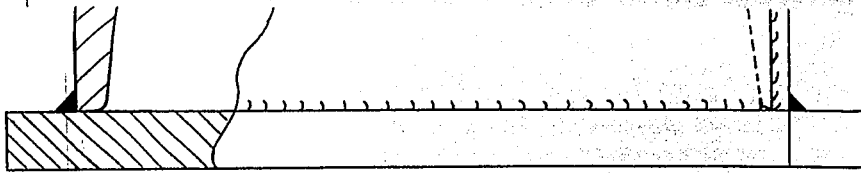
22

28

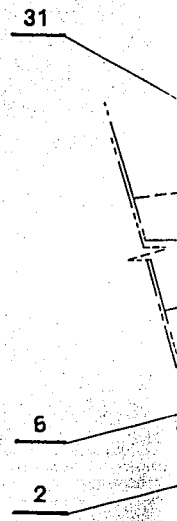
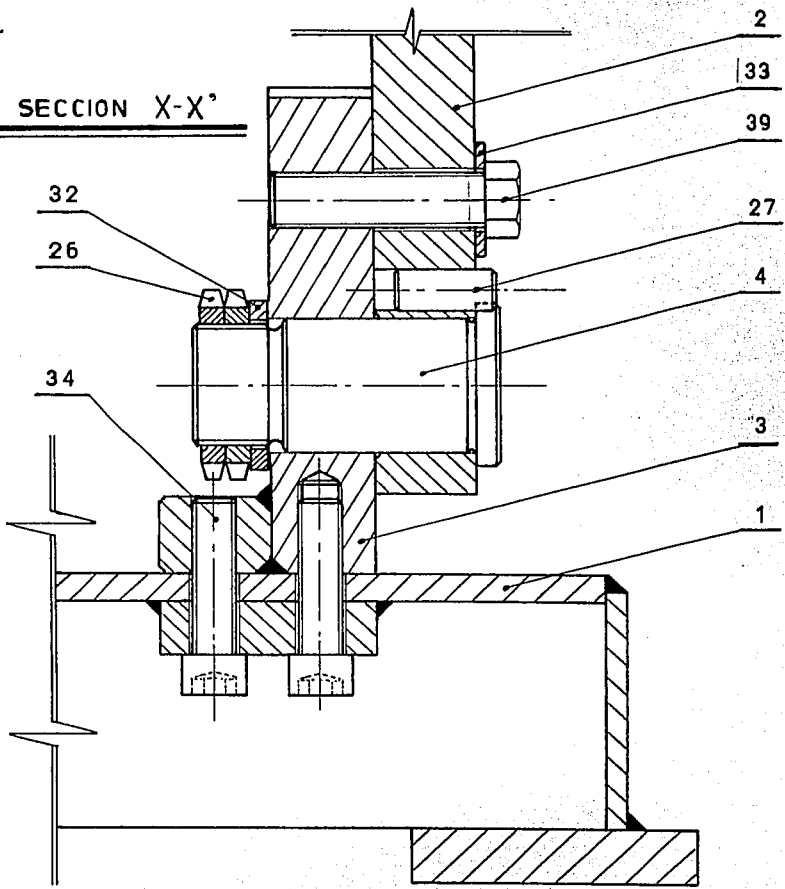


VISTA LATERAL DERECHA

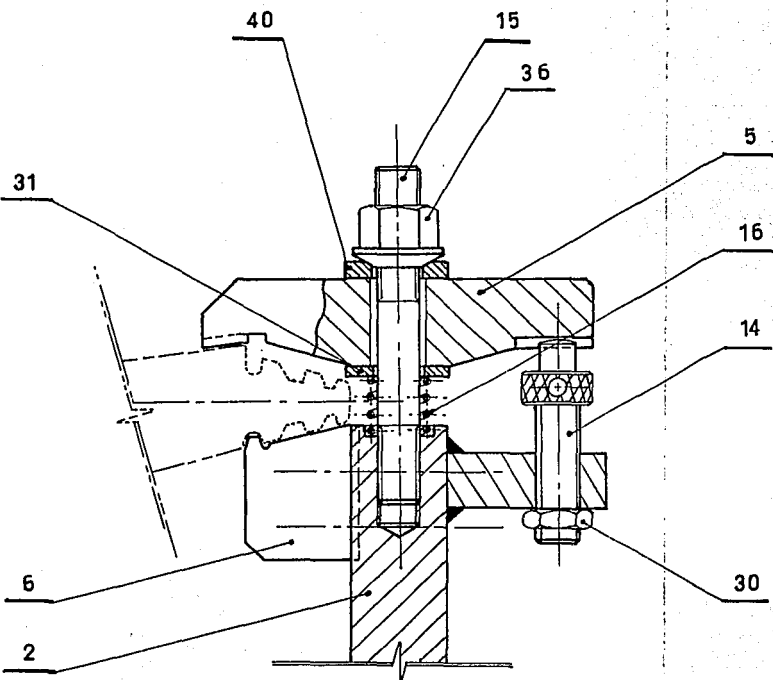




SECCION X-X'

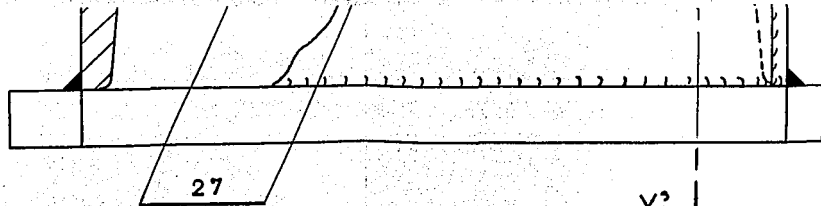
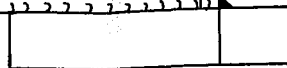






SECCION Y-Y'

42	1	BASE PARA SOPORTE GUM
41	2	PASADOR $\phi 10 \times 45$
40	2	ARANDELA ESFERICA $\phi 10$
39	1	TORNILLO M16 x 5
38	7	TORNILLO M10 x 5
37	3	TORNILLO M12 x 5
36	2	TUERCA ESFERICA M12
35	10	TORNILLO M10 x 3
34	11	TORNILLO M12 x 4
33	1	ARANDELA $\phi 18 \times 3$
32	1	ARANDELA $\phi 38 \times 3$
31	2	ARANDELA $\phi 13 \times 3$
30	2	TUERCA M12
29	1	ANILLO DE RETENCION $\phi 12 \times 1$
28	14	TORNILLO M8 x 4
27	3	PASADOR $\phi 12 \times 3$
26	2	TUERCA
25	1	BASE FRENTE DE PALET
24	1	ALMOHADILLA DE SALIC
23	1	BRAZO IZQUIERD
22	2	BRAZO CENTRAL DERECHO
Número	Cantidad	Descripción



SOPORTE GUIA	AISI - 1038	DIBUJO 5.1.27
OR $\phi 10 \times 45$	AISI - 1055	---
ESFERICA $\phi 14$	AISI 1045	DIBUJO 5.1.26
LO M16 x 55	AISI 1045	---
LO M10 x 50	AISI 1045	---
LO M12 x 55	AISI 1045	---
ESFERICA M12	AISI 1045	DIBUJO 5.1.25
LO M10 x 30	AISI 1045	---
LO M12 x 45	AISI 1045	---
ELA $\phi 18 \times 3$	AISI 1045	---
ELA $\phi 38 \times 5$	AISI 1045	---
ELA $\phi 13 \times 3$	AISI 1045	---
CA M12	AISI 1045	---
DE $\phi 12 \times 1$	X C 75	---
LO M8 x 40	AISI 1045	---
OR $\phi 12 \times 30$	AISI 1055	---
CA	AISI 1045	DIBUJO 5.1.24
ENTE DE PALETA	AISI 1045	DIBUJO 5.1.23
ILLA DE SALIDA	AISI 1045	DIBUJO 5.1.22
IZQUIERDO	AISI 1045	DIBUJO 5.1.21
CENTRAL DERECHO	AISI 1045	DIBUJO 5.1.20
cción	Material	Dibujo de Ref.

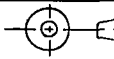
21	2	CINTA 2X15X250	COBRE	---
20	1	BARRA DE COBRE	COBRE	DIBUJO 5
19	4	BARRA SUJETADORA	AISI - 1045	DIBUJO 5
18	1	SOPORTE GUIA	AISI - 1045	DIBUJO 5
17	1	CUERPO PARA FIJAR LA PALETA	AISI - 1045	DIBUJO 5
16	2	RESORTE	AISI - 9262	DIBUJO 5
15	2	ESPARRAGO ROSCADO M12	AISI - 1045	DIBUJO 5
14	2	TORNILLO M12X60	AISI - 1045	DIBUJO 5
13	1	TORNILLO	AISI - 1045	DIBUJO 5
12	1	PERNO	AISI - 1045	DIBUJO 5
11	1	TORNILLO DE OJO (IZQ)	AISI - 1045	DIBUJO 5
10	1	TORNILLO DE OJO (DER)	AISI - 1045	DIBUJO 5
9	1	TUERCA	AISI - 1045	DIBUJO 5
8	1	PLACA BASE SUP.	AISI - 1045	DIBUJO 5
7	1	PLACA BASE INF	AISI - 1045	DIBUJO 5
6	2	DADO	AISI - 1045	DIBUJO 5
5	2	GARRA PARA RAIZ	AISI - 1045	DIBUJO 5
4	1	MANDRIL	AISI - 1045	DIBUJO 5
3	1	BASE DE DISCO	AISI - 1038	DIBUJO 5
2	1	DISCO	AISI - 1038	DIBUJO 5
1	1	MESA	AISI - 1015	DIBUJO 5
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de

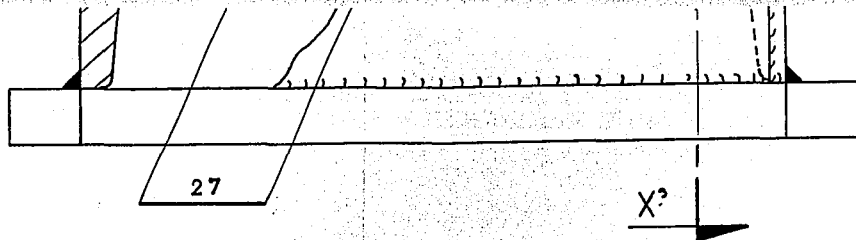
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN U.N.A.M.  
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS I.I.E.

Diseño: D. Palacios Esc: 1:1.25 Acol: mm. Fecha: 09/0

Firma:  
 Reviso: M.C. Mazur  
 Firma:

DISPOSITIVO PARA  
 FIJACION DE  
 ALABE L-O

No. Dibujo: 



DIBUJO 5.1.27
-----
DIBUJO 5.1.26
-----
-----
DIBUJO 5.1.25
-----
-----
-----
-----
-----
DIBUJO 5.1.24
DIBUJO 5.1.23
DIBUJO 5.1.22
DIBUJO 5.1.21
DIBUJO 5.1.20
Dibujo de Ref.

21	2	CINTA 2X15X250	COBRE	-----
20	1	BARRA DE COBRE	COBRE	DIBUJO 5.1.19
19	4	BARRA SUJETADORA	AISI - 1045	DIBUJO 5.1.18
18	1	SOPORTE GUIA	AISI - 1045	DIBUJO 5.1.17
17	1	CUERPO PARA FIJAR LA PALETA	AISI - 1045	DIBUJO 5.1.16
16	2	RESORTE	AISI - 9262	DIBUJO 5.1.15
15	2	ESPARRAGO ROSCADO M12	AISI - 1045	DIBUJO 5.1.14
14	2	TORNILLO M12X60	AISI - 1045	DIBUJO 5.1.13
13	1	TORNILLO	AISI - 1045	DIBUJO 5.1.12
12	1	PERNO	AISI - 1045	DIBUJO 5.1.11
11	1	TORNILLO DE OJO (IZQ)	AISI - 1045	DIBUJO 5.1.10
10	1	TORNILLO DE OJO (DER)	AISI - 1045	DIBUJO 5.1.10
9	1	TUERCA	AISI - 1045	DIBUJO 5.1.9
8	1	PLACA BASE SUP.	AISI - 1045	DIBUJO 5.1.8
7	1	PLACA BASE INF	AISI - 1045	DIBUJO 5.1.7
6	2	DADO	AISI - 1045	DIBUJO 5.1.6
5	2	GARRA PARA RAIZ	AISI - 1045	DIBUJO 5.1.5
4	1	MANDRIL	AISI - 1045	DIBUJO 5.1.4
3	1	BASE DE DISCO	AISI - 1038	DIBUJO 5.1.3
2	1	DISCO	AISI - 1038	DIBUJO 5.1.2
1	1	MESA	AISI - 1015	DIBUJO 5.1.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.

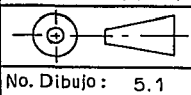
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN U.N.A.M.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS I.I.E.

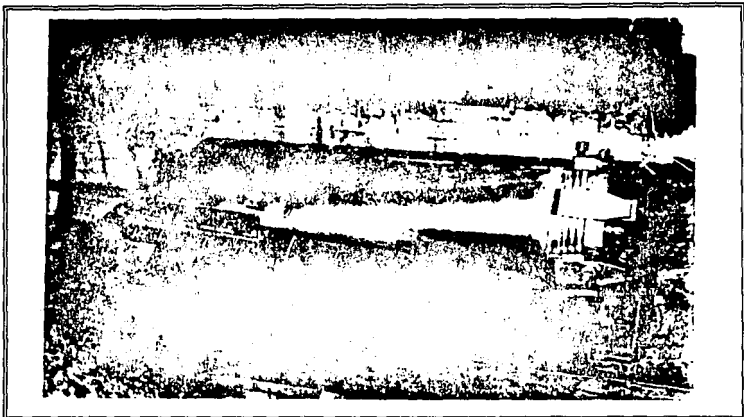
Diseño: D. Palacios      Esc: 1:1.25      Acot: mm.      Fecha: 09/05/94

Firma:  
 Reviso: M.C. Mazur  
 Firma:

DISPOSITIVO PARA  
 FIJACION DE  
 ALABE L-O



La fotografía 5.2 muestra el álabo asegurado en el dispositivo de fijación.



Fotografía 5.2.      Alabe L-0 asegurado en el Dispositivo de Fijación.

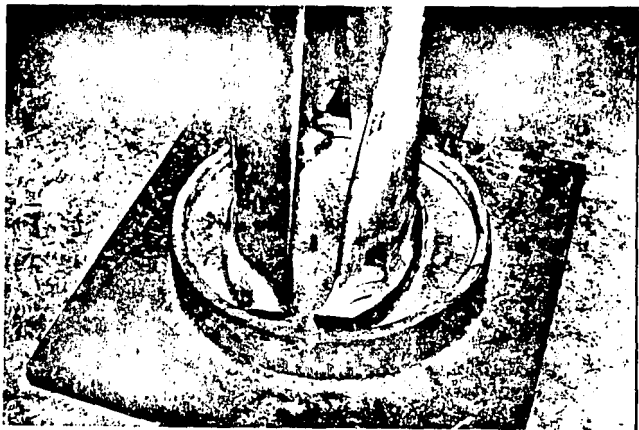
### 5.3 LIMPIEZA.

Para la limpieza de toda la superficie del álabo se utiliza un solvente industrial SKC-NF SPOTCHECK MAGNAFLUX; puede emplearse en su lugar acetona ó alcohol desnaturalizado. Las áreas que presentan marcas de corrosión se deben limpiar con lija fina.

### 5.4 MEDICION DE FRECUENCIAS NATURALES.

Antes de efectuar cualquier modificación al álabo, se realiza el proceso de medición de sus frecuencias naturales, con el objeto de tener una referencia posterior al proceso de reparación.

Se procede a fijar el álabo sumergiendo su raíz en metal babbitt líquido, contenido en una placa especial; al enfriarse el metal se obtiene una unión sólida del álabo con la placa, posteriormente la placa se asegura a la cimentación; la fotografía 5.3 muestra éste proceso.

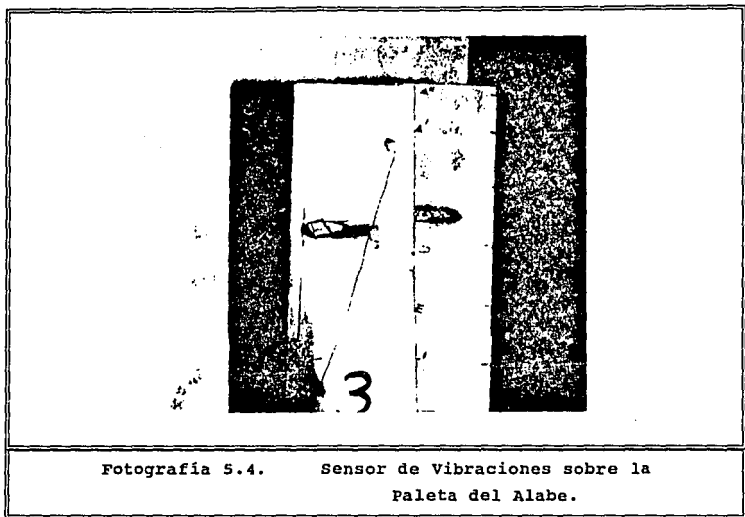


**Fotografía 5.3. Fijación del Alabe en la Placa para  
Medición de Frecuencias Naturales.**

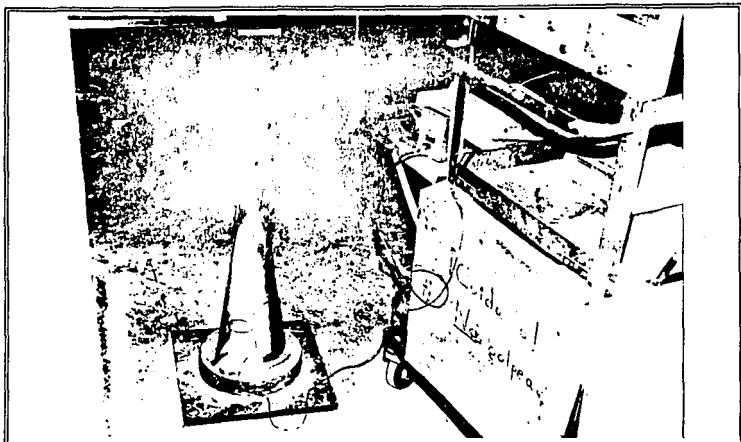
El equipo que se utiliza para la medición de las frecuencias naturales es el siguiente:

- Acelerómetro marca PCB.
- Analizador de Espectros marca ROCKLAND.
- Graficador marca HP.

Se coloca un sensor de vibraciones en el extremo superior de la paleta del álabe, como se ilustra en la fotografía 5.4.



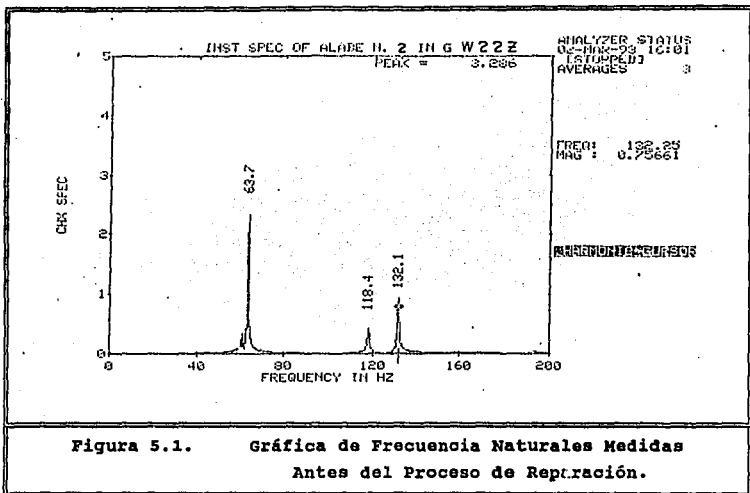
El sensor se conecta al acelerómetro, que a su vez se conecta al analizador de espectros. Una vez que el álabe se excita se obtienen graficadas en la pantalla del analizador las frecuencia requeridas; y con ayuda del graficador se obtiene la impresión de la gráfica de pantalla; la fotografía 5.5 muestra el álabe preparado para el proceso de medición de frecuencias naturales.



Fotografía 5.5. Alabe preparado para el Proceso de Medición de Frecuencias Naturales.

En la figura 5.1 se presenta la gráfica resultante del proceso de medición de las frecuencias naturales del álabo móvil L-0 antes de su proceso de reparación por soldadura. Se observa que los valores de las frecuencias naturales son:

ALABE	ETAPA	No. EN RAIZ	1er FRECUENCIA NATURAL (Hz).	2da FRECUENCIA NATURAL (Hz).
PARA TURBINA DE VAPOR DE 300 MW.	L-0	W 22 Z	63.7	132.1



### 5.5 REMOCION DEL INJERTO DE ESTELITA TIPO "J".

Para retirar el injerto de estelita tipo "J" del álabe, se calienta la superficie con flama oxiacetilénica hasta la temperatura de 700 °C; se calienta todo lo largo del injerto de estelita y sus bordes de unión con el álabe, el injerto se retira entonces con pinzas.

Es necesario medir la temperatura de la zona calentada con un termopar de contacto para controlarla y evitar que sobrepase el rango establecido de 700 °C.

