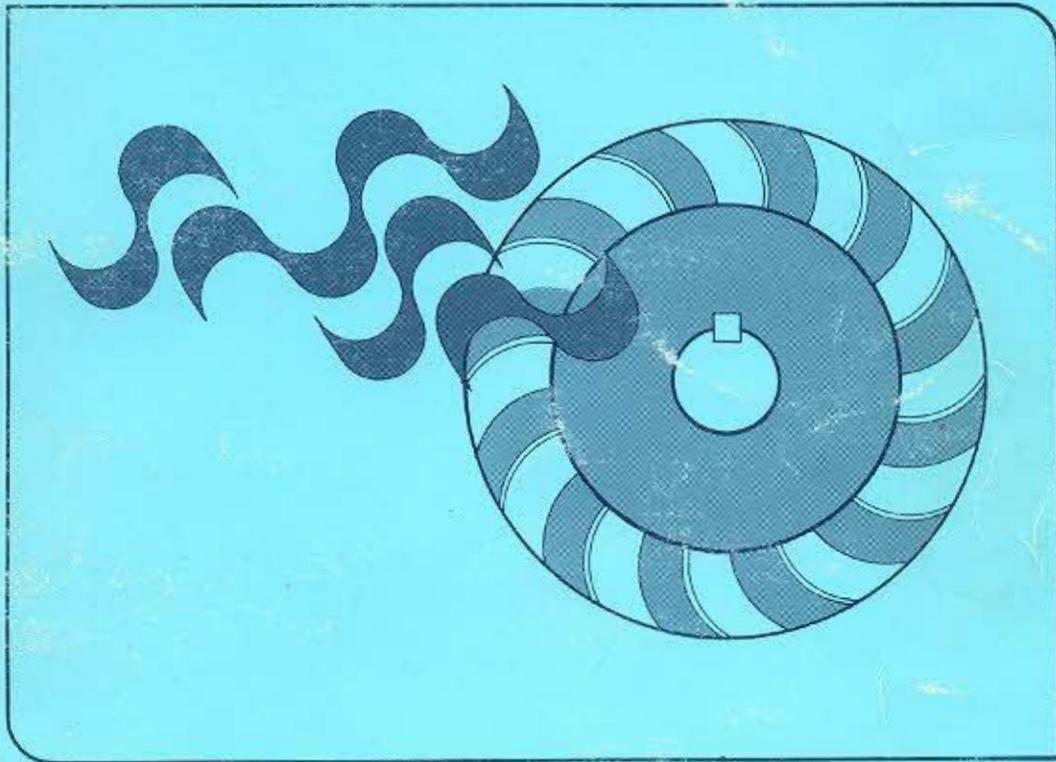




ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA



apuntes para un  
manual de diseño,  
estandarización y  
fabricación de equipos  
para pequeñas  
centrales hidroeléctricas

**APUNTES PARA UN  
MANUAL TECNICO  
DE  
DISEÑO, ESTANDARIZACION Y FABRICACION DE  
EQUIPOS PARA PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS**

**VOLUMEN I**

**TURBINAS MICHELL BANKI**

ELABORADO POR:

**ING. CARLOS HERNANDEZ**

**ING. ENRIQUE INDACOCHEA**

**ING. RAFAEL PARDO GOMEZ**

1988



# TURBINAS MICHELL BANKI

## INDICE

	Pag.
1. PRESENTACION	4
2. INTRODUCCION	5
3. DESCRIPCION GENERAL Y PARAMETROS DE DISEÑO	8
4. DISEÑO Y CALCULOS HIDRAULICOS	11
4.1. Diagramas de velocidad	11
4.2. Geometría del inyector	14
4.3. Geometría del rodete	15
4.4. Geometría de la carcasa	17
5. DISEÑO DE DETALLE Y CALCULOS MECANICOS	18
5.1. Diseño y cálculo del inyector	19
5.2. Diseño del eje y álabe directriz del inyector	21
5.3. Diseño y cálculos del rodete	21
5.4. Cálculo y diseño del eje	23
5.5. Diseño del soporte de rodamiento	25
5.6. Diseño del mecanismo de regulación	26
5.7. Diseño de la carcasa	28
6. ESTANDARIZACION Y SELECCION	29
6.1. Estandarización	29
6.2. Selección y reubicación	33
7. RECOMENDACIONES PARA FABRICACION	36
7.1. Condiciones generales	36
7.2. Descripción de los materiales	36
7.3. Procesos de fundición	42
7.4. Resumen de los tipos de maquinado de los metales	42
7.5. Inventario y descripción de las piezas	43
7.6. Proceso de fabricación de la turbina	44
7.7. Caja de levas de regulación de los álabes	47
7.8. Ensamblaje de la turbina	48

8.	NORMAS	51
	8.1. Introducción	51
	8.2. Normas de referencia	51
9.	MATERIALES	53
	9.1. Especificaciones	53
	9.2. Tensiones admisibles de trabajo	54
	9.3. Calidad de elaboración	54
10.	SOLDADURAS	56
	10.1. Condiciones generales	56
	10.2. Procedimientos de soldadura de fabricación	56
	10.3. Procedimientos de soldadura	56
	10.4. Tratamiento térmico y recocido	56
	10.5. Símbolos de soldadura	58
	10.6. Fabricación	58
	10.7. Soldadura	58
	10.8. Posiciones para soldar	59
	10.9. Propiedades mecánicas de los electrodos de acero dulce	59
	10.10. Intensidades de corriente recomendables	60
	10.11. Datos típicos de producción para la soldadura al arco de tungsteno	60
	10.12. Datos típicos de producción para la soldadura al Arco de Tungsteno protegido con gasificación plana	60
	10.13. Juntas de soldadura	60
	10.14. Soldadura al arco sumergido (Datos de producción)	61
	10.15. Corte por oxiacetileno	61
	10.16. Juntas de soldaduras	61
	10.17. Esfuerzos admisibles para juntas soldadas	62
11.	EMPAQUES Y EMPAQUETADURAS	65
	11.1. Recomendaciones generales	65
	11.2. Empaques para el sistema del prensaestopas del álabe directriz	65
	11.3. Cortar, no enrollar	65
	11.4. Tipo o modelo de empaque para el prensaestopas del álabe directriz	66
	11.5. Empaques moldeados	66
12.	LUBRICACION Y MANTENIMIENTO	71
	12.1. Rodamientos	71
	12.2. Lubricación con grasa	71
	12.3. Lubricación con aceite	74
	12.4. Inspección y limpieza de rodamientos	75
	12.5. Sistema de lubricación en los empaques de los prensaestopas y cojinetes del eje del álabe directriz	76

12.6.	Sistema de engrase para rodamientos del eje principal	77
13.	PRESCRIPCIONES ESPECIALES PARA GALVANIZACION	78
13.1.	Antes de galvanizar	78
13.2.	Aplicaciones	78
14.	TRATAMIENTO DE SUPERFICIE Y PINTURA	80
14.1.	Prescripciones generales	80
14.2.	Equipos de pintura	80
14.3.	Preparación de las superficies por pintarse	81
14.4.	Pinturas en metales	82
14.5.	Número de capas de pintura requeridas	83
14.6.	Retoque en sitio de la pintura aplicada en fábrica	83
14.7.	Espesor de las capas aplicadas	84
14.8.	Especificación de inhibidores	84
15.	PROTECCION CATODICA	85
15.1.	Recomendaciones	85
16.	PROTECCION, EMBALAJE Y TRANSPORTE	86
16.1.	Protección	86
16.2.	Embalaje	87
16.3.	Transporte	87
ANEXO 1.-	Ejemplo práctico de diseño y cálculo de una Turbina Michell Banki	87-1
ANEXO 2.-	Planos de detalle de una Turbina Michell Banki	94
ANEXO 3.-	Cronograma estimativo para la fabricación de una Turbina Michell Banki.	96