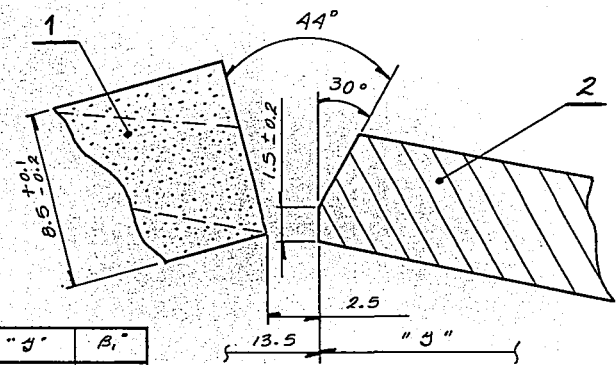
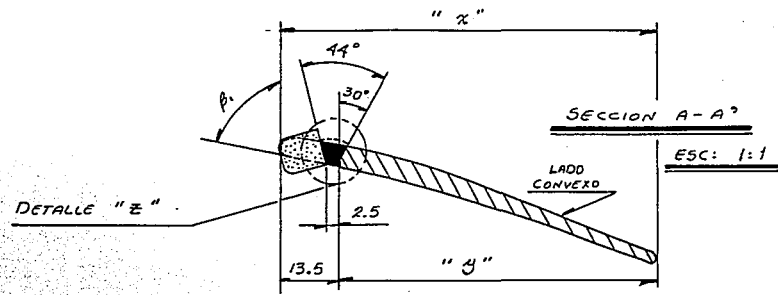
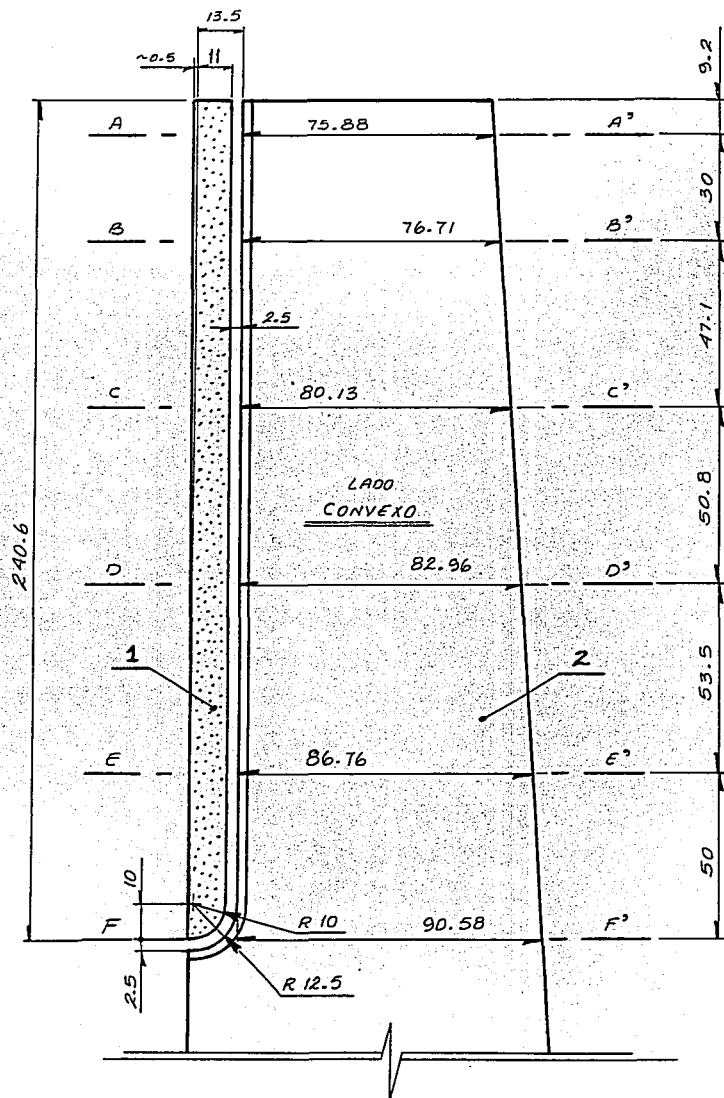


## 5.6 MAQUINADO DEL FILO DE ENTRADA DEL ALABE.

El proceso de maquinado del filo de entrada es el siguiente:

- Se retiran del dispositivo las piezas 18, 19, 20, 28, 35 y 42; se instala la pieza 25, según el dibujo 5.1 (dibujo de referencia).
- Se coloca el álabe sobre el dispositivo con el injerto de estelita tipo "J" ya eliminado, donde se fija y asegura.
- El procedimiento para eliminar el filo de entrada es por fresado, empleando una fresa cilíndrica de  $\phi$  20 mm según el dibujo 5.2.
- Se bisela el filo de entrada a  $30^{\circ}$  con una fresa cónica ó con un rectificador neumático, como se ilustra en el detalle "Z" del dibujo 5.2.

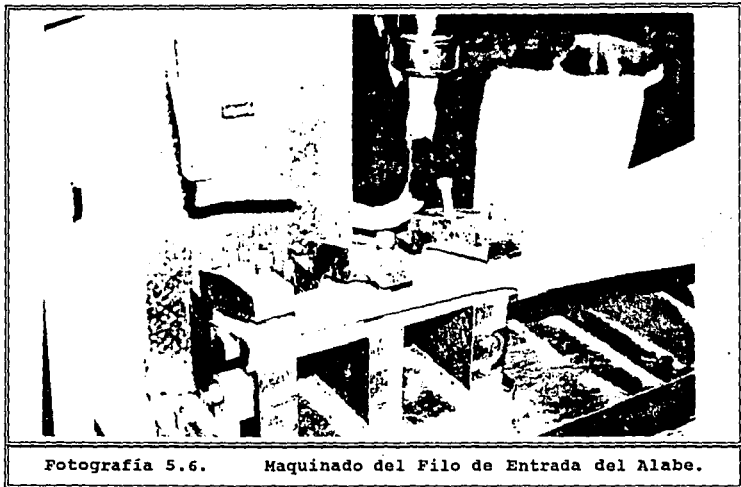
NOTA: Si se utiliza el rectificador neumático, la superficie preparada para la soldadura debe ser lisa y no presentar muescas ó fuertes irregularidades.



SECCION	"X"	"Y"	$\beta_i$
A-A'	89.58	75.88	79°
B-B'	90.21	76.71	82°
C-C'	93.63	80.13	88°
D-D'	96.46	82.96	92°
E-E'	100.26	86.76	97°
F-F'	104.08	90.58	104°

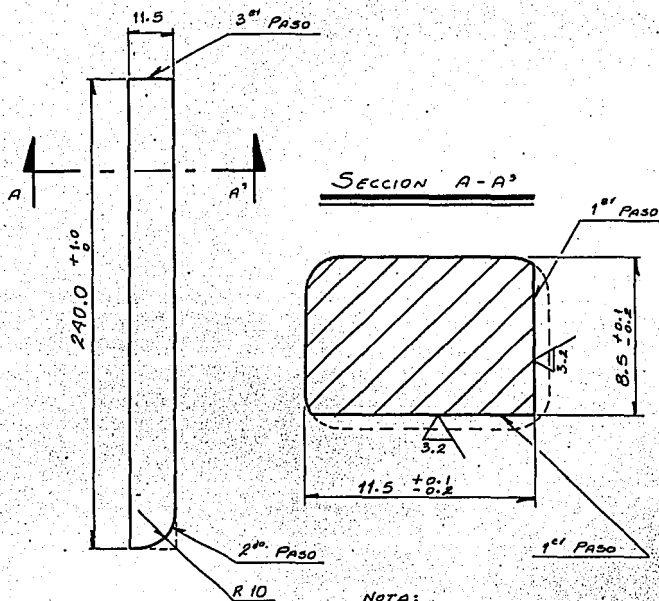
2	1	ALABE MOVIL L-0	AISI S 17400 (17-4 PH)	DIBUJO 4.1
1	1	BARRA DE ESTELITA	ESTELITA 6B	DIBUJO 5.3
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN U.N.A.M.				
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS I.I.E.				
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1.25	Acot: mm	Fecha: 09/05/94
Firma:		<b>MAQUINADO DEL FILO DE ENTRADA DEL ALABE L-0</b>		 No. Dibujo: 5.2
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				

El proceso de maquinado del filo de entrada del álabe se muestra en la fotografía 5.6.



#### 5.7 MAQUINADO DEL INJERTO DE ESTELITA TIPO NARIZ SOLIDA.

- El injerto se sujeta en una prensa y se le rectifican dos caras, según el dibujo 5.3.
- Se traza el radio y se rectifica, según el dibujo 5.3
- Se rectifica el extremo opuesto.
- Ajustar el injerto de estelita a la ranura del álabe, en caso de ser necesario.

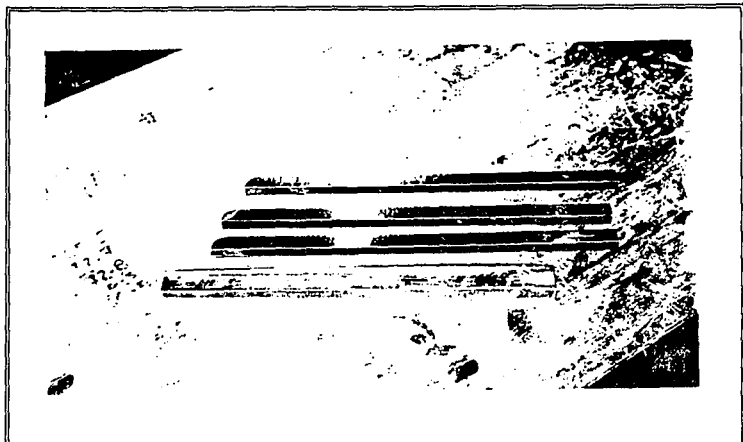


**NOTA:**

LOS PASOS SEÑALADOS  
INDICAN LA SECUENCIA  
DEL RECTIFICADO.

1	1	BARRA DE ESTELITA	ESTELITA 6B	DIBUJO 5.2
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios		Esc: SIN	Acot: mm	Fecha: 09/05/94
Firma:		<b>MAQUINADO DE LA BARRA DE ESTELITA</b>		
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.3

En la fotografía 5.7 se muestran varios injertos de Estelita 6B ya rectificadas y preparadas para el proceso de soldadura.



Fotografía 5.7. Injertos de Estelita preparados para el Proceso de Soldadura.

#### 5.8 SOLDADURA DEL INJERTO DE ESTELITA TIPO NARIZ SOLIDA CON EL ALABE.

El material del álabo es un acero inoxidable endurecido por precipitación clase AISI S 17400 ó ASME SA 564 (630), también conocido como 17-4 PH; su composición química se muestra en la tabla 2.3 (Capítulo II).

El injerto de estelita tipo nariz sólida es de la clase 6B, y su composición química se muestra en la tabla 3.2 (Capítulo III).

El material de aporte debe estar conforme a la especificación AWS A 5.14 (ERNiCr-3) - INCONEL FM 82; tiene un diámetro de 1.6 mm y su composición química se presenta en la tabla 5.1.

**TABLA 5.1. COMPOSICION QUIMICA DEL MATERIAL DE APORTE  
PARA EL PROCESO DE SOLDADURA.**

ELEMENTO	CONTENIDO [%]
CARBON	0.10 MAX
COLUMBIO (MAS TANTALIO)	2.0 - 3.0
CROMO	18.0 - 22.0
COBRE	0.50 MAX
HIERRO	3.00 MAX
MANGANESO	2.5 - 3.5
NIQUEL	67.00 MIN
FOSFORO	0.03 MAX
AZUPRE	0.015 MAX
SILICIO	0.50 MAX
TITANIO	0.75 MAX

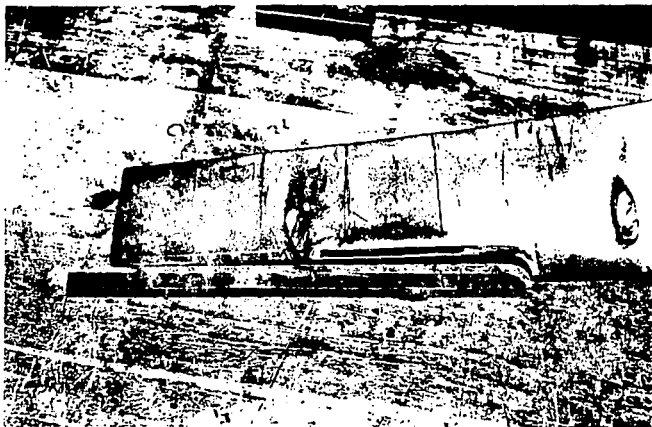
El proceso de soldadura es manual de arco de tungsteno y gas inerte (TIG), utilizando un electrodo no consumible de tungsteno con torio al 2% .

El gas inerte que se utiliza es argón con una pureza de 99.9% a un flujo de 10 l/min.

Se utiliza un antorcha flexible con una cerámica de 11 mm de diámetro exterior.

La máquina para soldar se utiliza en corriente directa en un rango de 60 a 100 A.

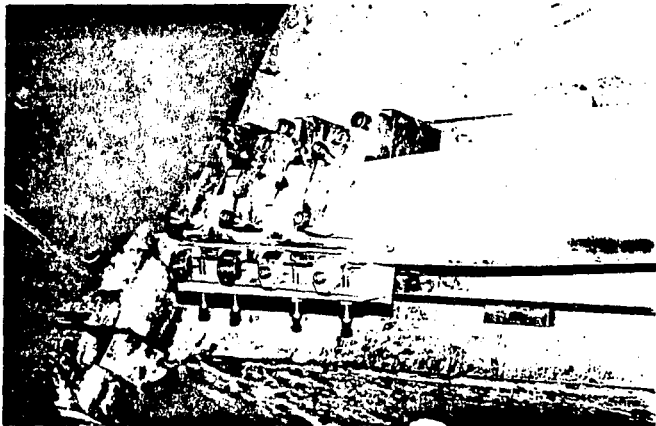
En la fotografía 5.8 se muestran el injerto de estelita y el álabe preparados para el proceso.



**Fotografía 5.8. Injerto de Estelita y Alabe preparados para el Proceso de Soldadura.**

El procedimiento de soldadura es el siguiente:

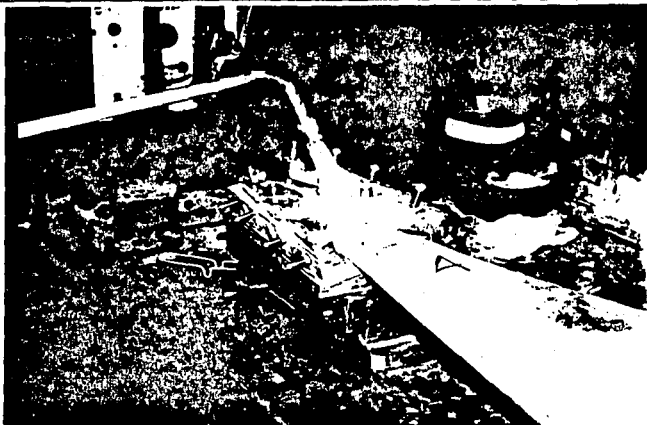
- Instalar en el dispositivo las piezas 18,19, 20, 28, 35 y 42; y retirar la pieza 25, según el dibujo 5.1.
- Colocar el álabe y el injerto de estelita en el dispositivo; y fijarlos para depositar la soldadura (dibujo 5.1, vista lateral izquierda). La fotografía 5.9 muestra éste procedimiento.



Fotografía 5.9. Fijación del Injerto de Estelita y del Alabe en el Dispositivo, para el Proceso de Soldadura.

- Limpiar la zona a soldar con el limpiador industrial y un cepillo de alambre de acero inoxidable.
- Antes de utilizar el material de aporte se limpia perfectamente; después de utilizarlo en el proceso de soldadura se le corta la punta quemada aproximadamente 10 mm con pinzas de corte, y se vuelve a limpiar antes de utilizarlo otra vez.
- La secuencia de soldadura es la siguiente:
  - a) Precalentar con soplete el injerto de estelita y el álabe a 350 °C, antes de depositar la soldadura; como se muestra en la fotografía 5.10.

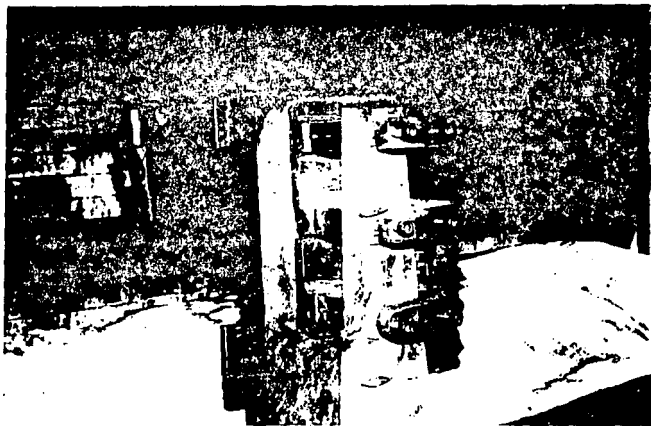




**Fotografía 5.10.      Precalentamiento con Soplete del Injerto  
de Estelita y del Alabe.**

- b) Unir por soldadura de punto el injerto de estelita con el álabo en cuatro puntos distanciados 60 mm entre sí, comenzando a la mitad de la longitud del injerto, avanzando hacia sus extremos alternadamente.
- c) Soldar el injerto de estelita al álabo con cordones cortos de longitud máxima 15 mm, comenzando a la mitad de la longitud del injerto, avanzando hacia sus extremos alternadamente.
- d) Después de depositar la primer cama de soldadura, eliminar los poros y fracturas que aparezcan sobre la superficie, por medio del limado, esmerilado ó rectificad. Se continúan depositando las camas de soldadura subsecuentes.
- e) Concluida la aplicación de toda la soldadura, el álabo permanece en el dispositivo de fijación hasta su completo enfriamiento.

La **fotografía 5.11** muestra el injerto de estelita soldado en la paleta del álabe.



**Fotografía 5.11.**

**Injerto de Estelita Soldado en la  
Paleta del Alabe.**

## **5.9 ENDEREZADO DE LA PALETA.**

En caso de que la paleta del álabe se haya torcido, se realiza el siguiente proceso de enderezado:

- Se aflojan los tornillos (pieza 38) que aprietan la paleta y se verifica el torcimiento del álabe en el dispositivo empleando los escantillones.
- Se aflojan las tuercas (pieza 36) del dispositivo, que aprietan la raíz del álabe.
- Se fija fuertemente la paleta con los tornillos (pieza 38).
- Se ajusta la posición del disco (pieza 2) a la posición de la raíz del álabe, por medio de la tuerca (pieza 9).
- Se fija la raíz del álabe con las tuercas (pieza 36).
- Se endereza el álabe para corregir su torcimiento con la tuerca (pieza 9).
- Se afloja la paleta del álabe y se mide su enderezado verificando los claros existentes entre el perfil cóncavo del álabe y las superficies de soporte del extremo superior de la paleta (piezas 18-2, 20 y 24); así mismo con los escantillones.
- Repetir éste proceso hasta obtener los resultados de enderezado satisfactorios.

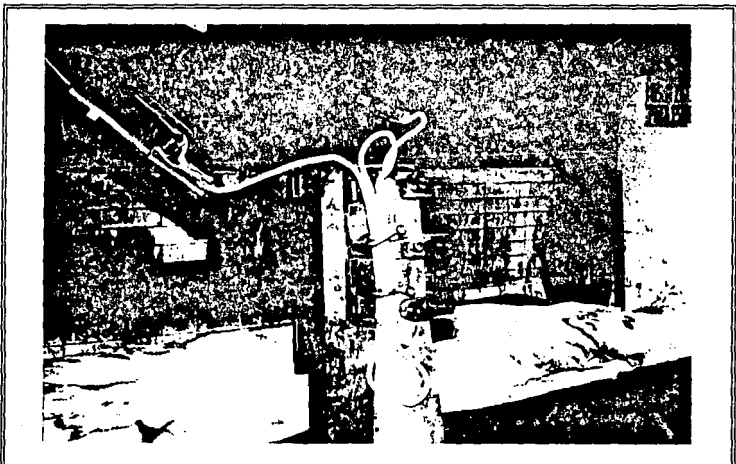
**NOTA:** La descripción entre paréntesis "pieza No." corresponde al número de la pieza referida al dibujo 5.1.

## 5.10 TRATAMIENTO TERMICO.

Para relevar los esfuerzos residuales inducidos al álabe por el proceso de soldadura se le aplica un tratamiento térmico; el álabe se calienta utilizando alambre NICROMO provisto con aislamiento cerámico, que se conecta a la máquina de soldar.

El procedimiento es el siguiente:

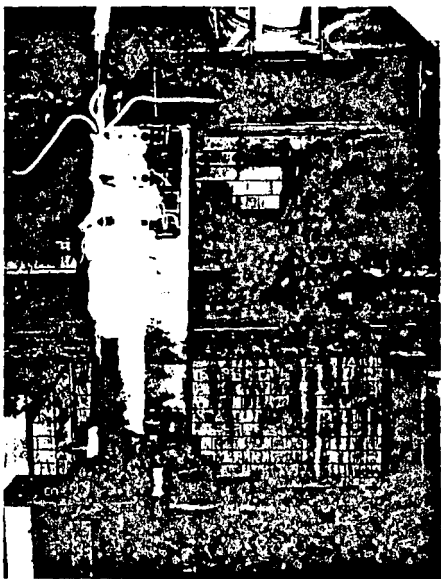
- El álabe, aún fijo en el dispositivo, se coloca en posición vertical para evitar posibles distorsiones excesivas durante el tratamiento.
- Se embobina la paleta del álabe con el alambre NICROMO, abarcando toda la zona de soldadura del injerto de estelita; como se ilustra en la fotografía 5.12.



Fotografía 5.12.

Embobinado de la Paleta del Alabe  
para el Relevo de Esfuerzos.

- Se conectan las terminales del alambre a la máquina de soldar.
- Toda la zona sobre la que se aplica el tratamiento se aísla, cubriéndola con tela de asbesto; como se ilustra en la fotografía 5.13.



Fotografía 5.13. Aislamiento de la Zona de Soldadura con Tela de Asbesto.

- Se enciende la máquina para soldar y se calienta el álabe hasta la temperatura de  $600 \pm 15$  °C, durante un período de una hora; en la figura 5.2 se muestra la gráfica del proceso térmico.

GRAFICA DEL PROCESO DE RELEVO DE ESFUERZOS.

Temperatura T (°C)

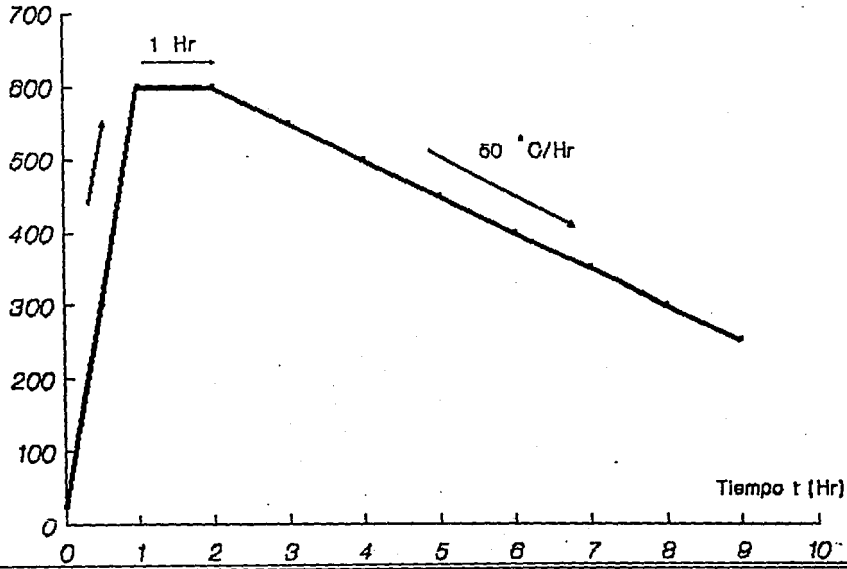


FIGURA 5.2.

- La medición de temperatura se realiza con un termopar de contacto que se instala en el cuerpo del álabe y se conecta a un indicador digital de temperatura.
- Una vez completado el calentamiento a  $600 \pm 15$  °C durante una hora; se disminuye parcialmente la corriente de la máquina para soldar, para que el álabe se enfríe a razón de 50 °C por hora.

El proceso de Tratamiento Térmico se ilustra en la fotografía 5.14.