## RELACION DE FIGURAS

1. Selección del tipo de turbina
2. Eficiencia a carga parcial de turbinas hidráulicas
3. Diagramas de carga unitarios
4. Eficiencia promedio diaria de acuerdo a la variación de carga de sistema eléctrico con  $f_c=0,40$
5. Diagrama de velocidad en el rodete Michell Banki
6. Perfiles de inyectores para turbinas Michell Banki
- 7A. Eficiencia con inyectores de un solo compartimiento
- 7B. Eficiencia con inyectores de dos compartimientos iguales
- 7C. Eficiencia con inyectores de dos compartimientos desiguales
- 8a. Esquema del perfil del inyector y del álabe directriz
- 8b. Perfil del rodete
9. Arco de trabajo de un rodete Michell Banki con arco de admisión de  $1/3$
10. Variación porcentual del momento torsor en el eje del álabe directriz del inyector, según la variación de carga de la turbina Michell Banki
11. Fuerzas actuando sobre el álabe del rodete
12. Diagrama de fuerzas y momentos en el eje de la turbina
13. Diagrama de fuerzas y momentos del eje de levas de regulación
14. Representación gráfica de la expresión  $Q/\sqrt{H}$
15. Estandarización de turbinas Michell Banki según criterios hidráulicos
- 15-1 Estandarización de turbinas Michell Banki según criterios hidráulicos y mecánicos
16. Selección de turbinas Michell Banki según la relación  $Q/\sqrt{H}$
17. Tipos de soldaduras y juntas
- 1A. Variación anual del caudal
- 2A. Proyección de la demanda
- 3A. Diagrama de carga
- 4A. Eficiencia de las turbinas Michell Banki y Francis en función del diagrama de carga para la primera unidad

## RELACION DE TABLAS

1. Rango de aplicación de turbinas hidráulicas
2. Dimensiones del perfil del inyector, del álabe directriz y del rodete
3. Composición de las aleaciones usadas corrientemente en turbinas hidráulicas
4. Centro de gravedad y momento de inercia del álabe del rodete
5. Primera estandarización de turbinas Michell Banki
6. Segunda estandarización de turbinas Michell Banki
7. Longitudes estandarizadas para cada rodete en función del diámetro
8. Máxima caída hidráulica en función del rodete
9. Designaciones normalizadas para aleaciones de moldeo resistentes a la corrosión
10. Algunas características mecánicas y físicas típicas de los aceros inoxidable para forja
11. Propiedades físicas de las aleaciones resistentes a la corrosión
12. Tipos de bronce. Clasificación según contenido de estaño
13. Acero moldeado al carbono y de baja aleación (características mecánicas mínimas)
14. Procesos de fundición. Ventajas, limitaciones
15. Metales empleados en procesos de fundición
16. Tratamiento térmico de las soldaduras
- 17 a 22. Símbolos standar de soldadura
23. Proporciones de las ranuras para soldadura con arco mecánico
24. Propiedades mecánicas de los electrodos de acero dulce
25. Intensidades de corriente que se recomiendan con electrodos de acero dulce en amperios
26. Datos típicos de producción para la soldadura al arco de tungsteno protegido con gas; posición plana
27. Datos típicos de producción para la soldadura al arco de metal protegido con gas; posición plana
28. Soldadura al arco sumergido; datos de producción
29. Esfuerzo cortante admisible en función del cateto del filete

## 1. PRESENTACION

La mayor fuente energética disponible en América Latina es la Hidroenergía, con un potencial superior a los 800.000 Mw, de los cuales apenas el 13% se aprovecha actualmente.

La región en su conjunto está en capacidad de plantearse un desarrollo intensivo de la hidroenergía, si se considera que la tecnología requerida es ampliamente conocida y que, en los diferentes países latinoamericanos, existen experiencias, capacidad de ingeniería de proyectos, empresas de construcción y, en muchos de ellos, la infraestructura necesaria para la fabricación de equipamiento para centrales hidroeléctricas de cualquier tamaño.

En materia de pequeñas centrales hidroeléctricas (P.C.H.), que desempeñarán un papel muy importante en América Latina, OLADE cuenta con un programa integral que incluye desde la evaluación de las cuencas hidrológicas, para aprovechamiento en pequeña escala, hasta el desarrollo, adaptación y transferencia de tecnología de diseño para equipos y plantas. Todo ello, orientado a promover en este campo la creación y consolidación del mercado latinoamericano de tecnología y suministros en esta materia.

La disponibilidad de conocimientos amplios, así como la experiencia acumulada sobre el particular, han permitido desarrollar en América Latina una tecnología adecuada para la fabricación de equipos para las P.C.H.

OLADE y la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI) celebraron en marzo de 1985, un contrato para la elaboración de un Manual conformado por siete volúmenes, denominado MANUAL TECNICO PARA DISEÑO, FABRICACION Y ESTANDARIZACION DE EQUIPOS PARA PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS.

La preparación del presente volumen por parte de OLADE responde a la necesidad de proporcionar y difundir las bases tecnológicas requeridas para iniciar la producción de Turbinas de Flujo Cruzado o Michell Banki, y que contiene criterios técnicos necesarios para diseñar, establecer series estandarizadas y fabricar este tipo de turbinas.

Al respecto hace algunos años OLADE elaboró y publicó una primera versión de este volumen, la cual fue distribuida a todos los Países Miembros, siendo utilizada en varios de ellos para la fabricación de estas turbinas. OLADE se retroalimentó con estas experiencias y, tomando en consideración las observaciones y modificaciones sugeridas por los proyectistas y fabricantes a tal edición, se presenta esta segunda versión actualizada, la cual se espera también resulte favorecida por los comentarios de quienes la utilicen.

## 2. INTRODUCCION

Turbomáquinas son aquellas máquinas de fluido en las cuales el intercambio de energía es debido a la variación del momento cinético del fluido, al pasar por los conductos de un órgano que se mueve con movimiento de rotación, dotado de álabes o paletas, denominado "rotor".

Hay sin embargo, tres criterios, cada uno de los cuales permite una clasificación rigurosamente científica de las máquinas de fluidos. Estos criterios son:

- El principio de funcionamiento
- La compresibilidad del fluido
- El sentido de transmisión de energía

En este Manual se empleará el primer criterio para clasificar las máquinas de fluido en máquinas de desplazamiento positivo. Este primer volumen se referirá a Turbinas Michell Banki.

La Turbina Michell Banki es una turbina de acción de flujo transversal y de admisión parcial, que se utiliza en aquellos Proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas donde se aprovecha un salto y un caudal medio para satisfacer la demanda de un sistema eléctrico, cuyo diagrama de carga diaria posee un factor de carga inferior a 0,5 . Su rango de aplicación está comprendido dentro del rango de aplicación de la Turbina Francis, superándola en eficiencia cuando la turbina opera la mayor parte del tiempo a carga parcial, lo cual ocurre en proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, pues la turbina absorbería las variaciones de carga diaria de la demanda. Otra ventaja de la Turbina de Flujo Cruzado con respecto a la Turbina Francis constituye su reducido costo de fabricación.

El origen de la Turbina Michell Banki se remonta a principios de siglo cuando el ingeniero A.G. Michell desarrolló, en 1903, la turbina de flujo cruzado de doble paso, la cual fue estudiada en la Universidad de Budapest por el ingeniero D. Banki entre los años 1917 y 1919. En 1933 el ingeniero alemán Fritz Ossberger desarrolló la turbina que denominó Cross-Flow, que era una turbina de flujo transversal con un mejor diseño que la desarrollada por Michell y estudiada por Banki .