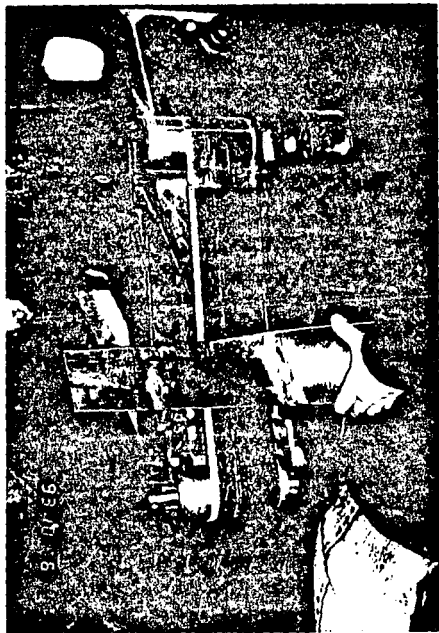


Fotografía 5.14.

Tratamiento Térmico para el Relevo de Esfuerzos.

### 5.11 MAQUINADO FINAL DEL ALABE.

El acabado final de la superficie del álabo, en la zona del injerto de estelita y en la zona de la soldadura en el filo de entrada, se lleva a cabo con bandas abrasivas flexibles montadas en un rectificador eléctrico, como se muestra en la fotografía 5.15.



Fotografía 5.15.

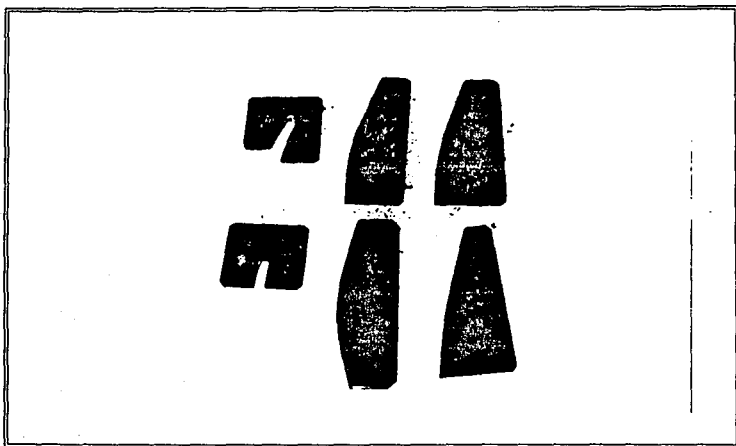
Maquinado Final del Alabe.



Se procede a eliminar el exceso de material para obtener nuevamente la geometría original de los perfiles del álabe. El rectificado del álabe se realiza en tres etapas:

- La primer etapa es rectificar el perfil cóncavo (cara de presión) en la zona del injerto de estelita y verificar cada sección con el escantillón correspondiente; dibujos 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 y 4.19. (Capítulo IV).
- La segunda etapa es rectificar el radio del filo de entrada del injerto de estelita,  $R=2.35$  mm verificándolo con ayuda de los escantillones; dibujos 4.20 y 4.21. (Capítulo IV).

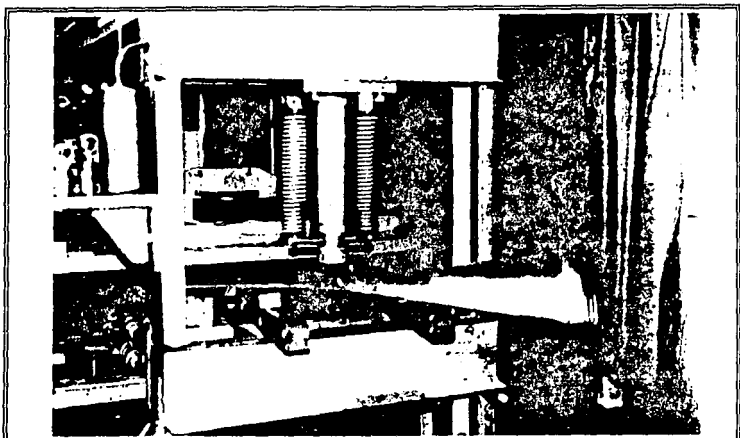
La fotografía 5.16 muestra los escantillones empleados para verificar los perfiles del álabe después del proceso de rectificado.



Fotografía 5.16. Escantillones para Verificar los Perfiles del Alabe.

- La tercer etapa es rectificar el perfil convexo (cara de succión) del álabe y verificarlo en la sección A-A' con el escantillón del dibujo 4.20 y en la sección F-F' con el escantillón del dibujo 4.21.

Las distorsiones pequeñas que se presentan en la paleta del álabe se rectifican por medio de un proceso de prensado, utilizando una prensa hidráulica, como se ilustra en la fotografía 5.17.



Fotografía 5.17. Prensado de la Paleta del Alabe.

#### 5.12 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.

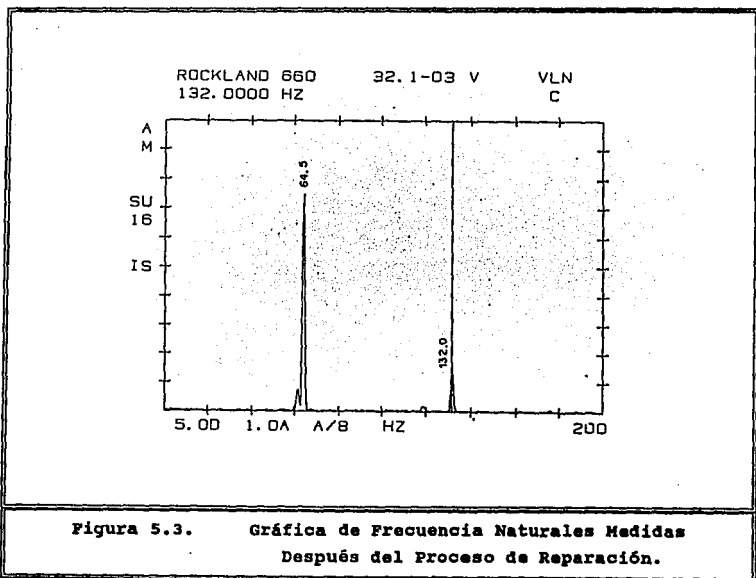
La soldadura de unión del injerto de estelita con el álabe se verifica por medio de inspecciones con Rayos X y con Líquidos Penetrantes. Ambas pruebas no revelaron fallas en la unión de la soldadura, lo que indica que la calidad de la unión soldada cumple con los requerimientos para la futura aplicación de éste tipo de componentes.

#### 5.13 MEDICION DE NUEVAS FRECUENCIAS NATURALES.

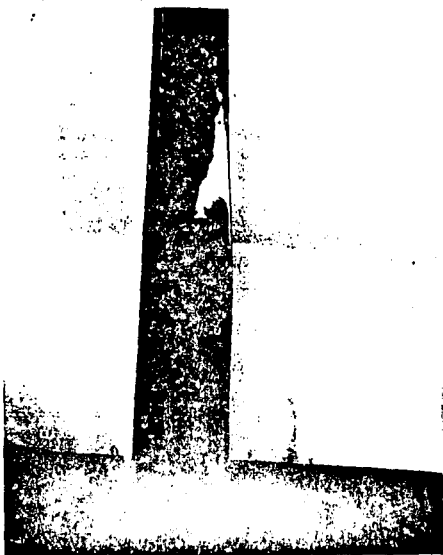
Concluido el proceso de rectificado de los perfiles del álabe, se continuó con la medición de las nuevas frecuencias naturales que se originaron por el proceso de reparación. Se utilizó el mismo método y equipo con el que se efectuó la medición de las frecuencias naturales antes del proceso de reparación.

En la figura 5.3 se presenta la gráfica resultante del proceso de medición de las frecuencias naturales del álabo móvil L-0 después de su proceso de reparación por soldadura. Se observa que los valores de las frecuencias naturales son:

ALABE	ETAPA	No. EN RAIZ	1er FRECUENCIA NATURAL (Hz).	2da FRECUENCIA NATURAL (Hz).
PARA TURBINA DE VAPOR DE 300 MW.	L-0	W 22 Z	64.5	132.0



En la siguiente y última fotografía, la número 5.18 se muestra el álabe totalmente reparado.



Fotografía 5.18. Alabe L-0 para Turbina de Vapor de 300 MW,  
Totalmente Reparado por el Proceso de Soldadura.

## CAPITULO VI

### ANALISIS Y RESULTADOS DEL PROCESO DE REPARACION POR SOLDADURA DEL ALABE MOVIL L-0 DE TURBINA DE VAPOR DE 300 MW.

#### 6.1 CONDICIONES DE TRABAJO.

Debido a la longitud del álabe (763.2 mm) y del dispositivo de fijación (900 mm), fue imposible realizar el Proceso de Reparación por Soldadura dentro de un horno, que nos hubiera proporcionado mejores condiciones para el control y distribución del calor; evitando la influencia de corrientes de aire; transferencia de calor por conducción del álabe hacia el dispositivo de fijación, y por convección del álabe hacia el medio ambiente, que se encontraba húmedo y frío.

Durante el proceso de relevo de esfuerzos, las piezas se calentaron utilizando resistencias y la temperatura se controló por medio de un termopar; sin embargo, cabe mencionar, que el calentamiento con resistencias no brinda una distribución uniforme de calor a través de las piezas, como se conseguiría, sin duda en un horno.

#### 6.2 CARACTERISTICAS DE LOS INJERTOS DE ESTELITA QUE SE UTILIZARON EN EL PROCESO DE SOLDADURA.

Los injertos de estelita se fabricaron por un proceso de vaciado y fueron suministrados por la "Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A de C.V." (CMIM) de Saltillo, Coahuila. La composición química de los injertos, así como su dureza, que fueron proporcionadas por la CMIM se presentan en la tabla 6.1.

TABLA 6.1. COMPOSICION QUIMICA Y DUREZA DE LOS INJERTOS DE ESTELITA 6B, PROPORCIONADAS POR LA CMIM.

Co	Ni	Si	Fe	Mn	Cr
Balance	3.05	1.04	3.24	1.81	25.80
Mo	W	C	S	P	HRC
0.56	8.3	1.5	0.026	0.013	49

En el **APENDICE B** se presenta el Resultado del Análisis Metalográfico, así como el Tratamiento Térmico que realizó la CMIM sobre los Injertos de Estelita, y el Reporte del Ciclo Térmico.

El grado de dureza de los injertos de estelita tipo nariz sólida debe ser homogéneo y variar entre 37 a 45 HRC (ver **tabla 3.2, CAPITULO III**); sin embargo, los injertos con los que se trabajó presentaron un grado de dureza no homogéneo, teniendo para una misma pieza de estelita variaciones desde 46.8 a 62.5 HRC; además de la existencia de impurezas y de concentraciones (puntos) de carbón; todos éstos detalles consecuencias de un mal proceso de fabricación.

La variación del grado de dureza desde 46.8 a 62.5 HRC fue obtenido como resultado de los ensayos de dureza aplicados a los injertos ya rectificadas, antes de utilizarlos en el proceso de soldadura; los ensayos de dureza se realizaron en los Laboratorios de éste Instituto (I.I.E.).

### **6.3 RESULTADOS DEL PROCESO DE MAQUINADO DEL INJERTO DE ESTELITA TIPO NARIZ SOLIDA.**

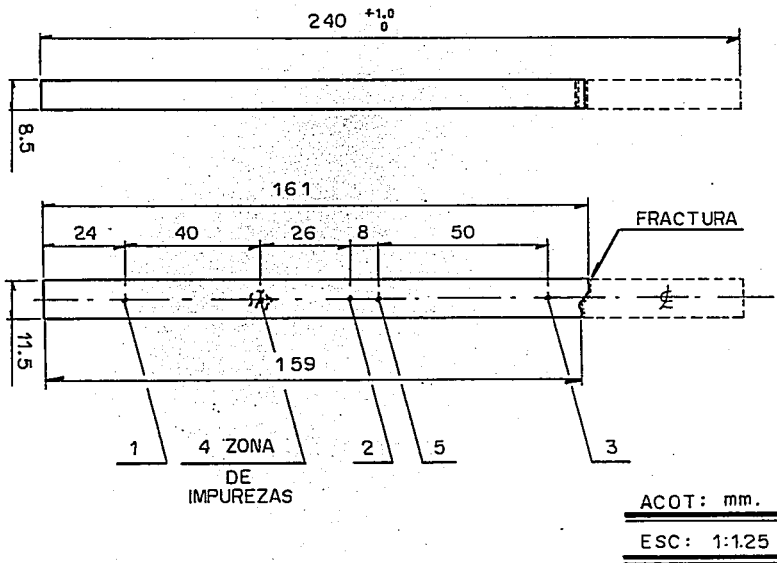
Los defectos de fabricación de los injertos (impurezas y puntos de carbón), así como su excesiva dureza (hasta 62.5 HRC), originaron que durante el proceso de maquinado algunas de la piezas se fracturaran en dos partes.

La **tabla 6.2** muestra las mediciones del ensayo de dureza, realizado al injerto de estelita fracturado; y en la **figura 6.1** se ilustra el injerto fracturado y la localización de las mediciones de dureza sobre su superficie.

**TABLA 6.2 MEDICIONES DEL ENSAYO DE DUREZA, REALIZADO SOBRE UN INJERTO DE ESTELITA FRACTURADO.**

MEDICION No.	MEDICIONES DE DUREZA (HRC)	PROMEDIO DE DUREZA (HRC)
1	45.5, 46.5, 48.5	46.8
2	48.5, 47.0, 50.0	48.5
3	48.5, 48.0, 49.5	48.7
4	62.5, 62.0, 63.0	62.5
5	49.5, 50.0, 50.5	50.0

Figura 6.1. Localización de las Mediciones del Ensayo de Dureza sobre el Injerto de Estelita Fracturado.



#### **6.4 RESULTADOS DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL INJERTO DE ESTELITA TIPO NARIZ SOLIDA CON EL ALABE.**

Se precalentó la paleta del álabe y el injerto de estelita a una temperatura no menor de 350 °C (662 °F), verificándola con gises indicadores de temperatura.

**NOTA:** Se poseían dos tipos de gises indicadores: uno para 329.4 °C (625 °F) y otro para 371.1 °C (700 °F).

Se soldó el injerto al álabe con cuatro puntos; uno en cada extremo y dos intermedios, distanciados entre sí 80 mm aproximadamente.

Se comenzaron a depositar cordones cortos de 15 mm de longitud, a la mitad del injerto, avanzando hacia sus extremos en forma alternada.

Al enfriarse los cordones, comenzaron a formarse poros en la superficie, por la presencia de impurezas y puntos de carbón en el interior de los injertos. Como ya se mencionó en párrafos anteriores los injertos de estelita presentaban una calidad deficiente.

Se procedió a fresar todos los poros que surgieron, antes de depositar los siguientes cordones; para ello se empleó una fresa cónica montada en un taladro manual.

Se verificó la temperatura del injerto y del álabe con los gises, determinando que había disminuido; debido a ello, se calentaron nuevamente ambas piezas hasta la temperatura de trabajo ya antes establecida [350 °C (662 °F)].

Se continuaron depositando los cordones de soldadura, hasta soldar completamente el injerto de estelita al álabe.

#### **6.5 RESULTADOS DEL ENDEREZADO DE LA PALETA.**

Fue necesario llevar a cabo éste proceso, debido a la deformación que tuvo la paleta del álabe; el procedimiento que se siguió es el establecido en la sección 5.9 del CAPITULO V, logrando resultados satisfactorios.



## 6.6 RESULTADOS DEL TRATAMIENTO TERMICO.

El proceso del tratamiento térmico se llevó a cabo conforme al procedimiento establecido en la sección 5.10 del CAPITULO V, con las siguientes características:

La máquina para soldar se utilizó en corriente alterna en un rango no mayor a 70 A.

El álabe se calentó a una temperatura de  $630^{\circ}\text{C}$  ( $1166^{\circ}\text{F}$ ) en 5 minutos, aplicando una corriente de 65 A.

Se redujo la temperatura a  $600 \pm 15^{\circ}\text{C}$  ( $1112 \pm 59^{\circ}\text{F}$ ), aplicando una corriente de  $60 \pm 5$  A, durante una hora.

La temperatura a la que se estabilizó el proceso fue  $608^{\circ}\text{C}$  ( $1126.4^{\circ}\text{F}$ ), aplicando una corriente de  $60 \pm 5$  A.

Después de completar el período de una hora de calentamiento a  $608^{\circ}\text{C}$  ( $1126.4^{\circ}\text{F}$ ), se redujo la corriente para disminuir la temperatura del álabe en la forma como se indica en la tabla 6.3.

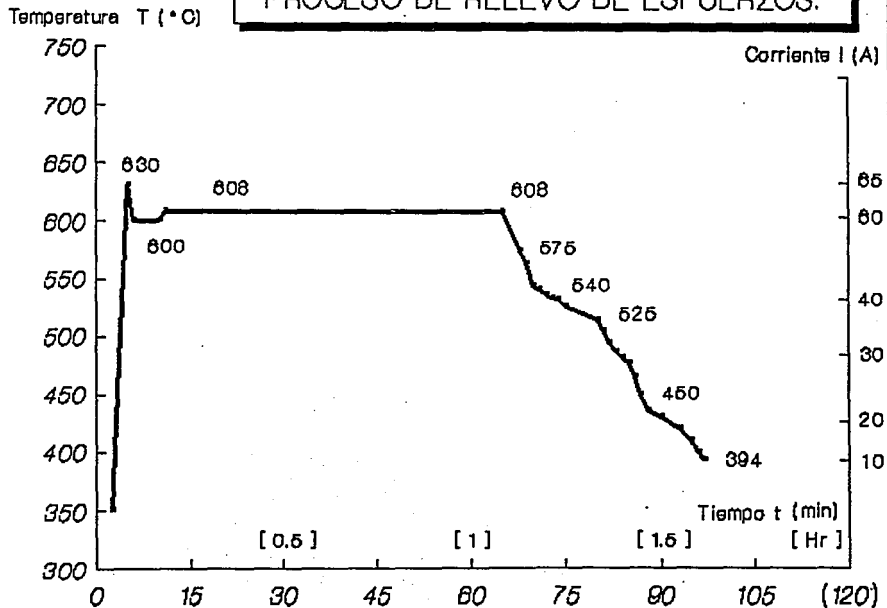
En la figura 6.2 se muestra la gráfica de la secuencia real del proceso del tratamiento térmico.

Cuando la temperatura disminuyó a  $400^{\circ}\text{C}$  ( $752^{\circ}\text{F}$ ) aproximadamente, se apagó la máquina para soldar permitiendo al álabe enfriarse libremente.

**TABLA 6.3 VARIACION DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO RESPECTO A LA DISMINUCION DE CORRIENTE DURANTE EL PROCESO.**

CORRIENTE (A)	TEMPERATURA		TIEMPO	
	(°C)	(°F)	(min)	(Hr)
0 - 65	25 - 630	77 - 1166	0 - 5	0 05'
60 ± 5	600 ± 15	1112 ± 59	6 - 10	0 10'
60 ± 5	608	1126.4	11 - 65	1 05'
40	575	1067.0	68	1 08'
	564	1047.2	69	1 09'
	543	1009.4	70	1 10'
	540	1004.0	71	1 11'
	535	995.0	72	1 12'
	533	991.4	73	1 13'
30	531	987.8	74	1 14'
	525	977.0	75	1 15'
	513	955.4	80	1 20'
	504	939.2	81	1 21'
	495	923.0	82	1 22'
20	487	908.6	83	1 23'
	482	899.6	84	1 24'
	477	890.6	85	1 25'
	465	869.0	86	1 26'
	450	842.0	87	1 27'
10	435	815.0	88	1 28'
	430	806.0	90	1 30'
	420	788.0	93	1 33'
	410	770.0	95	1 35'
	400	752.0	96	1 36'
	394	741.2	97	1 37'

# GRAFICA DE LA SECUENCIA REAL DEL PROCESO DE RELEVO DE ESFUERZOS.



**FIGURA 6.2.**

## **6.7 RESULTADOS DEL MAQUINADO FINAL DEL ÁLABE.**

La verificación del maquinado final del álabo se realizó con la medición de sus perfiles. Los perfiles de las secciones A-A', B-B', C-C', D-D', E-E' y F-F' que se midieron después del proceso de soldadura, se presentan en los dibujos 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13 respectivamente, en el CAPITULO IV.

## **6.8 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.**

Las pruebas realizadas con Rayos X y Líquidos Penetrantes no revelaron ninguna falla en la unión de la soldadura del injerto de estelita con el álabo, lo que indica la calidad de la soldadura del proceso de reparación.

A parte de las dos pruebas mencionadas, se realizó una tercera inspección aplicando la técnica de Partículas Magnéticas, aprovechando las propiedades ferromagnéticas del material del álabo que ofrecen facilidades para su aplicación.

El procedimiento que se siguió para la inspección es el que recomienda la norma ASTM-275-90, que es idéntica a la norma SA-275 del código ASME, sección V (Non Destructive Examination).

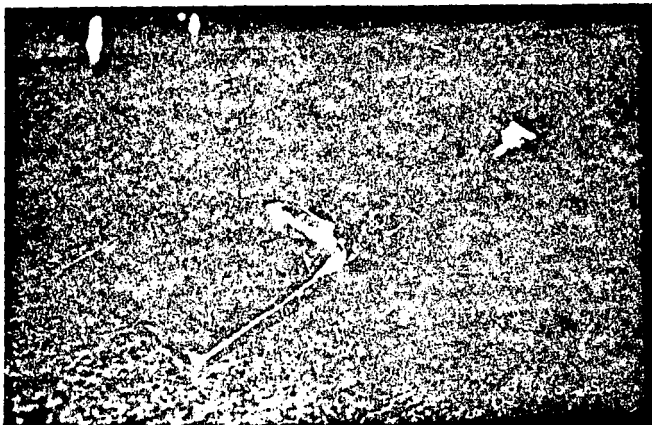
Como preparación previa a la inspección se limpió la superficie del álabo utilizando un limpiador industrial; con el objeto de retirar grasa, polvo, impurezas, etc.

El magnetizador que se utilizó fue un yugo de corriente directa que tiene una fuerza de levantamiento de 148 N con una distancia entre polos variable de 3" a 6".

Se utilizaron partículas magnéticas secas de coloración negra; para rociarlas se empleó un atomizador comercial.

La inspección realizada solo muestra las partículas magnéticas acumuladas sobre las líneas de fusión, definiéndolas perfectamente, como se ilustra en la fotografía 6.1; y al igual que las pruebas con Rayos X y Líquidos Penetrantes, tampoco señala fallas en la zona de la soldadura.

Después de la inspección el álabo se desmagnetizó y se limpió.



**Fotografía 6.1. Prueba con Partículas Magnéticas Secas aplicada al Alabe L-0, después del Proceso de Soldadura.**

#### **6.9 RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE FRECUENCIAS NATURALES.**

Al comparar los valores de las frecuencias naturales antes y después del proceso de reparación, presentados en las secciones 5.4 y 5.13 respectivamente, del CAPITULO V, se determina que los valores finales se encuentran dentro de los límites del diseño, debido a que no existe variación significativa; lo que contribuye, junto con los resultados de las Pruebas No Destructivas, en la reafirmación de la calidad de éste Proceso de Reparación por Soldadura.

## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Al terminar el Proceso de Reparación por Soldadura, que se realizó siguiendo los procedimientos establecidos en la tesis y en base al contenido general de la misma, se concluye lo siguiente:

- Con los dibujos de los perfiles del álabe y de los escantillones, presentados en el Capítulo IV, se tiene una referencia de la geometría exacta del álabe, para poder verificar la geometría que resulte después del proceso de reparación por soldadura, y poder obtener las dimensiones originales del álabe.
- Con los dibujos del dispositivo de fijación, que se presentan en el Capítulo V y en el Apéndice A, se puede efectuar la modificación del álabe móvil L-0 de baja presión de turbina de vapor, con todas sus dimensiones y tolerancias para el maquinado de preparación que antecede al proceso de soldadura.
- Con el proceso general de reparación por soldadura y con los procedimientos establecidos para cada proceso individual (tecnología de reparación), se pueden rehabilitar los álabes móviles L-0 de turbinas de vapor de baja presión, con la calidad requerida, para volver a utilizar éste tipo de componentes en operaciones comerciales, con la ventaja de que poseen propiedades superiores de resistencia contra erosión que los álabes del diseño original.
- Por otro lado, aplicar éste tipo de procesos para recuperar los álabes y otros componentes de turbina, gastados y dañados por erosión, permiten reducir los costos considerablemente, porque se requieren menor cantidad de partes de repuesto y se prolonga la vida útil de los componentes que se recuperan, en un grado equivalente a las del diseño original, con tendencia a superarla.

En base a las experiencias que se obtuvieron, derivadas de los problemas que se presentaron durante y posteriormente al Proceso de Reparación por Soldadura, se presentan las siguientes recomendaciones:

- En relación a los Injertos de Estelita Tipo Nariz Sólida con los que se trabajó, su dureza y propiedades no fueron las requeridas para el proceso de reparación por soldadura porque presentaban en general muy mala calidad; se recomienda utilizar Injertos de Estelita 6B de un lote diferente, que presenten dureza adecuada y homogénea, no menor de 37 Hrc ni mayor de 45 Hrc; adecuada composición química y una microestructura libre de escoria y concentraciones de carbón.

- Se recomienda llevar a cabo los procesos de Soldadura del injerto de estelita con el álabe y el de Tratamiento Térmico dentro de un horno. En el Proceso de Soldadura se pretende tener mayor control de la temperatura al tiempo de aplicar la soldadura, evitando cambios bruscos y pérdidas de calor por convección al medio ambiente y por conducción hacia el dispositivo de fijación. En el Proceso de Tratamiento Térmico se pretende establecer una distribución más uniforme de temperatura al tiempo del relevado de esfuerzos; y condiciones más controladas al tiempo del enfriamiento.
- Como una alternativa, en caso de no poder realizar el proceso de soldadura dentro del horno, se recomienda efectuarlo con las mejores condiciones posibles de medio ambiente; evitar realizarlo en lugares húmedos y fríos.
- De lo anterior, se recomienda instalar en el dispositivo de fijación una resistencia, cuya función es calentar tanto el álabe como el dispositivo, evitando la disminución de temperatura en las zonas de soldadura y mantener la temperatura del sistema a un nivel más estable y cercano a las condiciones de trabajo establecidas en ésta tesis.
- Para evitar distorsiones mayores de la paleta del álabe, después de los procesos de Soldadura y de Tratamiento Térmico, se recomienda diseñar aditamentos al dispositivo de fijación, para sujetar también la parte central de la paleta; debido a que el dispositivo, como originalmente se diseñó, solo contempla la sujeción del álabe por su raíz y por el extremo superior de su paleta.

En comparación con los otros métodos de protección contra erosión para álabes, como son: los injertos de estelita tipo "J" unidos al álabe por un proceso de soldadura fuerte; los procesos de endurecido del filo de entrada del álabe (Inducción, Flama y LASER); recubrimientos especiales (Termorrociado); modificación del filo de entrada del álabe en forma de diente de sierra (método GENERAL ELECTRIC); y modificación del filo de entrada con ranuras de succión (método SIEMENS); la rehabilitación de los álabes móviles L-0 de baja presión de las turbinas de vapor, dañados por la erosión, utilizando el método de soldadura de penetración completa del injerto de estelita tipo nariz sólida, descrito en la tesis, tiene las siguientes ventajas:

- El material del injerto de estelita tipo nariz sólida, posee mayor resistencia contra la erosión que el delgado injerto de estelita tipo "J"; y mayor resistencia también que la superficie endurecida, que se obtiene con los procesos de endurecido ya antes mencionados.
- La soldadura de penetración completa, evita la separación del injerto del estelita tipo nariz sólida del álabe, y protege de los daños causados por los pedazos de estelita transportados por el flujo del vapor.

- La aplicación del metal de aporte dúctil INCONEL 82, protege al material base del álabe contra la propagación de fisuras en su filo de entrada, en caso de impactos de cuerpos extraños o de agua.
- Con el pulido del excedente de soldadura, se logra la restauración completa de la geometría del perfil de la paleta, que asegura una superficie continua, sin provocar la pérdida del material del álabe por el lavado, y evita también pérdidas del rendimiento de la turbina, al no generar flujos turbulentos por mala geometría.
- El método de protección contra erosión, presentado en ésta tesis, puede ser aplicado sobre todos los álabes móviles L-0 de las últimas etapas de las turbinas de baja presión, en caso de presentar desgaste o deterioro, causado por el fenómeno de erosión.



## BIBLIOGRAFIA.

- [ 1 ] G. A. GAFFERT, Centrales de Vapor (Steam Power Stations). Reverté, S. A.; (San Miguel, 26 Barcelona, 1954) pp 35-79.
- [ 2 ] CHARLES DONALD SWIFT, "Turbinas de vapor" en: Compañía Editorial Continental, S. A. Plantas de Vapor: Arranque, Prueba y Operación. pp 468-517.
- [ 3 ] W. H. SEVERNS, H. E. DEGLER Y J. C. MILES, "Turbinas de Vapor" en: Reverté, S. A. Energía mediante Vapor, Aire o Gas. (Barcelona, España, 1980) pp 263-306.
- [ 4 ] ASINEL, Turbinas de Vapor. Colección de textos sobre Centrales Termoeléctricas Convencionales y Nucleares. (Barcelona, España, 1985) Vol. CO2. pp 1-53.
- [ 5 ] RUBEN RUIZ RODRÍGUEZ, "Principios de Operación y Preparación Mecánica para el arranque en vacío de la Turbina de Vapor 6B-201T de la Planta de Etileno del Complejo Petroquímico Morelos (PEMEX)". (Tesis para obtener el grado de Ingeniero Mecánico Electricista; Edo. de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1989) pp 1-70.
- [ 6 ] JOSE TRINIDAD SANDOVAL ARRIETA [Y] JOSE ANTONIO MENDOZA CANDIA, "Evaluación Técnica y Económica de un Compresor Centrifugo y su Accionador Turbina de Vapor". (Tesis para obtener el grado de Ingeniero Mecánico Electricista; Edo. de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1984) pp 19-21, 137-179.
- [ 7 ] J. L. GONZALEZ RUBIO S, El Sistema de Control de las Turbinas de Gas. Cuernavaca, Morelos, México: Instituto de Investigaciones Eléctricas, Depto. Equipos Mecánicos Rotatorios. División de Sistemas Mecánicos. Noviembre 1992. pp 1-14.
- [ 8 ] V. M. FAIRES [Y] C. M. SIMMANG, "Procesos en los Fluidos" en: UTEHA S. A. Termodinámica. pp 167-210.
- [ 9 ] Z. MAZUR C. [Y] V. M. CRISTALINAS N, Materiales para Componentes de Turbinas de Vapor y de Gas. Cuernavaca, Morelos, México: Instituto de Investigaciones Eléctricas, Depto. Equipos Mecánicos Rotatorios. División de Sistemas Mecánicos. Octubre 1993. pp 1-26. (5304/01).
- [10] "Turbine Blade Repair" M. J. FRASER AND R. D. LEGROS. (United States) Number 4,611,744. September 16, 1986. pp 1-16.
- [11] A. V. SCHEGLIAIEV, Turbinas de Vapor: La Teoría del Proceso Térmico y las Construcciones de Turbinas. Parte I. Editorial Mir Moscú (URSS, 1985) pp 220-239.

- [12] R. C. BATES, Steam Turbine Blades: Considerations in Design and Survey of Blade Failures. Prepared by Westinghouse Electric Corporation. (Pittsburgh, Pennsylvania and Philadelphia, Pennsylvania). Prepared for Electric Power Research Institute (EPRI). (Palo Alto California, August 1981) pp 1.1 - 2.11.
- [13] WILLIAM P. SANDERS, Turbine Steam Path Engineering for Operations and Maintenance Staff. Turbo - Technic Services Incorporated. (Toronto, Ontario, Canada, December 1988) pp 3.1 - 3.30.
- [14] JOSE CRISPIN ZAVALA DIAZ, "Análisis y Predicción de Inestabilidades en Compresores Axiales; Desprendimiento (Stall), Celdas Rotatorias (Rotating Stall) y Propagación de Ondas (Surge)". (Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica; Cuernavaca, Morelos: Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, 1991) pp 1-20.
- [15] Z. MAZUR C. [Y] V. M. CRISTALINAS N, Manual de Métodos para Rehabilitar los Alabes de Turbinas de Gas. Cuernavaca, Morelos, México: Instituto de Investigaciones Eléctricas, Depto. Equipos Mecánicos Rotatorios. División de Sistemas Mecánicos. Octubre 1993. pp 1-118. (5300/01).
- [16] E. R. REINHART [Y] J. P. PORTER, Nondestructive Examination of Steam Turbine Blade: An Assessment. Prepared by Reinhart and Associates, Inc. (Austin, Texas). Prepared for Electric Power Research Institute (EPRI). (Palo Alto California, November 1984) pp 6.1 - 8.3.
- [17] LUIS PENILLA CERVANTES, "Los recubrimientos, una solución contra la corrosión y erosión", (en: Recubrimientos en materiales de centrales termoeléctricas, Boletín IIE; XIII, 1; Enero-Febrero, 1989) pp 3-13.
- [18] IAN M. HUTCHINGS, Monograph on the Erosion of Materials by Solid Particle Impact. Materials Technology Institute of the Chemical Process Industries, Inc. (MTI). (University of Cambridge, October 1983) pp 1-14.
- [19] M. A. LUNA R., V. M. CRISTALINAS N. Y Z. MAZUR C., Limpieza y Procesos de Recubrimiento de Componentes de Turbinas de Vapor y de Gas. Cuernavaca, Morelos, México: Instituto de Investigaciones Eléctricas, Depto. Equipos Mecánicos Rotatorios. División de Sistemas Mecánicos. Octubre 1993. pp 1-44. (5300/03).
- [20] VINCE MERINGOLO METCO, Thermal Spray Coatings. A project of the Corrosion and Materials. Engineering Committee or the Engineering Division. TAPPI PRESS. (Atlanta, G.A., USA, 1983) pp 1-16.

- [21] JAMES H. CLARE [Y] DARYL E. CRAWMER, "Thermal Spray Coatings", en: American Society for Metals (ASM), Metals Handbook. Surface Cleaning, Finishing and Coating, Ninth Edition. (Metals Park, Ohio, USA, 1982) pp 47, 361-374, 538.
- [22] S.T. WLODEK, Erosion Resistant Coatings for Steam Turbines. Prepared by General Electric Company (Schenectady New York). Prepared for Electric Power Research Institute (EPRI) (Palo Alto California, September 1987) pp 1.1 - 2.21.
- [23] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI), Solid Particle Erosion of Utility Steam Turbines - 1980. Prepared by Wood - Leaver and Associates, Inc. (Palo Alto California, July 1983). pp 1.1-3.9.
- [24] R. J. ORTOLANO, Guide for the use of Corrosion-Resistant Coatings on Steam Turbine Blade. Prepared by Southern California Edison Company (Westminster, California). Prepared for Electric Power Research Institute (EPRI) (Palo Alto California, November 1987) pp 1.1-3.13.
- [25] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI), Review of Corrosion Resistant Coatings for Steam Turbine Components. (Palo Alto California, 1983). pp 2.1 - 3.6
- [26] K. J. HOLLINGWORTH AND M. J. FRASER, Available Weld Repair Techniques for Steam Turbine Rotating and Stationary Components. Fourth Turbomachinery Maintenance Congress 1988. Turbomachinery Maintenance Institute. (Singapore, 1988) pp 1-19.
- [27] H. JESPER, W. HENNECKE AND H. REMMERT, Weld Repair of Last Row Steam Turbine Blades out of X 20 Cr 13 Damaged by Erosion Corrosion. VGB KRAFTWERKSTECHNIK 69. (Number 9, September 1989). pp 793-799.
- [28] Z. MAZUR C., E. LEWANDOSKI, V. M. CRISTALINAS N., S. TRZCINSKI [Y] A. HERNÁNDEZ R., Instructivo para el Endurecido por Inducción de los Filos de Entrada de los Alabes. Cuernavaca, Morelos, México: Instituto de Investigaciones Eléctricas, Depto. Equipos Mecánicos Rotatorios, División de Sistemas Mecánicos. Septiembre 1992. pp 1-12. (TTR-012).
- [29] E. STUECKER, G. GARTNER [Y] H. J. HAMEL, "Experience with Residual Stress Measurements at Last Stage LP - Turbine Blades" en: Stress Technology, Inc. (Rochester, New York). Proceedings or the Steam and Combustion Turbine-Blading Conference and Workshop 1992. (Electric Power Research Institute (EPRI) (Palo Alto California 1993) pp 2.23 - 2.26.
- [30] WILHELM ENGELKE, MANFRED LIESE, ARMIN DROSDZIOK [Y] HEINZ TERMUEHLEN, Turbine Generator and Condenser Arrangements for Combined Cycle Power Plants. SIEMENS, Presented at the 1992 International Joint Power Generation Conference (Atlanta, Georgia 1992). Published by the ASME Power Division. pp 1-13.

- [31] W. STORCH, F. MÜHL, W. KUHN AND G. BLUM, A Method for Repair and Regeneration of Erosively Worn Final Stage Moving Blades. VEB Bergmann - Borsig (Strojarstvo May-June 1990) pp 195-201.
- [32] MITUTOYO, MICROPAK 120 SYSTEM. Data Processor for Coordinate Measuring Machine. Guidebook. Vol. 1. pp 2-24.
- [33] MITUTOYO, MICROPAK 120 SYSTEM. Data Processor for Coordinate Measuring Machine. Operation Manual. Vol. 2. pp 25-35
- [34] Z. MAZUR C., E. LEWANDOSKI [Y] V. M. CRISTALINAS N., Tecnología de Rehabilitación y Extensión de Vida Útil para los Alabes de los Últimos Pasos de las Turbinas de Vapor de Baja Presión, Afectados por la Erosión. Cuernavaca, Morelos, México: Instituto de Investigaciones Eléctricas, Depto. Equipos Mecánicos Rotatorios, División de Sistemas Mecánicos. Diciembre 1992. pp 1-9. (IIE/43/5300/I/008/P).
- [35] Z. MAZUR C., E. LEWANDOSKI, V. M. CRISTALINAS N. [Y] KUBIAK S., Alabe Móvil L-0 Modificado con Barra de Estelita Soldada en el Filo de Entrada del Alabe, para Turbinas de 300 MW, MITSUBISHI y 100 MW, WESTINGHOUSE. Cuernavaca, Morelos, México: Instituto de Investigaciones Eléctricas, Depto. Equipos Mecánicos Rotatorios, División de Sistemas Mecánicos. Diciembre 1992. pp 1-5. (IIE/43/5300/I/009/P).
- [36] Z. MAZUR C., E. LEWANDOSKI, V. M. CRISTALINAS N. [Y] KUBIAK S., Dispositivo de Fijación y Escantillones para Modificar el Alabe L-0 de las Turbinas de Vapor de Baja Presión de 300 MW, MITSUBISHI y 100 MW, WESTINGHOUSE. Cuernavaca, Morelos, México: Instituto de Investigaciones Eléctricas, Depto. Equipos Mecánicos Rotatorios, División de Sistemas Mecánicos. Diciembre 1992. pp 1-6. (IIE/43/5300/I/010/P).
- [37] ZDZISLAW MAZUR CZERWIEC [Y] VICTOR MANUEL CRISTALINAS NAVARRO, "Extensión de la Vida Útil de los Elementos de las Turbinas de Vapor mediante Procesos de Soldadura", (en: Interacción Suelo-Estructura, Boletín IIE; XVIII, 2; Marzo-Abril, 1994) pp 95-100.
- [38] MEXICO, COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, Unidades Generadoras en Operación. (Sistema Eléctrico Nacional) 1992. Subdirección de Programación. Gerencia de Programación de Sistemas Eléctricos. (México, D.F., Marzo 1993) pp 3, 4, 12 y 96.
- [39] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (INEGI), El Sector Eléctrico en México. (México, D. F., Edición 1991) pp 14.

## **APENDICE A**

**DIBUJOS DEL DESPIECE DEL DISPOSITIVO DE FIJACION.**

**DIBUJO DE REFERENCIA 5.1**

240

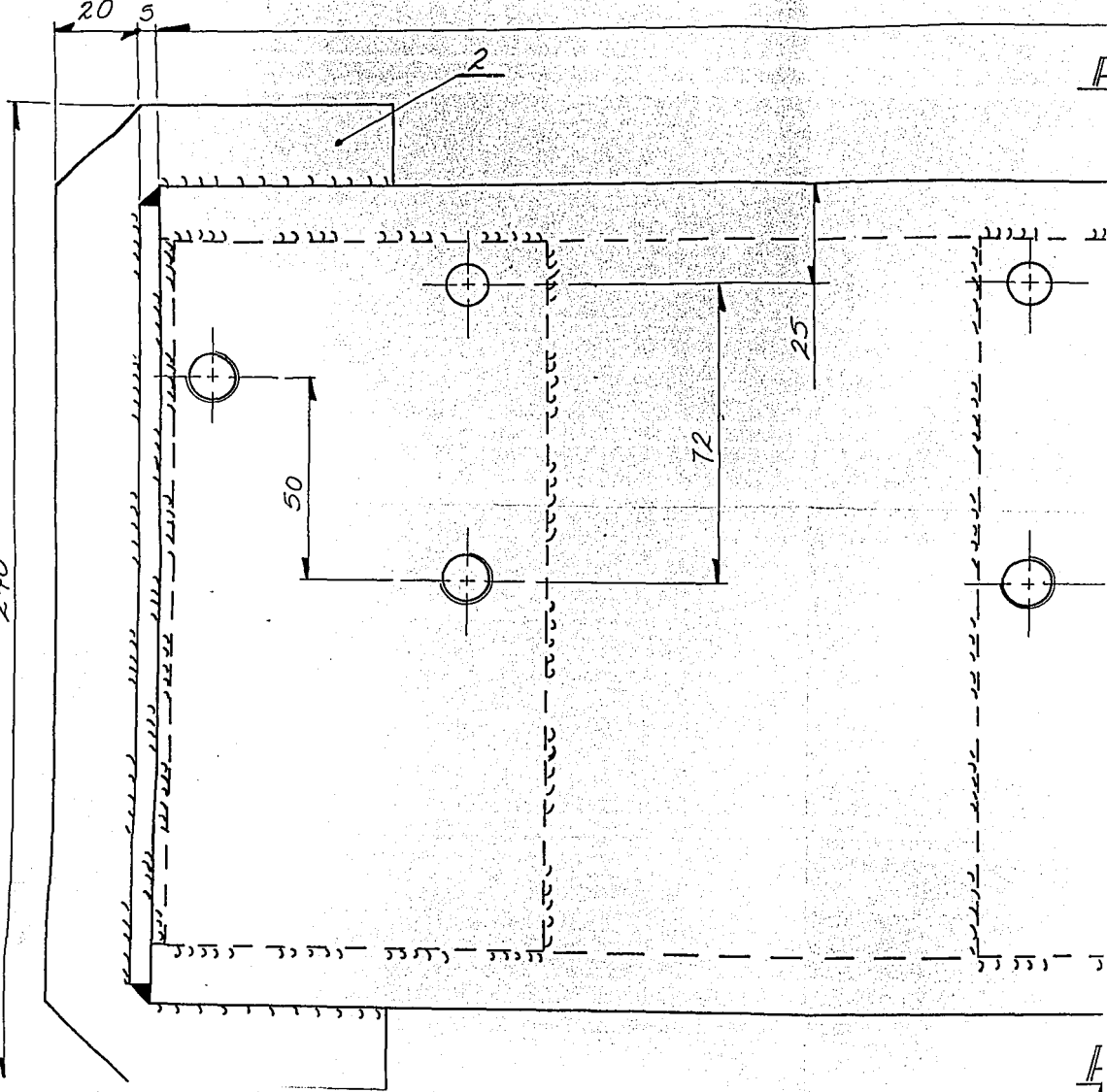
20 5

2

50

72

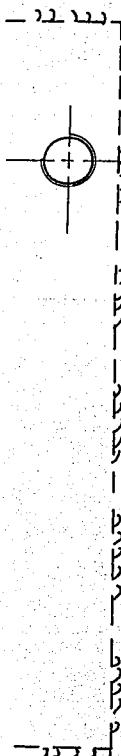
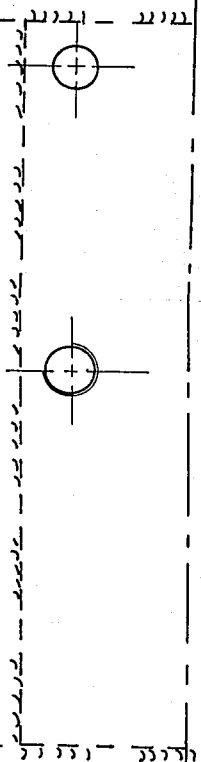
25