Posteriormente, en 1938 se introdujo en el diseño del inyector de esta turbina, una pala giratoria como dispositivo director. En 1948 por primera vez se diseña esta turbina con la posición del inyector en forma horizontal. En los años siguientes y hasta la fecha, se conocen diversos estudios respecto a esta turbina, a la cual se ha denominado de muchas formas, tales como: Turbina Michell-Banki, Turbina Michell, Turbina Banki, Turbina de Flujo Transversal o "Cross-Flow", y en el caso de la fábrica alemana Ossberger, Turbina Michell-Ossberger. Todas estas turbinas tienen el mismo principio de funcionamiento, diferenciándose en sus diseños de detalle.

La Turbina Michell Banki se diferencia del resto, por el sistema de prefabricación, facilidad de instalación y montaje, y su bajo costo de fabricación.

Con el objeto de proporcionar un documento de consulta sobre el cálculo y diseño de estas turbinas, se elaboró el presente Volumen, el cual está dirigido a ingenieros y técnicos interesados en el desarrollo y adaptación de tecnología de turbinas hidráulicas o turbomáquinas y que requieran elaborar diseños hasta nivel de detalle.

El presente Volumen está desarrollado en dieciseis capítulos y tres anexos, contiene el diseño integral de un tipo de turbina de flujo cruzado. El tercer capítulo del Volumen contiene una descripción de la turbina, indica su rango de aplicación comparándola con otras turbinas, muestra sus ventajas con respecto a la turbina Francis y la forma de obtener sus parámetros de diseño; cabe decir, potencia, caudal máximo y número de revoluciones.

El cuarto capítulo abarca aspectos relativos al diseño y cálculos hidráulicos y presenta el análisis de los diagramas de velocidad, el cual se realiza en forma adimensional con el objeto de dar una flexibilidad al ingeniero o técnico, para variar algunos parámetros de diseño en un proceso de investigación particular. También se muestra la forma de determinar la geometría del inyector, el rodete y la carcasa y su alternativa, indicándose las fórmulas para el cálculo de dimensiones con una expresión general y con una expresión práctica.

El quinto capítulo describe el diseño de detalle de la Turbina Michell Banki desarrollada en el presente Volumen y muestra los cálculos mecánicos que se deben realizar en cada pieza que conforma la turbina como máquina. También se hace referencia a los planos del Anexo 2.

En el sexto capítulo se dan algunos criterios para determinar series estandarizadas de turbinas Michell Banki. También se dan algunas recomendaciones con respecto a la selección de turbinas, determinación del número de unidades, las especificaciones técnicas que se deben solicitar a los fabricantes y la reubicación de turbinas.

En el capítulo séptimo se dan a conocer algunas alternativas y recomendaciones para la producción de cada pieza de la turbina y se indican las características de los materiales que se recomienda utilizar para cada una de ellas.

En los capítulos 8 al 16 se trata lo referente a normas, materiales, soldaduras, empaques y empaquetaduras, lubricación y mantenimiento, prescripciones especiales para galvanización, tratamiento de superficie y pintura, protección catódica, protección en general, embalaje y transporte. Estos capítulos sólo son tratados en este primer Volumen del Manual y servirán de base para los restantes Volúmenes en cuanto se refiere a estos temas,

especialmente al tratar las Turbinas de Acción Tangencial (PELTON).

Entre los anexos se debe destacar lo siguiente:

a. Anexo 1

Ejemplo práctico de cálculo y diseño de una Turbina Michell Banki para el cual se tomaron los datos de un proyecto de una Pequeña Central Hidroeléctrica de 80 kW., para un salto de 40 m. y un caudal mínimo de  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

b. Anexo 2

Planos de detalle y tablas de dimensiones para las series de turbinas estandarizadas definidas en el capítulo seis (planos 1/34 a 34/34) y planos del sistema de regulación de levas para turbinas de doble álabe directriz (planos del 35 al 44).

c. Anexo 3

Cronograma estimativo en h. hombre de tiempo de fabricación de una Turbina Michell Banki.

## 1. DESCRIPCIÓN GENERAL Y PARÁMETROS DE DISEÑO

La Turbina Michell Banki es una turbina de acción, de flujo transversal, de admisión parcial y de doble efecto, que posee como elementos principales un inyector o tobera que regula y orienta el flujo de agua que ingresa a la turbina y un rodete que genera potencia al eje de la turbina al recibir doble impulso del flujo de agua que circula por la misma.