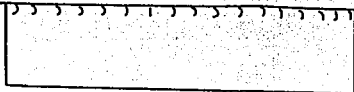
850

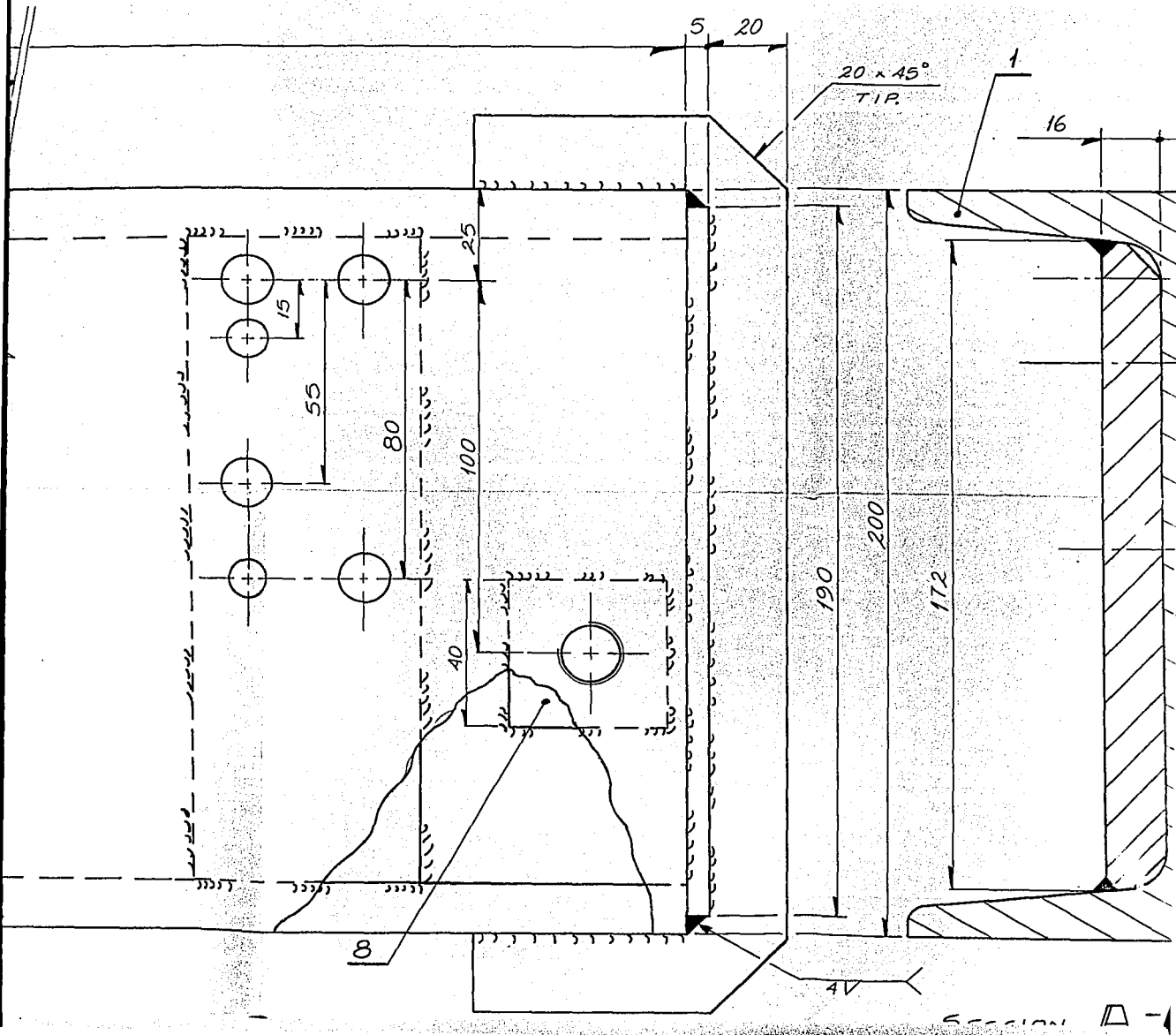


3

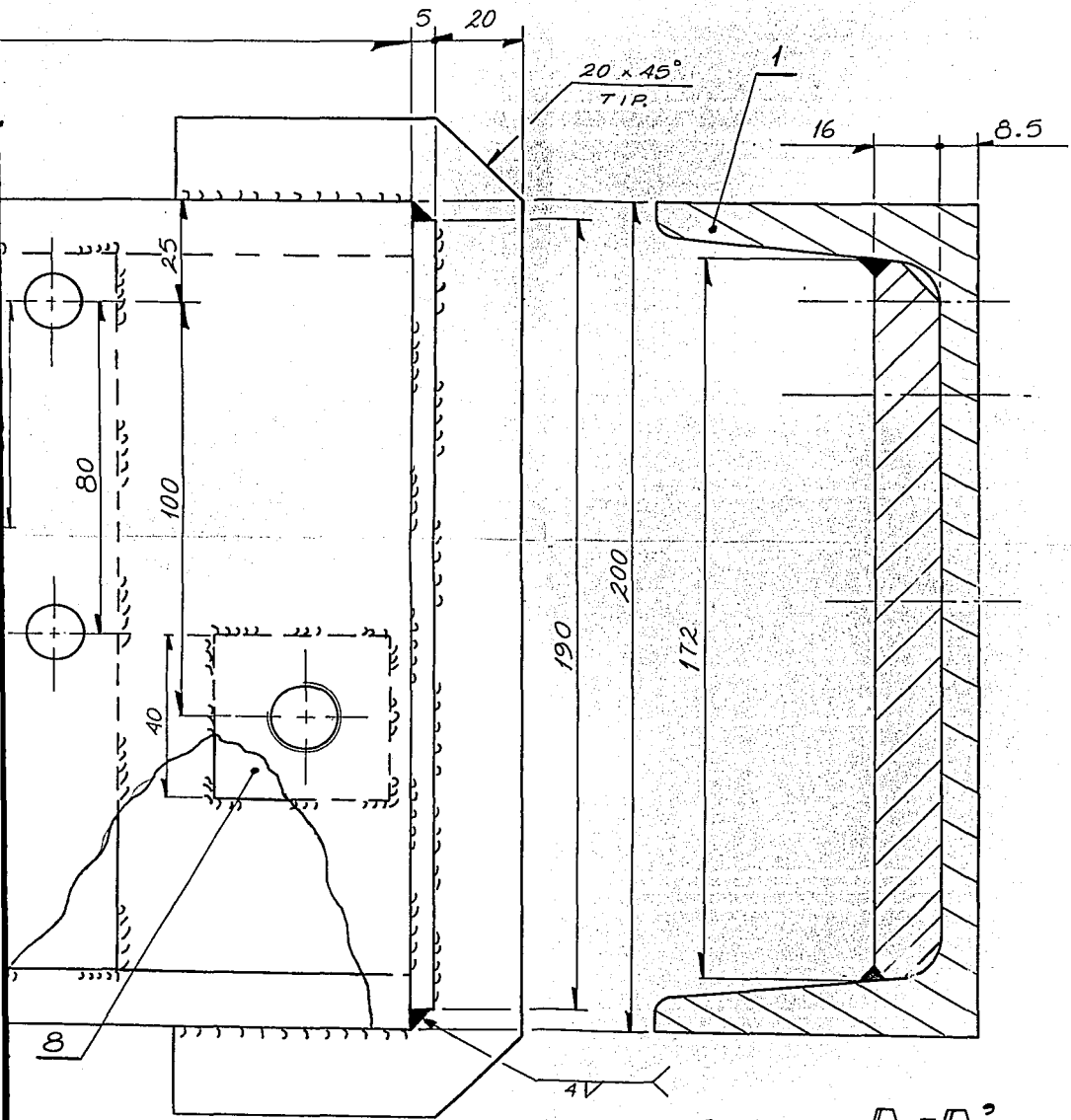


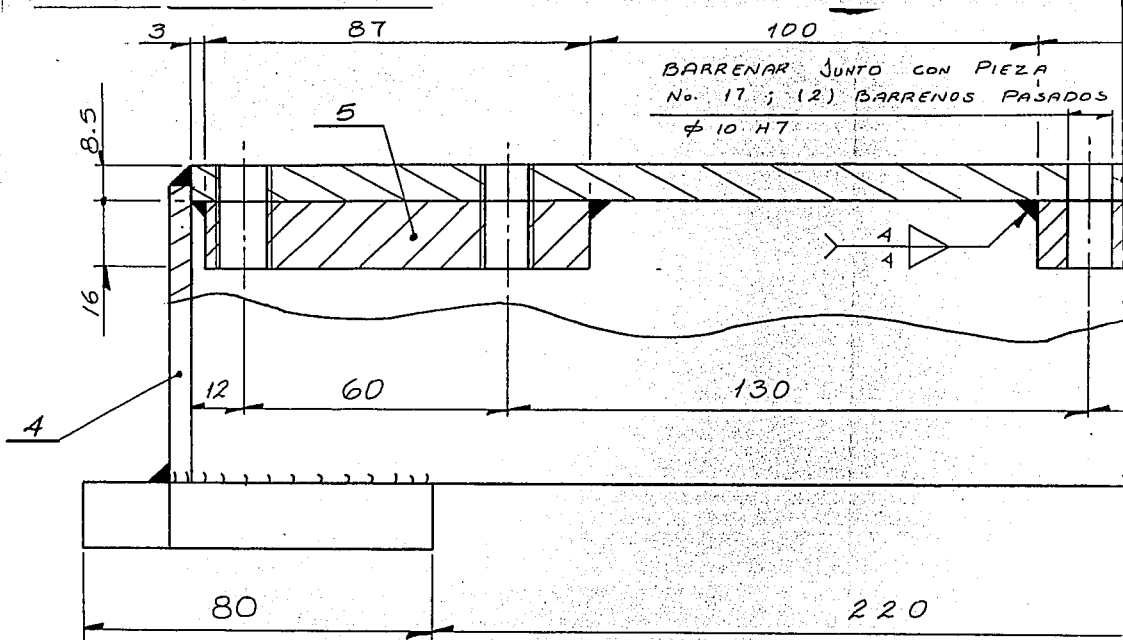
172

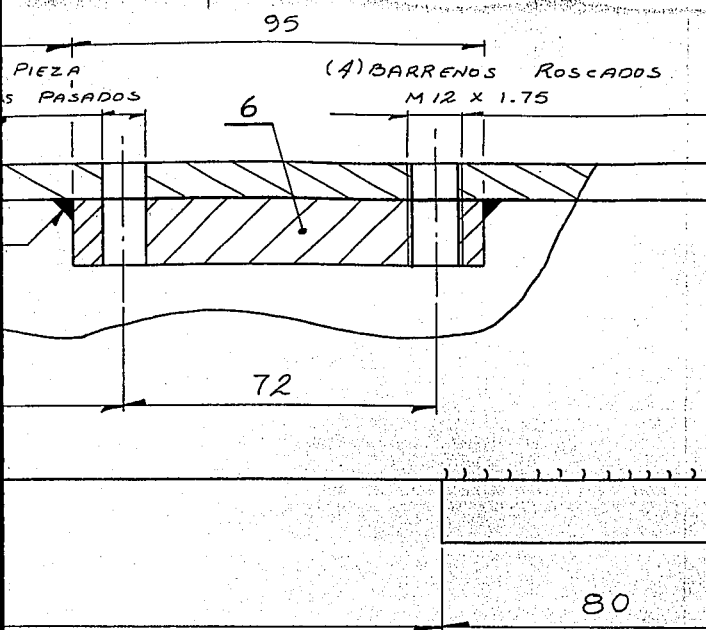










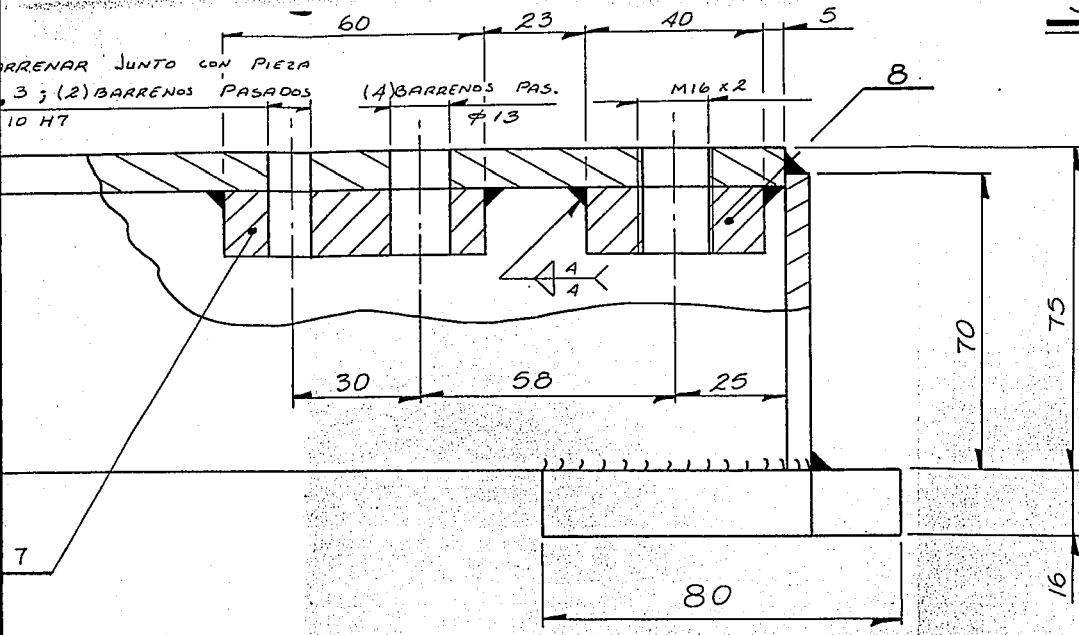


BARRENAR JUN  
 No. 3 ; (2) BARR  
 φ 10 H7

7

NOTA :

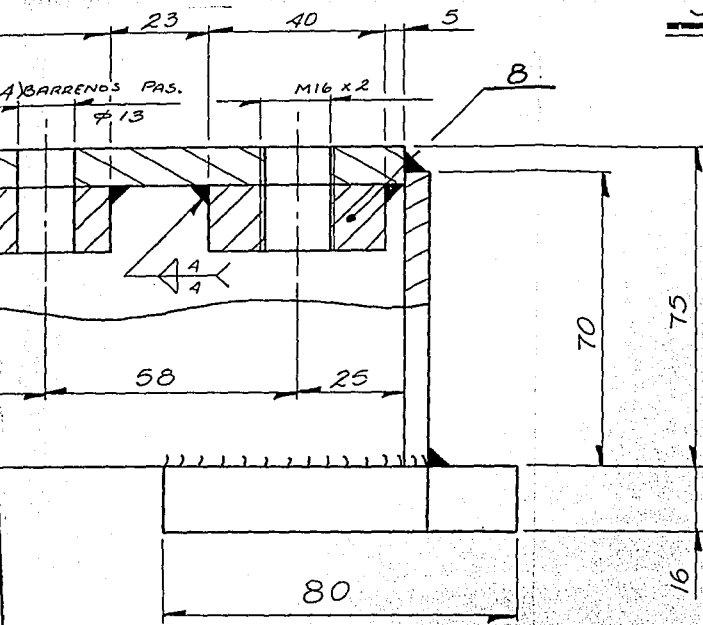
- TODAS LAS SOLDADURAS DEBEN TENER UN FILETE O RELLENO DE 4 mm



LAS SOLDADURAS DE  
 3 RELLENO, TAMARCO

B	1	PLACA 16 x 40 x 40	AISI - 1015	DIBUJ
7	1	PLACA 16 x 60 x 172	AISI - 1015	DIBUJ
6	1	PLACA 16 x 95 x 172	AISI - 1015	DIBUJ
5	1	PLACA 16 x 87 x 172	AISI - 1015	DIBUJ
4	2	PLACA 5 x 70 x 190	AISI - 1015	DIBUJ
3	1	PLACA 16 x 80 x 240	AISI - 1015	DIBUJ
2	2	PLACA 16 x 80 x 240	AISI - 1015	DIBUJ
1	1	CANAL 200 x B 50	AISI - 1015	DIBUJ
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN U.N.				
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS I.E.				
Diseño: D. Palacios	Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha:	
Firma:	MESA			
Reviso: M.C. Mazur				
Firma:				
				No D



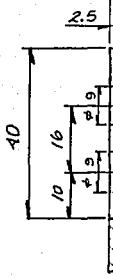
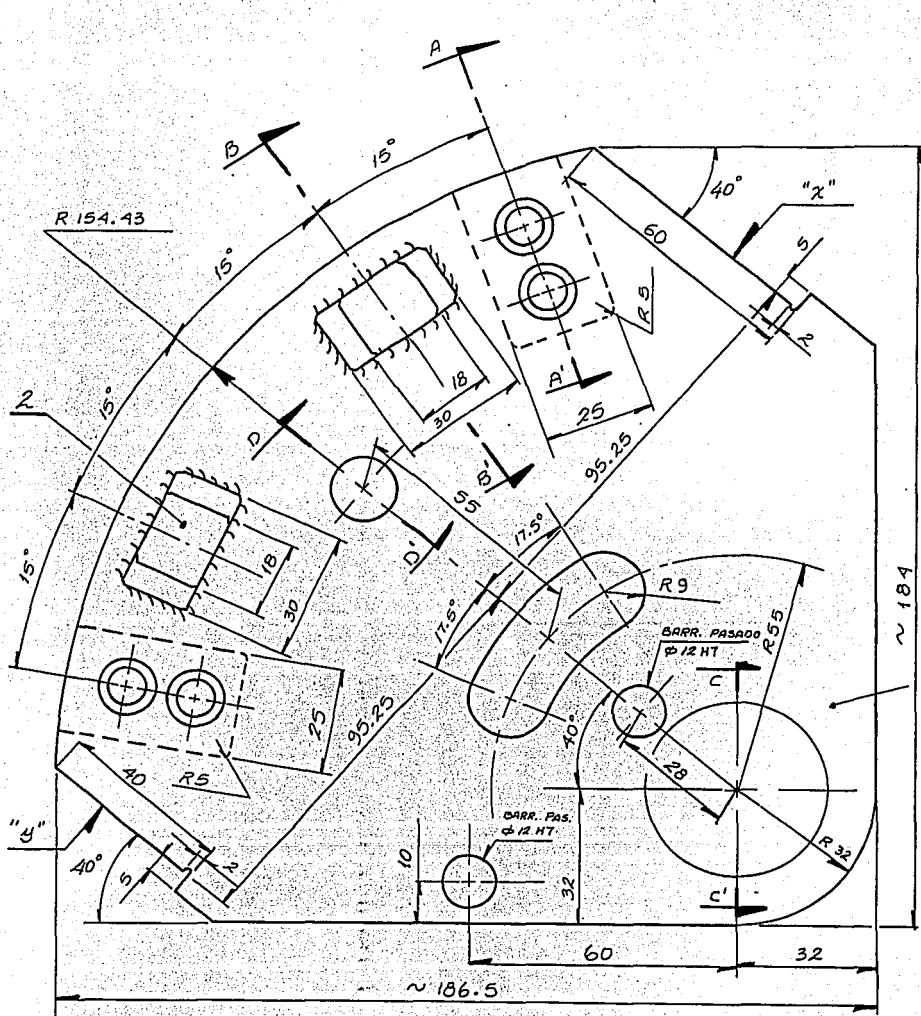
VELOCIDAD " " " "

8	1	PLACA 16 x 40 x 40	AISI - 1015	DIBUJO 5.1
7	1	PLACA 16 x 60 x 172	AISI - 1015	DIBUJO 5.1
6	1	PLACA 16 x 95 x 172	AISI - 1015	DIBUJO 5.1
5	1	PLACA 16 x 87 x 172	AISI - 1015	DIBUJO 5.1
4	2	PLACA 5 x 70 x 190	AISI - 1015	DIBUJO 5.1
3	1	PLACA 16 x 80 x 240	AISI - 1015	DIBUJO 5.1
2	2	PLACA 16 x 80 x 240	AISI - 1015	DIBUJO 5.1
1	1	CANAL 200 x 850	AISI - 1015	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN UNAM

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS IIE.

Diseño: D. Palacios	Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94
Firma:	<b>MESA</b>		
Reviso: M.C. Mazur			
Firma:			
			No Dibujo 5.1.1



SE



$\phi 15$  HT

SE



2	2
1	1
Número	Cantidad

FACULTAD

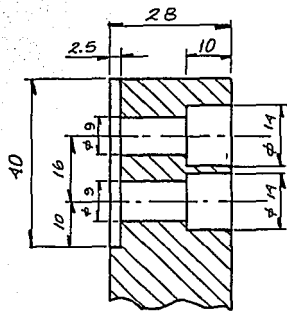
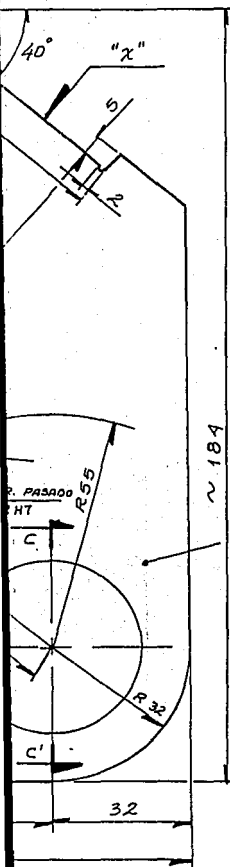
INS

Diseño: D. Palac

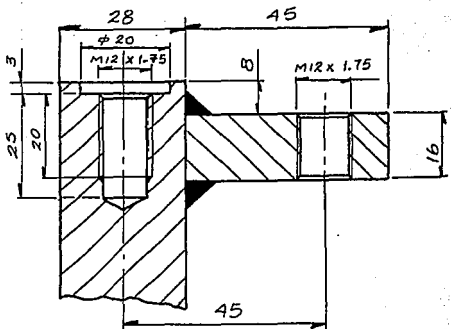
Firma:

Revisó: M.C. Maz

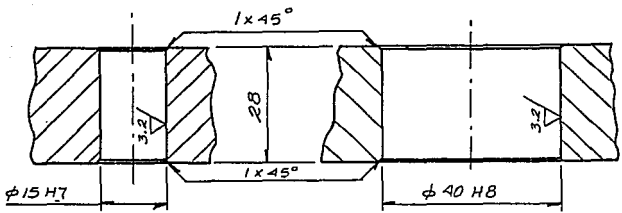
Firma:



SECCION A-A'

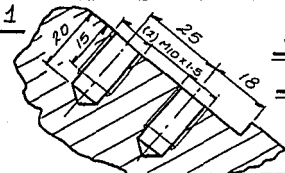


SECCION B-B'

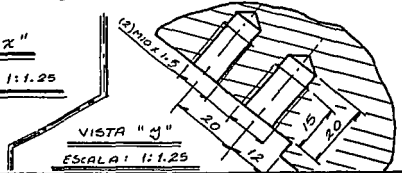


SECCION D-D'

SECCION C-C'

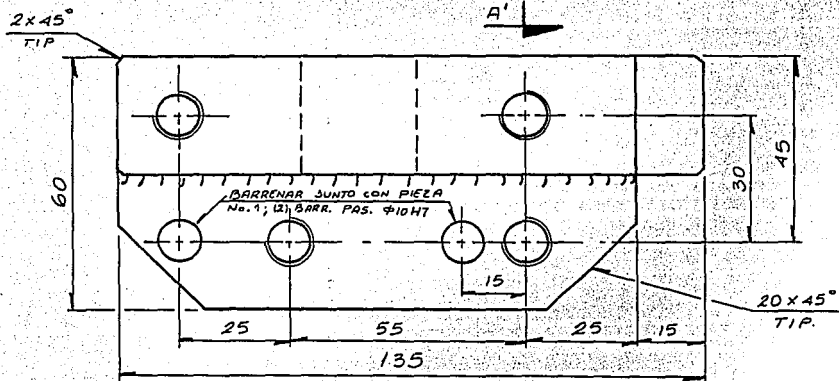
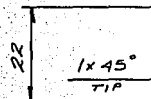
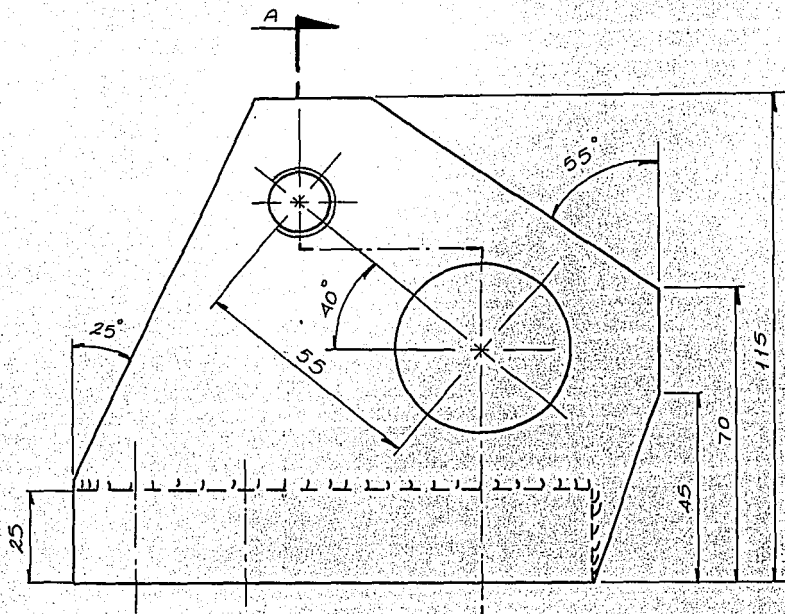