La Turbina Michell Banki es una de las turbinas que presenta mejores perspectivas de utilización en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, por su simplicidad de diseño y fabricación, su buena eficiencia cuando opera a cargas parciales y su reducido costo de fabricación y mantenimiento.

El rango de aplicación lo definen los números específicos de revoluciones  $N_q$  y  $N_s$ , los cuales se obtienen con las fórmulas:

$$N_q = N \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} \quad \text{Y} \quad N_s = N \frac{P^{1/2}}{H^{5/4}}$$

donde

- P es la potencia al freno de la turbina en C.V.
- Q es el caudal máximo que fluye por la turbina en m<sup>3</sup>/seg.
- H es el salto neto de la central en metros
- N es la velocidad de giro de la turbina en RPM

En la Tabla No. 1 se puede observar el rango de aplicación de la Turbina Michell Banki en comparación con los de otros tipos de turbinas. Cabe señalar que el rango que se indica para las Michell Banki se ha definido en base a las limitaciones de su diseño mecánico en el límite superior y la eficiencia en su rango inferior. Estos rangos pueden variar de acuerdo a las experiencias particulares que se presenten.

Tabla No. 1

### Rango de Aplicación de Turbinas Hidráulicas

Tipo de Turbina	$N_q$	$N_s$
Turbina Pelton de 1 tobera	Hasta 9	Hasta 30
Turbina Pelton de 2 toberas	4-13	14-42
Turbina Pelton de 3 toberas	5-22	17-73
o más		
Turbina Michell-Banki	18-60	60-200
Turbina Francis Lenta	18-38	69-125
Turbina Francis Normal	38-68	125-225
Turbina Francis Rápida	68-135	225-450
Turbina Axial	105-300	350-1000

De acuerdo a las experiencias obtenidas con la Turbina Michell Banki se deduce que puede operar con saltos máximos comprendidos entre 20 y 200 metros, con eficiencias máximas comprendidas entre 80 y 85% y puede generar potencias máximas comprendidas entre 50 y 1000 kW.

De la tabla anterior se observa que el rango de aplicación de la Turbina Michell Banki se solapa con el rango de aplicación de las Turbinas Francis Lentas y Normales. Esto mismo se puede observar en la Figura No. 1 donde se muestra un gráfico para seleccionar tipos de turbinas.

La Turbina Michell Banki se puede utilizar en todos los proyectos de centrales hidroeléctricas donde el diagrama de carga diario posea un factor de carga inferior a 0,5 y donde los parámetros de diseño, potencia y salto, estén comprendidos en el área de aplicación de esta turbina. Esto se puede demostrar observando la Figura No. 2, en donde se ha graficado la variación de eficiencias de Turbinas Michell Banki y Francis en función de la variación del porcentaje de carga parcial con que operan durante el día, para satisfacer la demanda de un sistema eléctrico con factor de carga 0,4, mostrado en la Figura No.3. Se puede observar que pese a que la turbina Francis posee una mayor eficiencia máxima que la Turbina Michell Banki, esta última posee una mejor eficiencia media diaria, por superar en eficiencia a la turbina Francis cuando opera con cargas parciales inferiores al 42%. Observar la Figura No.4.

En la Figura No. 3 también se puede observar que generalmente cuando se instala la central, la potencia máxima diaria es un porcentaje de la potencia máxima diaria con que se proyecta la central, lo cual implica que la turbina opera el 80 ó 90% del tiempo con cargas parciales inferiores al 42% de su capacidad.

Para diseñar una Turbina Michell Banki se requieren determinar los datos del salto neto aprovechable y el caudal máximo que fluirá por ella. En algunos proyectos este caudal corresponde al caudal mínimo anual que se dispone, obtenido del estudio hidrológico, y en otros proyectos se deduce de la potencia al freno que la turbina deberá entregar al generador para que éste entregue al sistema eléctrico una potencia determinada.

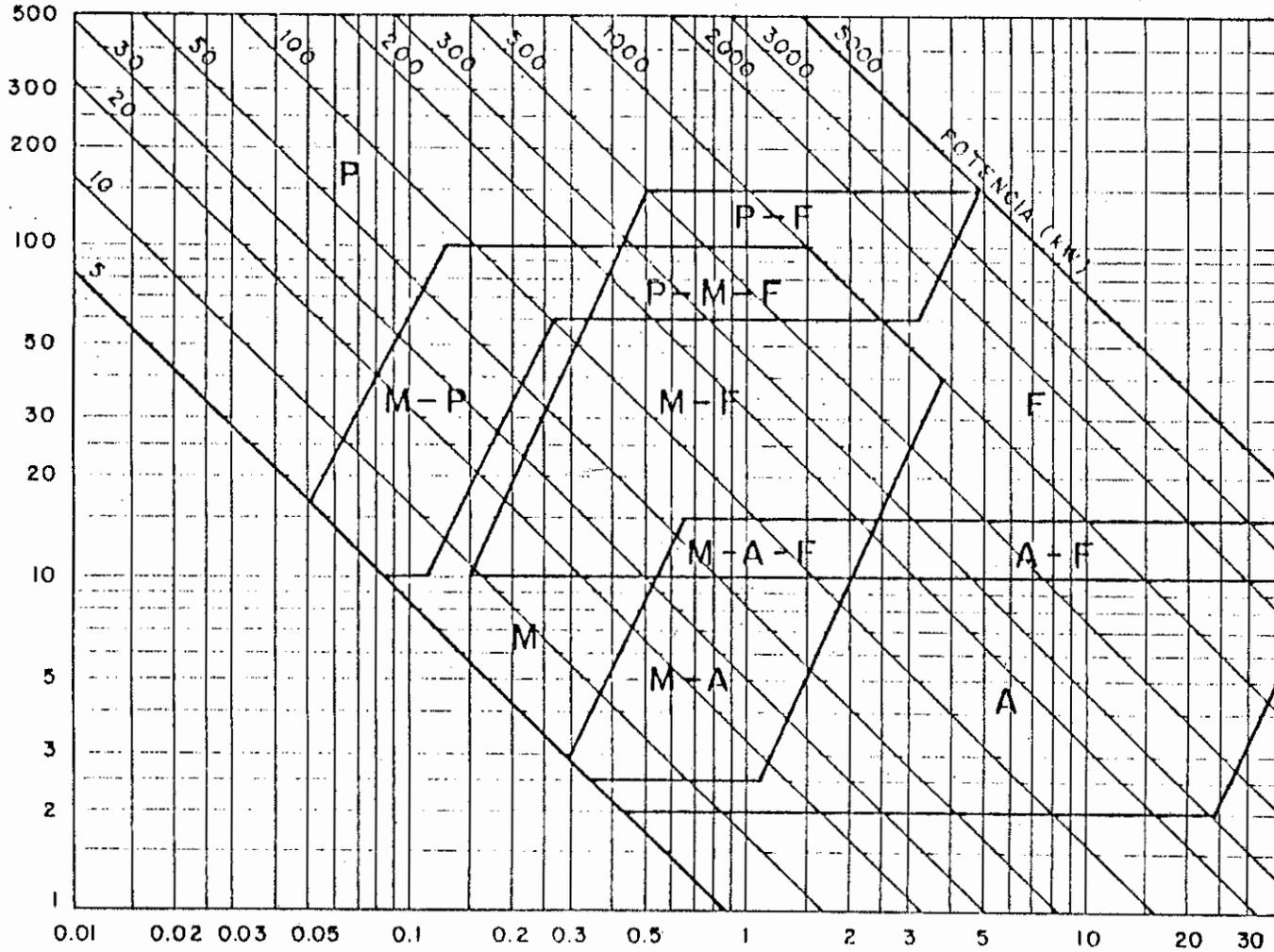
La potencia al freno  $P_t$ , de la turbina se obtiene con la fórmula:

$$P_t = \frac{P_g}{\eta_g \cdot \eta_{tr}}$$

en donde:

- $P_g$  es la potencia máxima que el generador entrega al sistema eléctrico, kW  
 $\eta_g$  es la eficiencia del generador, tanto por uno.