VISTA "X"  
ESCALA: 1:1.25



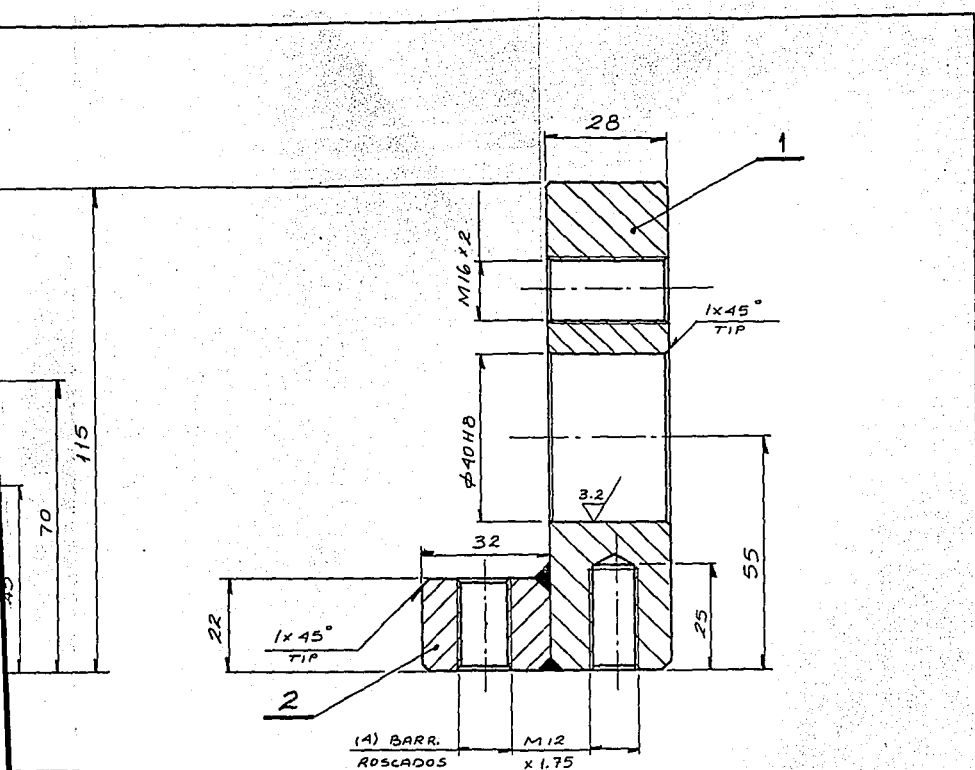
VISTA "Y"  
ESCALA: 1:1.25

2	2	PLACA 16 x 30 x 45	AISI-1038	DIBUJO 5.1
1	1	PLACA 30x188x188	AISI-1038	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94
Firma:		<b>DISCO</b>		
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1. 2



2	1
1	1
Número	Cantidad
FACULTAD	
INSTITUTO	
Diseño: D. Palacios	
Firma:	
Revisó: M.C. Mazu	
Firma:	

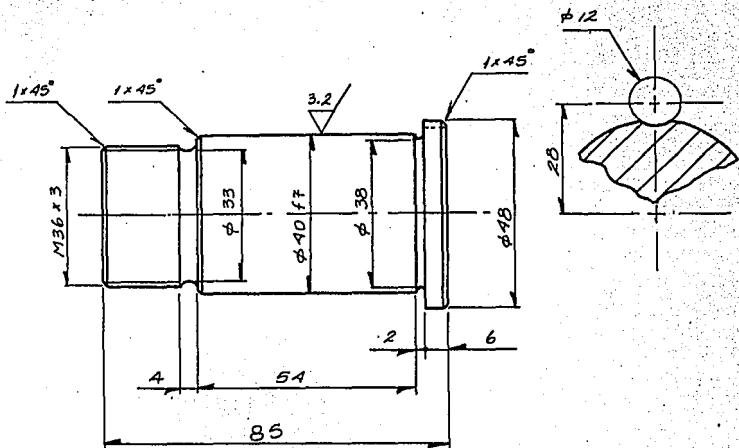




SECCION A-A'

2	1	PLACA 30 x 25 x 120	AISI - 1038	DIBUJO 5.1
1	1	PLACA 30 x 120 x 135	AISI - 1038	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN U.N.A.M.				
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS I.I.E.				
Diseño: D. Palacios	Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94	
Firma:	<b>BASE DE DISCO</b>			
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1.3

20 x 45°  
TIP.



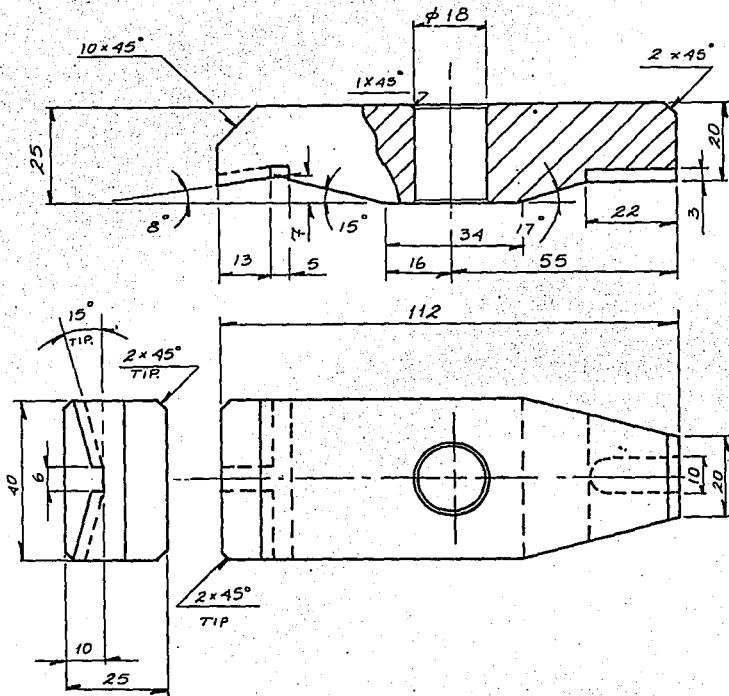
NOTA:

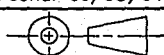
-TEMPLADO Y REVENIDO  
A ~ 30 HRC.

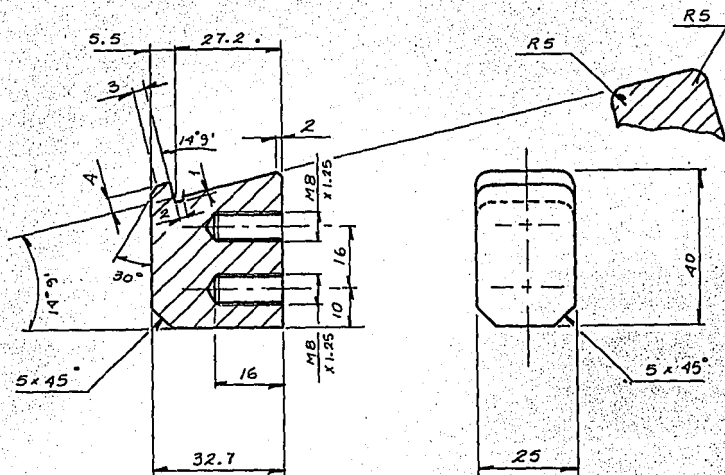
4	1	MANDRIL	AISI - 1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios	Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94	
Firma:	<b>MANDRIL</b>			
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1.4

**TESIS SIN PAGINACION**

**COMPLETA LA INFORMACION**



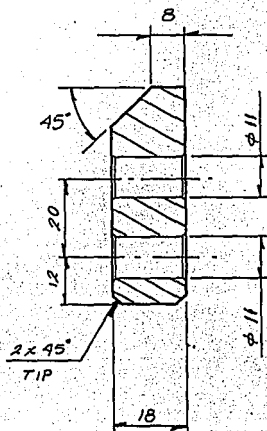
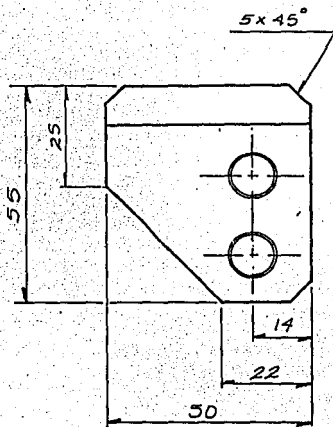
5	2	GARRA PARA RAIZ	AISI-1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94
Firma:		<b>GARRA PARA RAIZ</b>		
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1.5



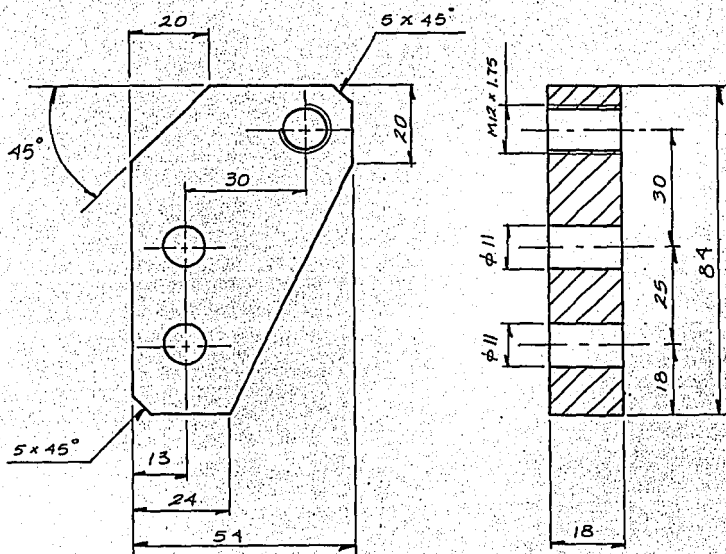
NOTA:

- TEMPLADO Y REVENIDO  
A ~ 30 HRC

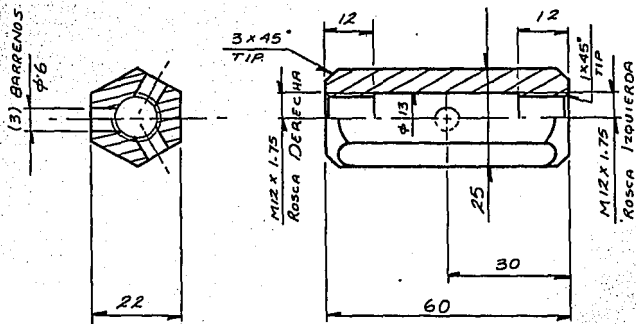
6	2	DADO	AISI -1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios	Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94	
Firma:	<b>DADO</b>			
Revisó: M.C. Mazur				No. Dibujo: 5.1.6
Firma:				



7	1	PLACA BASE INF.	AISI-1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios	Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94	
Firma:	<b>PLACA BASE INFERIOR</b>			
Revisó: M.C. Mazur				No. Dibujo: 5.1.7
Firma:				

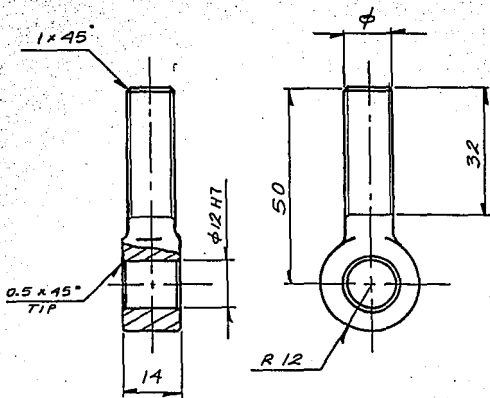


8	1	PLACA BASE SUP.	AISI-1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios	Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94	
Firma:	<b>PLACA BASE SUPERIOR</b>			
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1.8



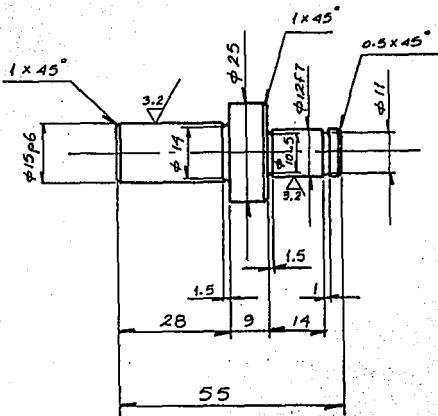
9	1	TUERCA	AISI-1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94
Firma:		<b>TUERCA</b>		
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1.9





NUMERO	CANTIDAD	DESCRIPCION	$\phi$	ROSCA
10	1	TORNILLO	M 12 x 1.75	DERECHA
11	1	DE OJO		IZQUIERDA

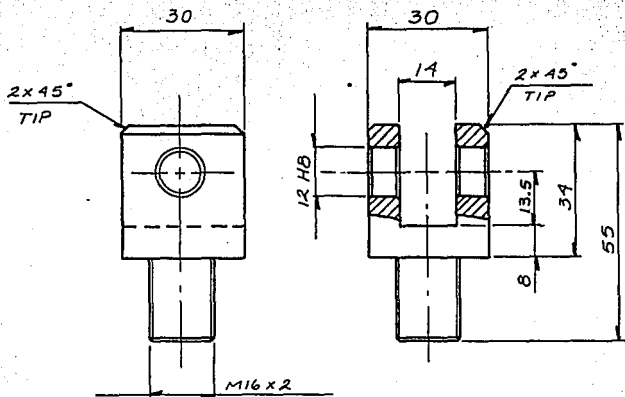
IND.	IND.	IND.	AISI-1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios	Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94	
Firma:	<b>TORNILLOS DE OJO</b>			
Revisó: M.C. Mazur				No. Dibujo: 5.1.10
Firma:				



NOTA:

- *TEMPLADO Y REVENIDO*  
*A ~ 45 HRC*

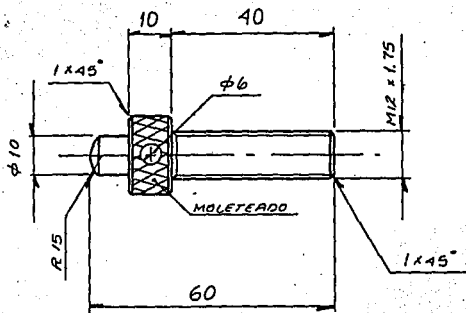
12	1	PERNO	AISI - 1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios	Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94	
Firma:	<b>PERNO</b>			
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1.11



NOTA:

- TEMPLADO Y REVENIDO  
A ~ 30 HRC

13	1	TORNILLO	AISI-1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94
Firma:		<b>TORNILLO</b>		
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1.12

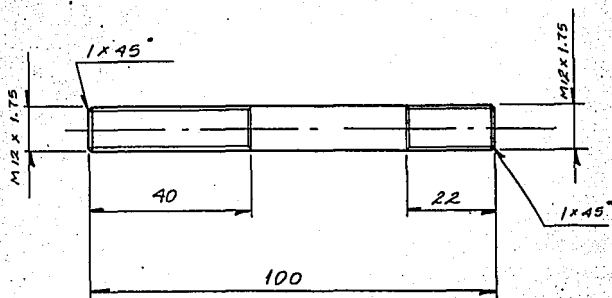


NOTA:

- *TEMPLADO Y REVENIDO*

*A ~ 30 HRC.*

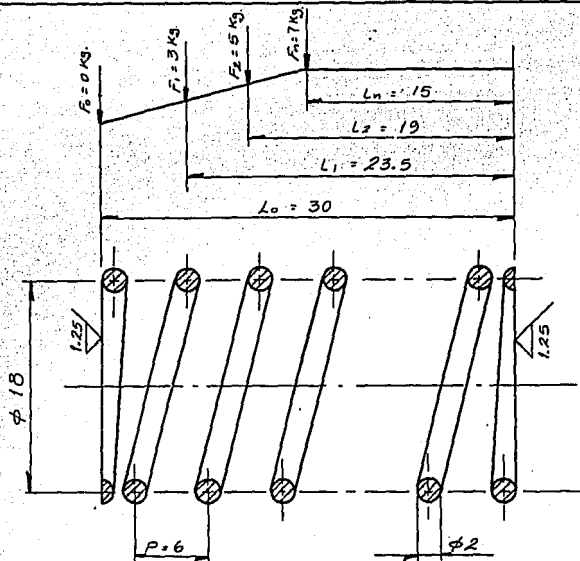
14	2	TORNILLO M12x60	AISI-1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios	Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94	
Firma:	TORNILLO M12x60			
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1.13



NOTA:

-TEMPLADO Y REVENIDO  
A ~ 30 HRC

15	2	ESPARRAGO ROSCADO M12	AI SI 1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94
Firma:		<b>ESPARRAGO ROSCADO</b>		
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1.14



NOTAS:

- MATERIAL : AISI 9262
- ESPIRAS ACTIVAS :  $n_A = 5$
- ESPIRAS TOTALES :  $n_T = 6$
- TEMPLADO Y REVENIDO : 25 ~ 32 HRC
- DOBLAR LAS ESPIRAS EXTERNAS Y RECTIFICAR

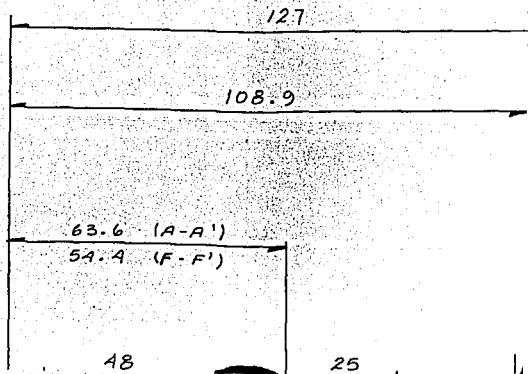
16	2	RESORTE	AISI-9262	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios	Esc: SIN	Acot: mm	Fecha: 09/05/94	
Firma:	<b>RESORTE</b>			
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1.15

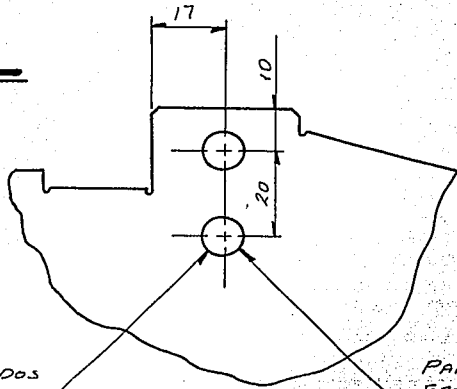
DETALLE "X"

EN VISTA "Z"

(2) BARR. ROSCADOS  
M10x1.5; L=20

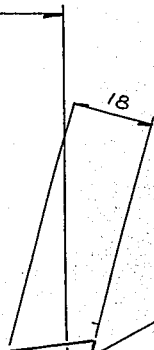
SOLO EN EL SOPORTE  
IZQUIERDO; SECCION A-A'



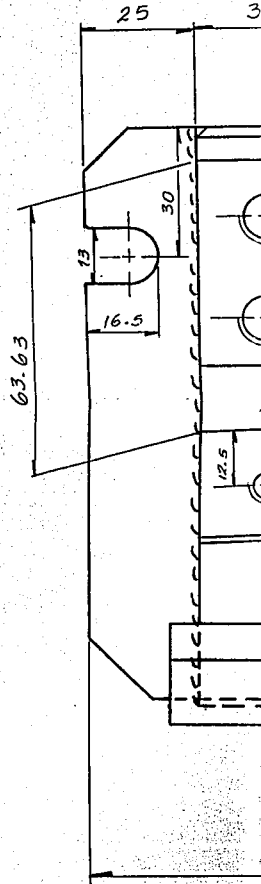


CADOS  
 20  
 SOPORTE  
 SECCION A-A'

PARA EL PROCESO DE  
 FRESADO DEL FILO DE  
 ENTRADA DEL ALABE  
 INSTALAR LA PIEZA No. 25

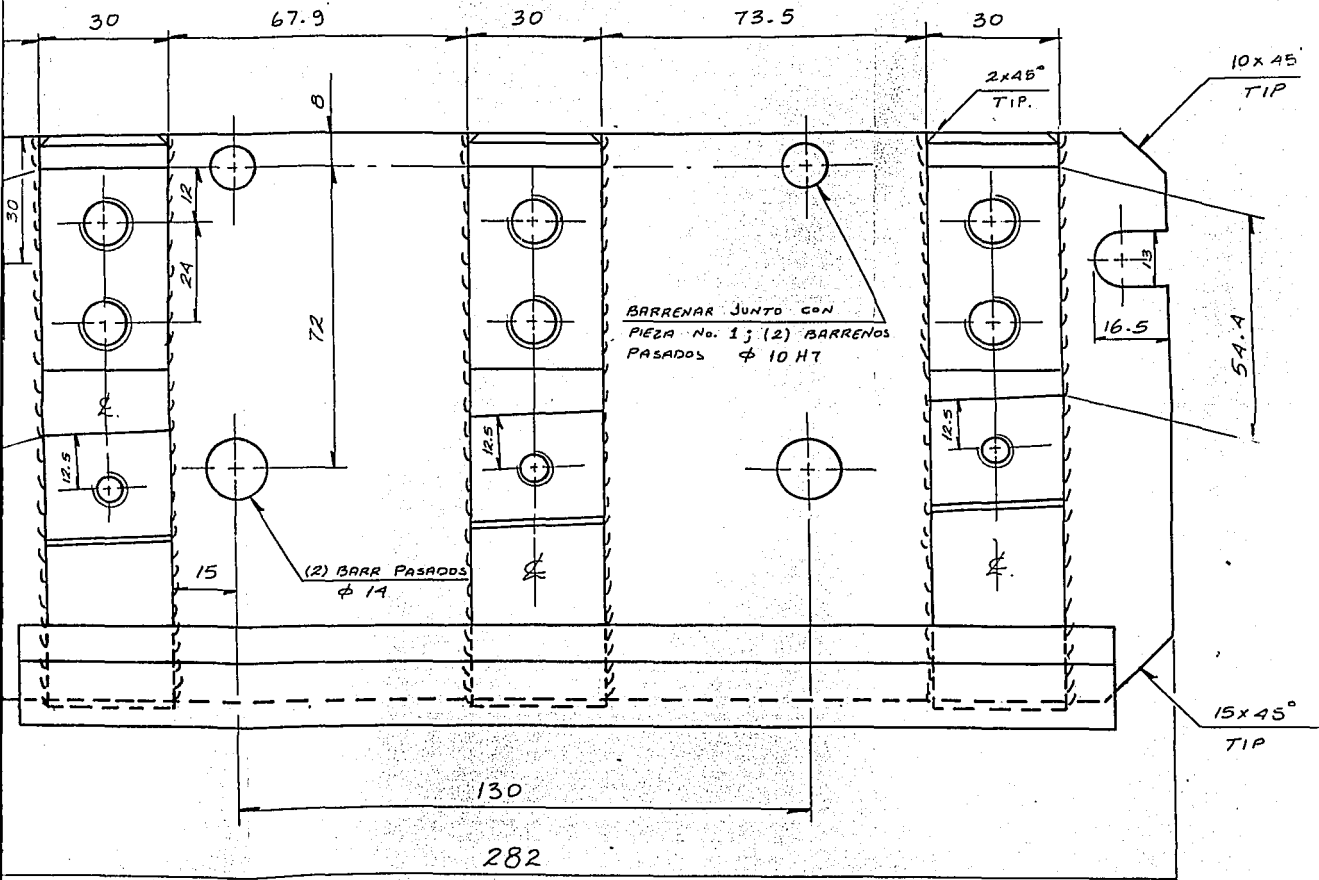


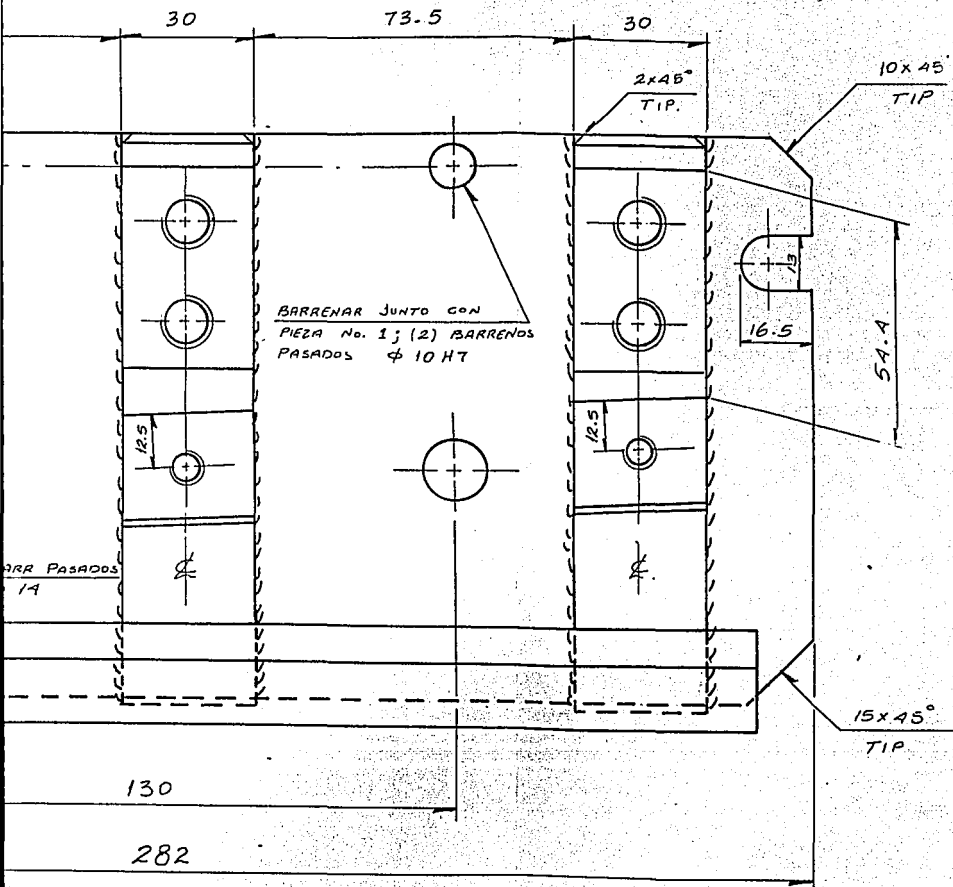
SOLDAR PIEZA No. 18-2  
 LOCALIZADA EN EL DIBUJO 5.1.17

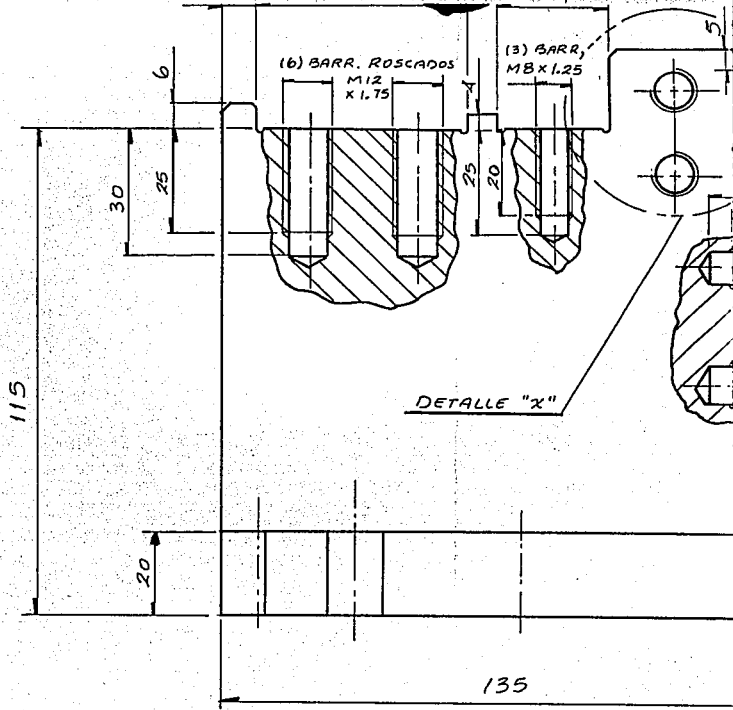


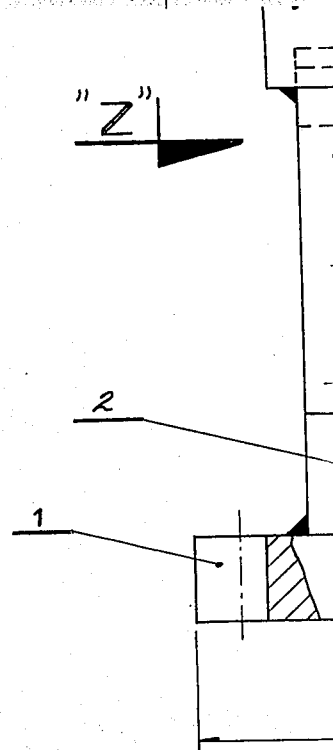
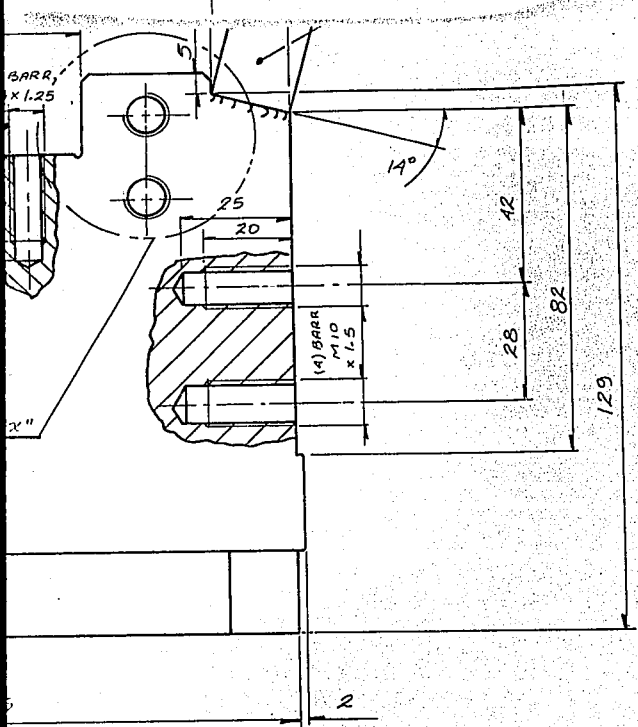
18-2

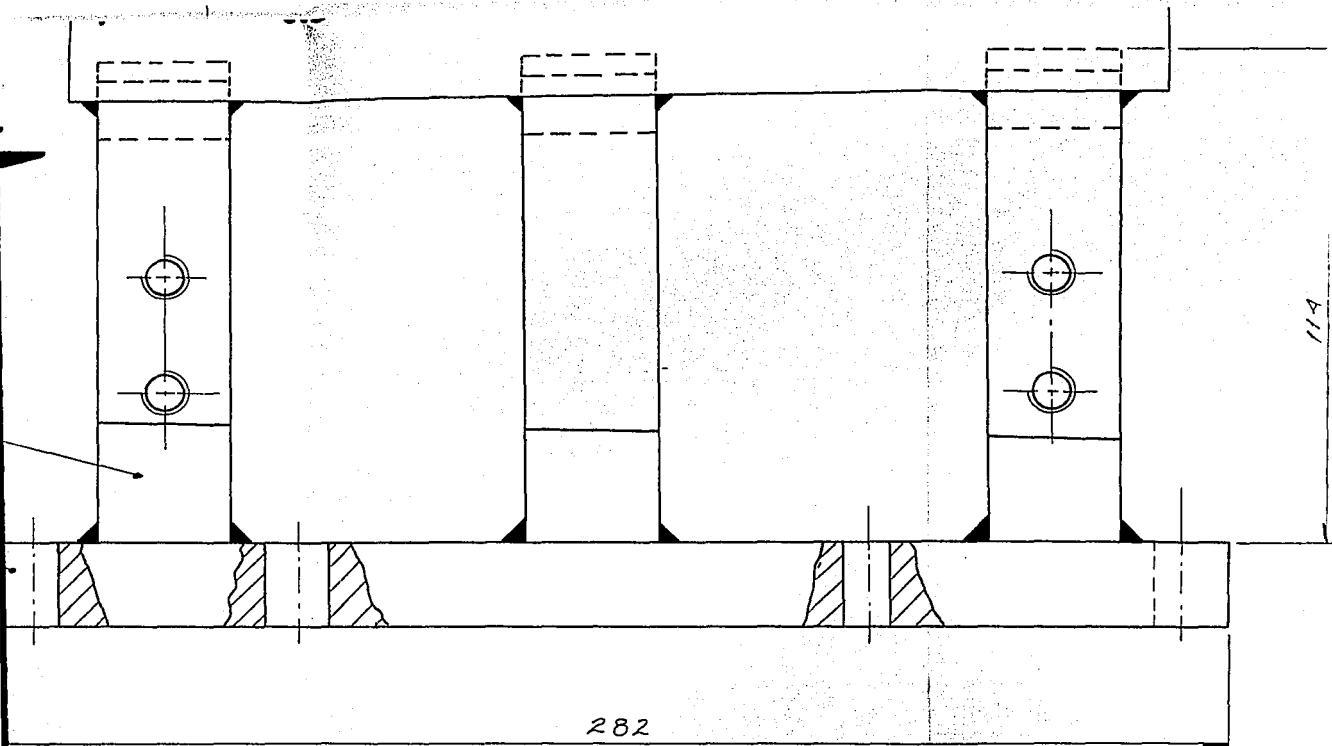







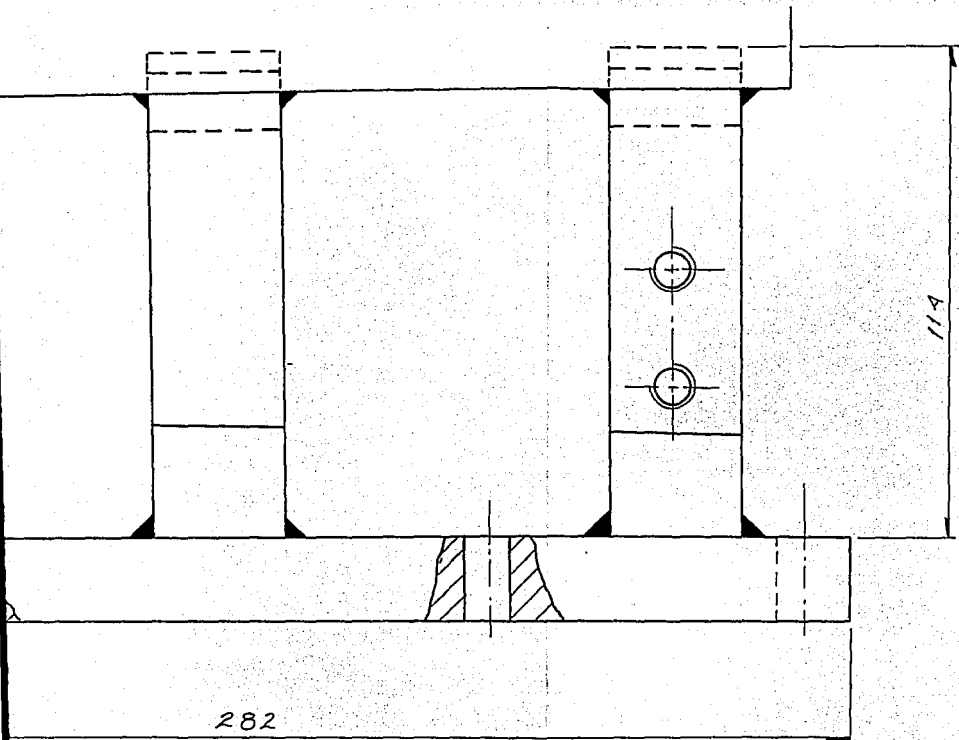






282

2	3	PLACA 30 x 117 x 137	AISI-1045	DI
1	1	PLACA 20 x 135 x 282	AISI-1045	DI
Número	Cantidad	Descripción	Material	E
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS I.I.				
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fech
Firma:		<b>CUERPO PARA FIJAR LA PALETA</b>		
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No.

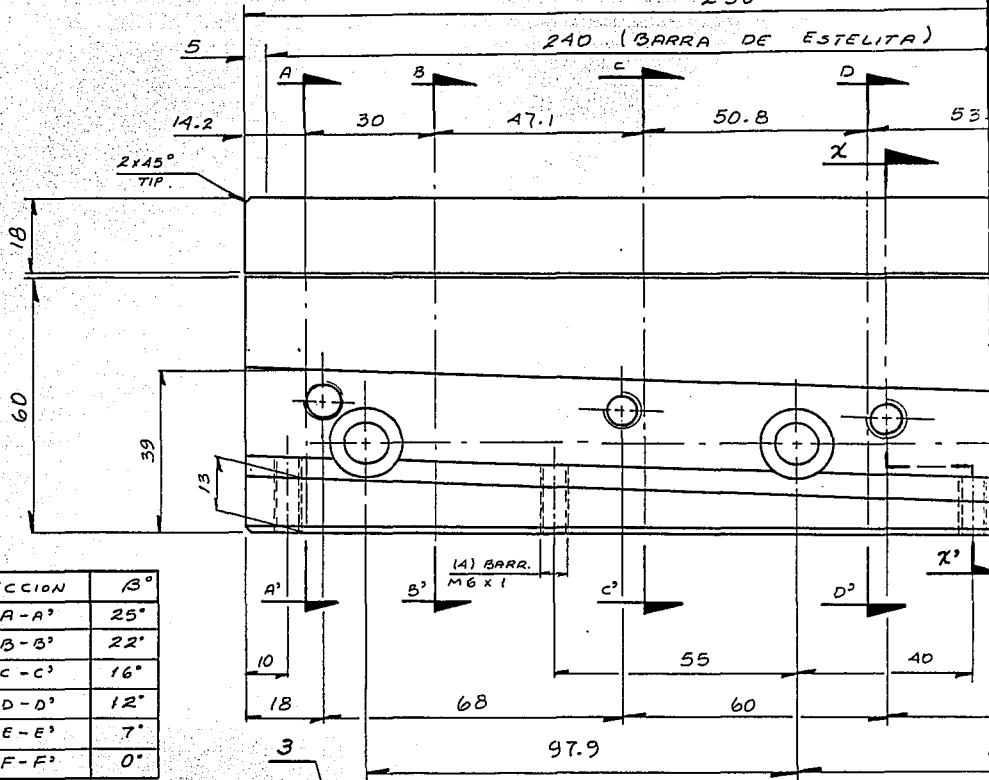


282

2	3	PLACA 30 x 117 x 137	AISI-1045	DIBUJO 5.1
1	1	PLACA 20 x 135 x 282	AISI-1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN L.P.A.M.				
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS I.I.E.				
Diseño: D. Palacios	Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94	
Firma:	<b>CUERPO PARA FIJAR LA PALETA</b>			
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1.16

250

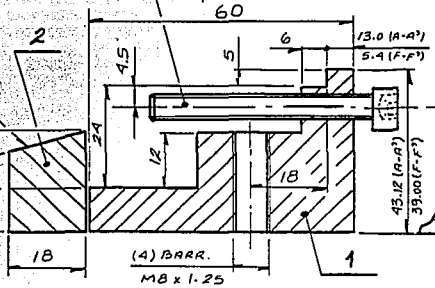
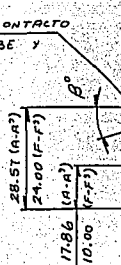
240 (BARRA DE ESTELITA)



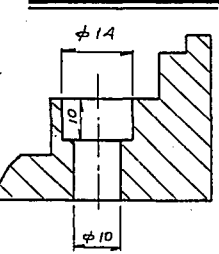
SECCION	$\beta^\circ$
A-A'	25°
B-B'	22°
C-C'	16°
D-D'	12°
E-E'	7°
F-F'	0°

VERIFICAR CONTACTO  
CON EL ALABE Y  
CORREGIR.

SECCION  
X-X'



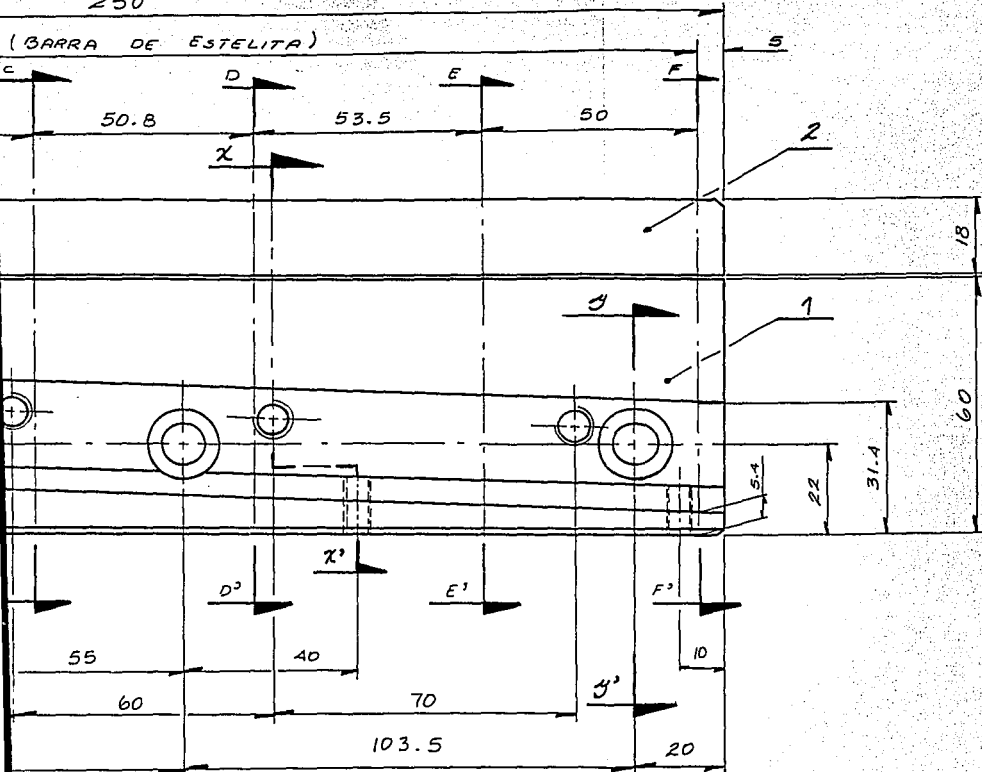
SECCION 4-4'



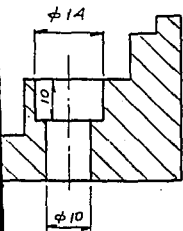
3	
2	
1	
Número	Con
FACUL	
Diseño: D. Pa	
Firma:	
Revisó: M.C. M	
Firma:	

250

(BARRA DE ESTELITA)



SECCION Y-Y'



3	4	TORNILLO M6x50	AI SI - 1045	DIBUJO 5.1
2	1	BARRA 18x30x250	AI SI - 1045	DIBUJO 5.1
1	1	SOPORTE 45x60x250	AI SI - 1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN U.N.A.M.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS I.I.E.

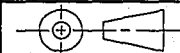
Diseño: D. Palacios Esc: 1:1 Acot: mm Fecha: 09/05/94

Firma:

Revisó: M.C. Mazur

Firma:

SOPORTE GUIA

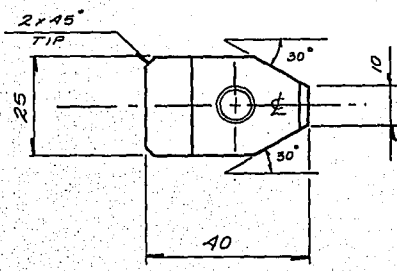
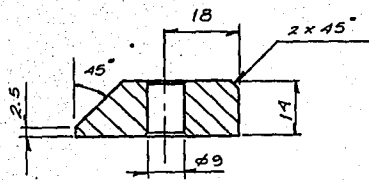


No. Dibujo: 5.1.17

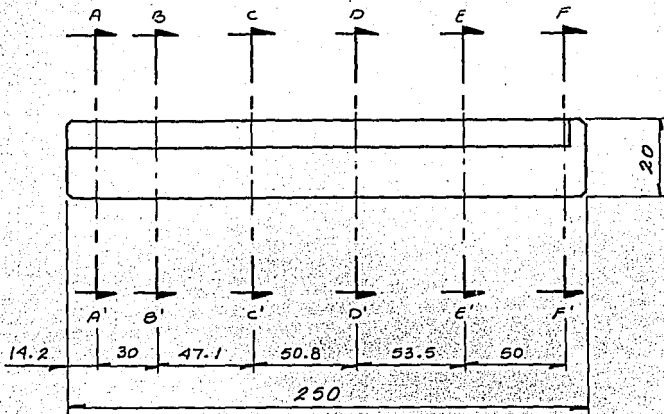


**TESIS SIN PAGINACION**

**COMPLETA LA INFORMACION**

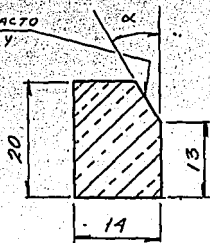


19	4	BARRA SUJETADORA	AISI - 1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios	Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94	
Firma:	<b>BARRA SUJETADORA PARA ESTELITA</b>			
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1.18



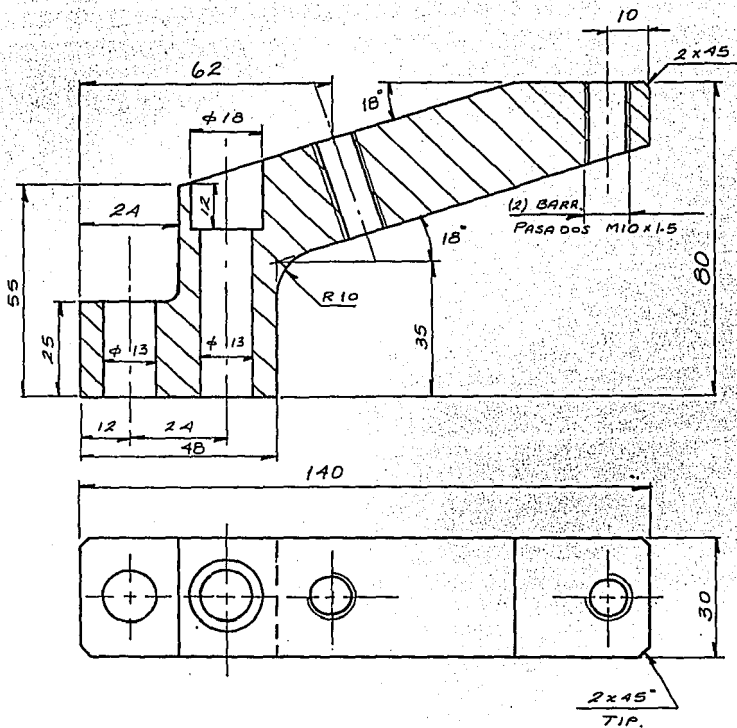
VERIFICAR CONTACTO  
CON EL ALABE Y  
CORREGIR.

SECCION	$\alpha$
A-A'	25°
B-B'	22°
C-C'	16°
D-D'	12°
E-E'	7°
F-F'	0°

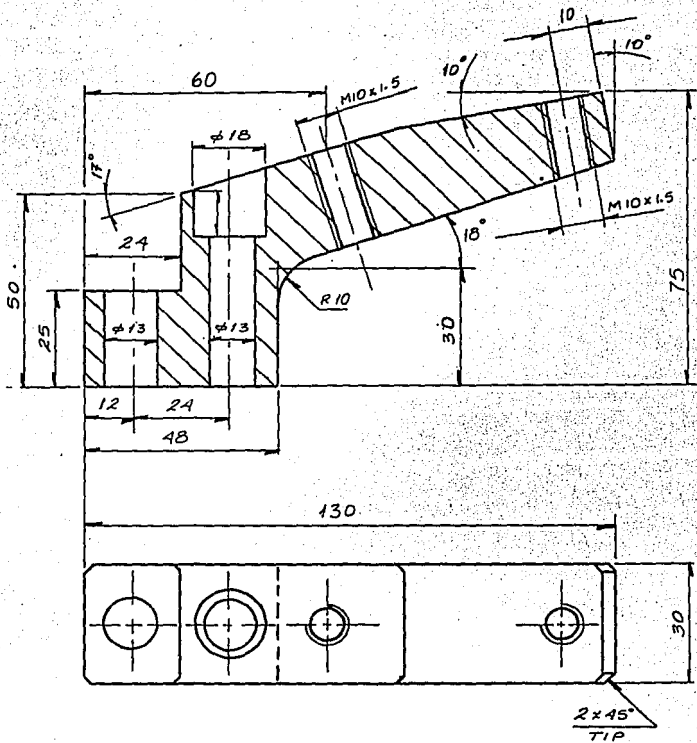


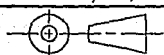
SECCION A-A'

20	1	BARRA DE COBRE	COBRE	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios	Esc: SIN	Acot: mm	Fecha: 09/05/94	
Firma:	<b>BARRA DE COBRE</b>			
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1.19

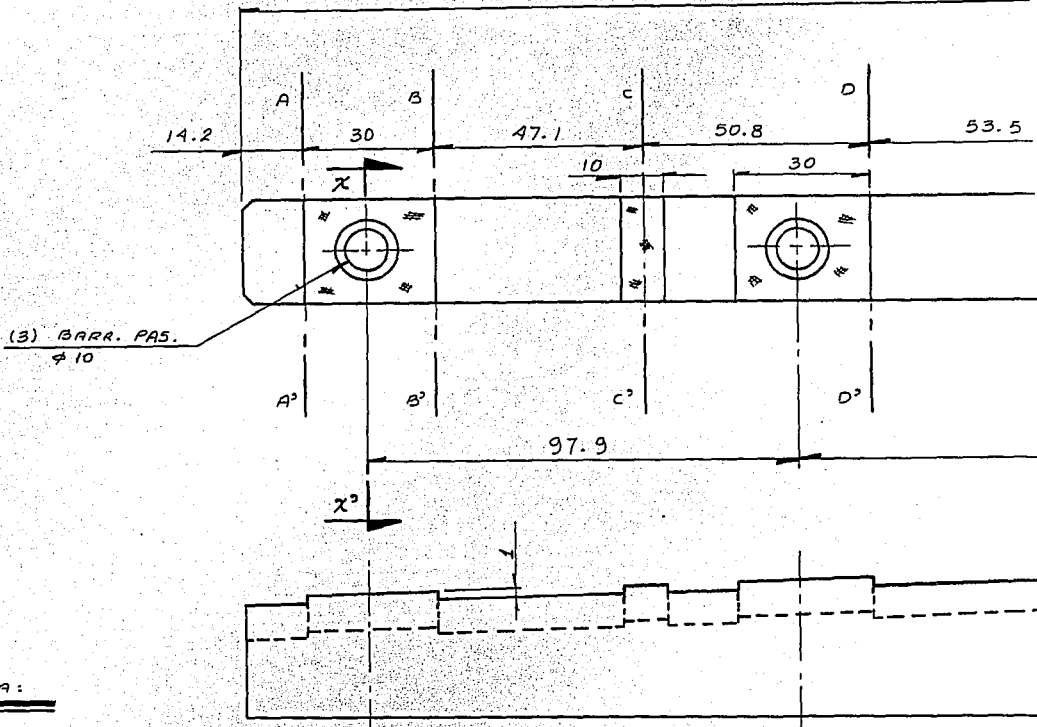


22	2	BRAZO CENTRAL DERECHO	AISI-1045	DIBUJO 5.1	
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.	
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILAN				U.N.A.M.	
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.	
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94	
Firma:		<b>BRAZO CENTRAL Y DERECHO</b>			
Revisó: M.C. Mazur					No. Dibujo: 5.1.20
Firma:					



23	1	BRAZO IZQUIERDO	AISI - 1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios	Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94	
Firma:	<b>BRAZO IZQUIERDO</b>			
Revisó: M.C. Mazur				No. Dibujo: 5.1.21
Firma:				

250

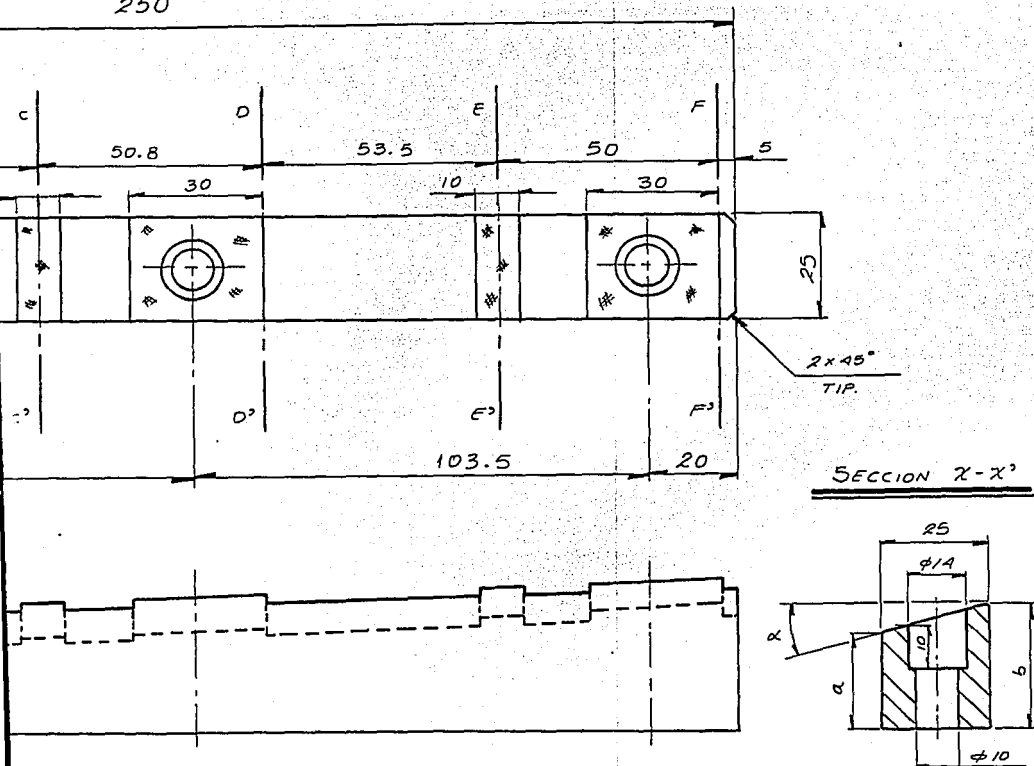


NOTA:

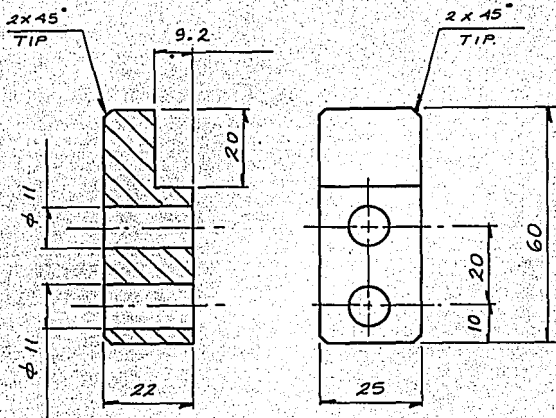
- FRESAR SUPERFICIES  
INDICADAS (#), SEGUN  
DATOS DE LA TABLA;  
VERIFICAR CONTACTO  
CON EL ALABE Y  
CORREGIR SI ES  
NECESARIO.

24	1
Número	Cantidad
FACULTAD	
INSTITUTO	
Diseño: D. Palacios	
Firma:	
Revisó: M.C. Mazur	
Firma:	

250

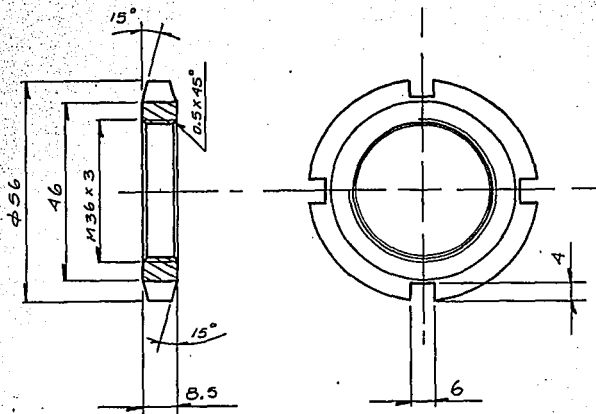


24	1	ALMOHADILLA DE SALIDA	AISI-1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios	Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94	
Firma:	ALMOHADILLA DE SALIDA			
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1.22

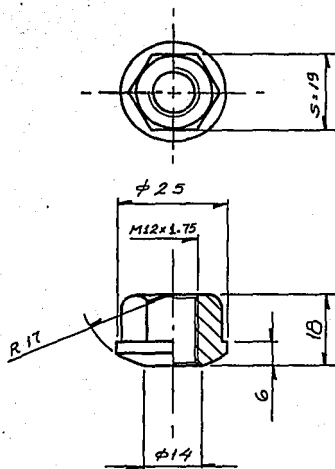


25	1	BASE FRENTE DE PALETA	ALSI - 1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios	Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94	
Firma:	<b>BASE FRENTE DE PALETA</b>			
Revisó: M.C. Mazur				No. Dibujo: 5.1.23
Firma:				

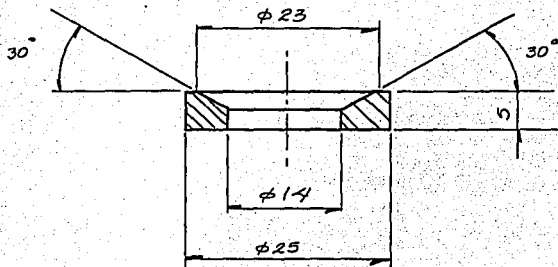




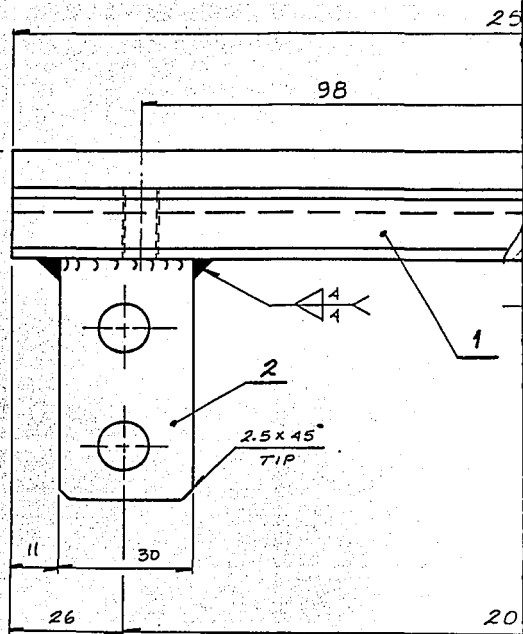
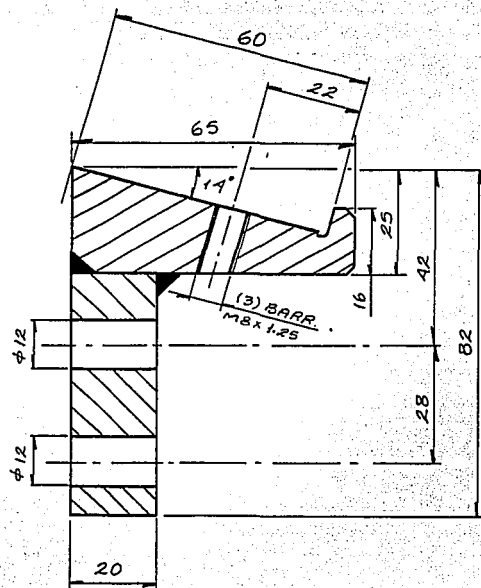
26	2	TUERCA	AISI - 1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios		Esc: 1 1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94
Firma:		<b>TUERCA</b>		
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1.24



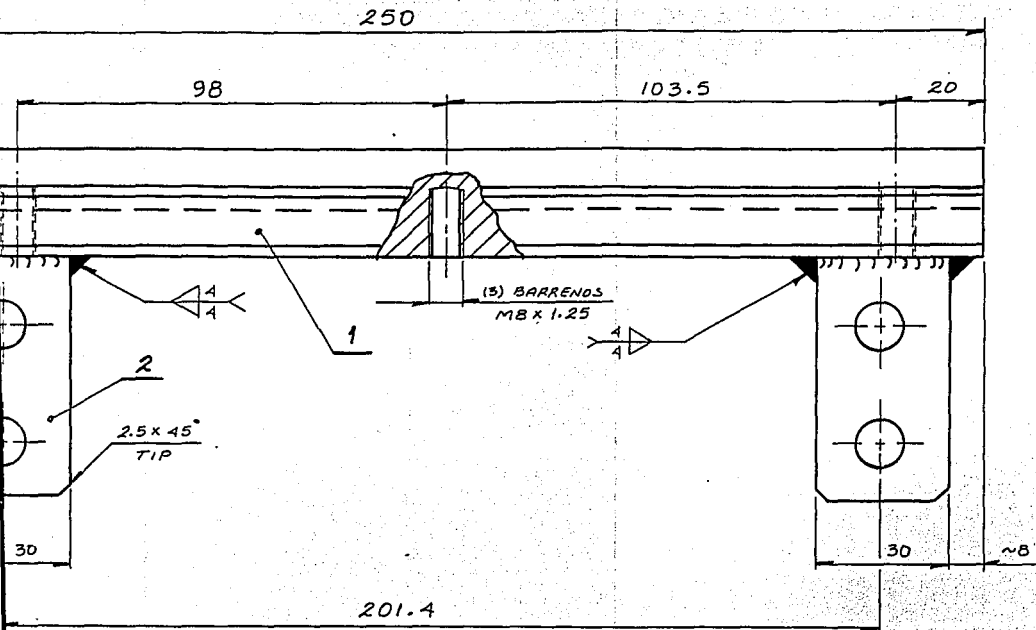
36	2	TUERCA ESFERICA M12	AISI-1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios		Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94
Firma:		TUERCA ESFERICA		
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1.25



40	2	ARANDELA ESFERICA $\phi 14$	AISI-1045	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios		Esc: 2:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94
Firma:		<b>ARANDELA ESFERICA</b>		
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1.26



2	2
1	1
Número	Conti
FACULTA	
IN	
Diseño: D. Paol	
Firma:	
Revisó: M.C. Ma	
Firma:	



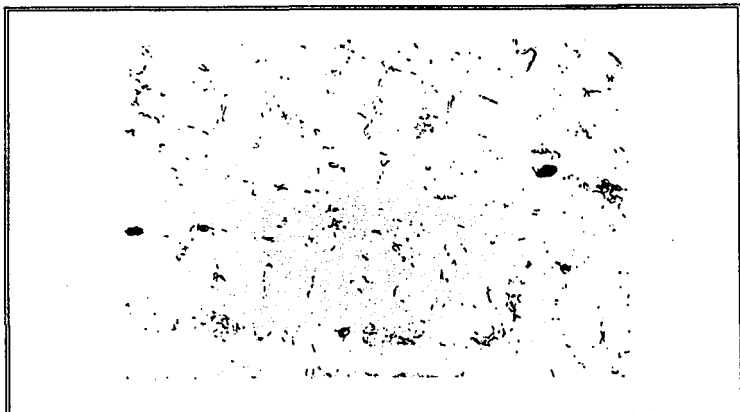
2	2	PLACA 20 x 30 x 57	AISI-1038	DIBUJO 5.1
1	1	BARRA 25 x 55 x 250	AISI-1038	DIBUJO 5.1
Número	Cantidad	Descripción	Material	Dibujo de Ref.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS				I.I.E.
Diseño: D. Palacios	Esc: 1:1	Acot: mm	Fecha: 09/05/94	
Firma:	<b>BASE PARA SOPORTE GUIA</b>			
Revisó: M.C. Mazur				
Firma:				
				No. Dibujo: 5.1.27

## **APENDICE B**

**RESULTADO DEL ANALISIS METALOGRAFICO DEL INJERTO  
DE ESTELITA 6B, REALIZADO POR LA CORPORACION MEXICANA  
DE INVESTIGACION EN MATERIALES (CMIM).**

**RESULTADO DEL ANALISIS METALOGRAFICO DEL INJERTO  
DE ESTELITA 6B, REALIZADO POR LA CORPORACION MEXICANA  
DE INVESTIGACION EN MATERIALES (CMIM).**

El estudio realizado sobre la pieza identificada como Estelita, reporta que está constituida por una microestructura formada por una red interdendrítica de carburos del tipo  $M_6C$  y  $M_{23}C_6$ , en una solución sólida rica en cobalto. La fotografía B1 muestra la microestructura de la pieza de Estelita 6B, con amplificación de 500x.



**Fotografía B1. Microestructura de la pieza de Estelita 6B,  
con amplificación de 500x.**

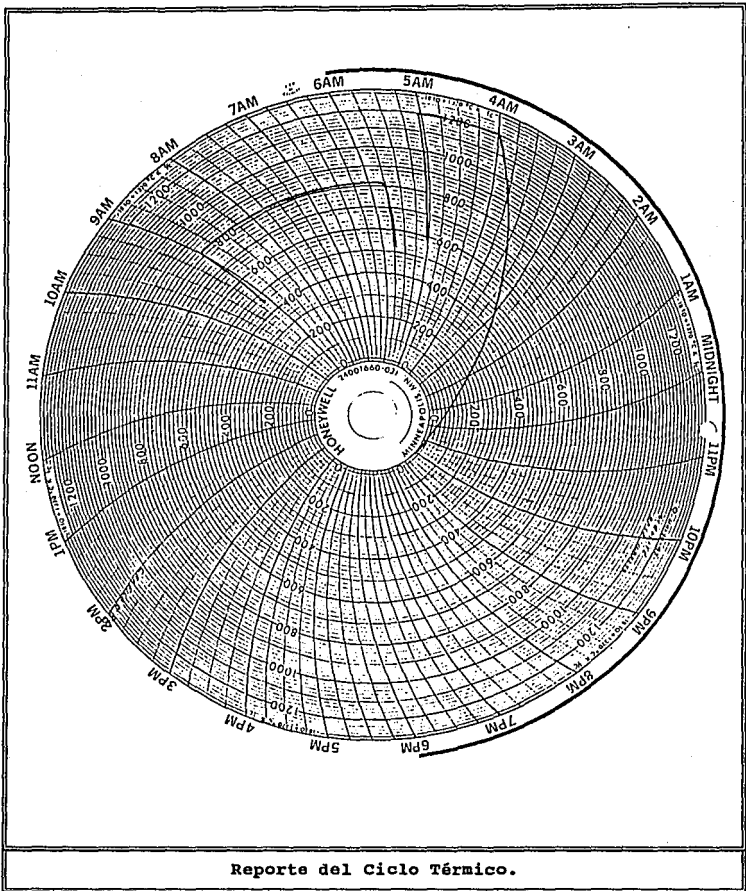
**TRATAMIENTO TERMICO APLICADO AL INJERTO DE ESTELITA 6B  
POR LA CMIM.**

Las fundiciones de estelita de cobalto son tratadas térmicamente aplicándoles un tratamiento térmico de solubilización a una temperatura de  $1232^{\circ}\text{C}$  ( $2249.6^{\circ}\text{F}$ ), durante un período de una hora y con enfriamiento al medio ambiente.

Se aplica un tratamiento térmico posterior de envejecimiento a una temperatura de  $816^{\circ}\text{C}$  ( $1500.8^{\circ}\text{F}$ ), durante un período de tres horas.

El siguiente reporte del ciclo térmico muestra ambos tratamientos.





Reporte del Ciclo Térmico.