SALTO  
H  
(m)



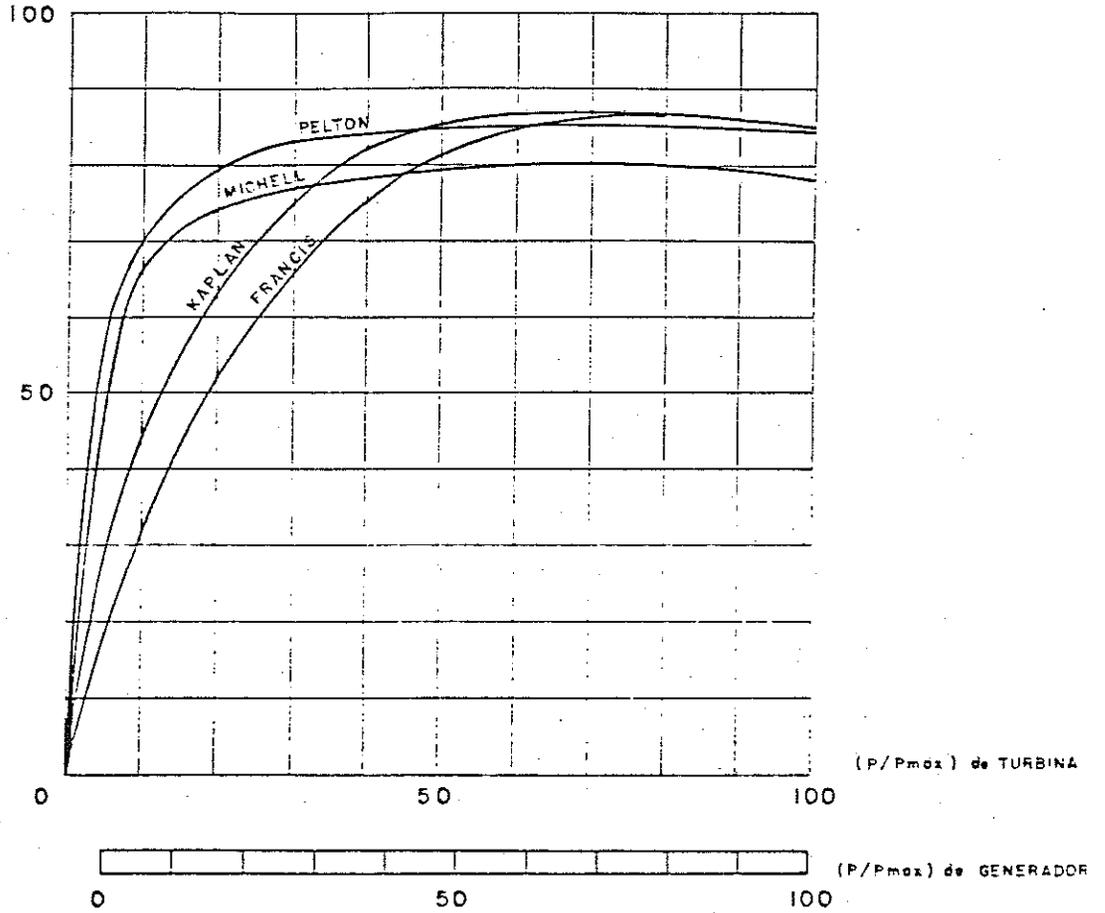
P = PELTON  
M = MICHELL BANKI  
F = FRANCIS  
A = AXIAL

CAUDAL  
Q  
(m³/s)

## SELECCION DEL TIPO DE TURBINA

FIGURA Nº 1

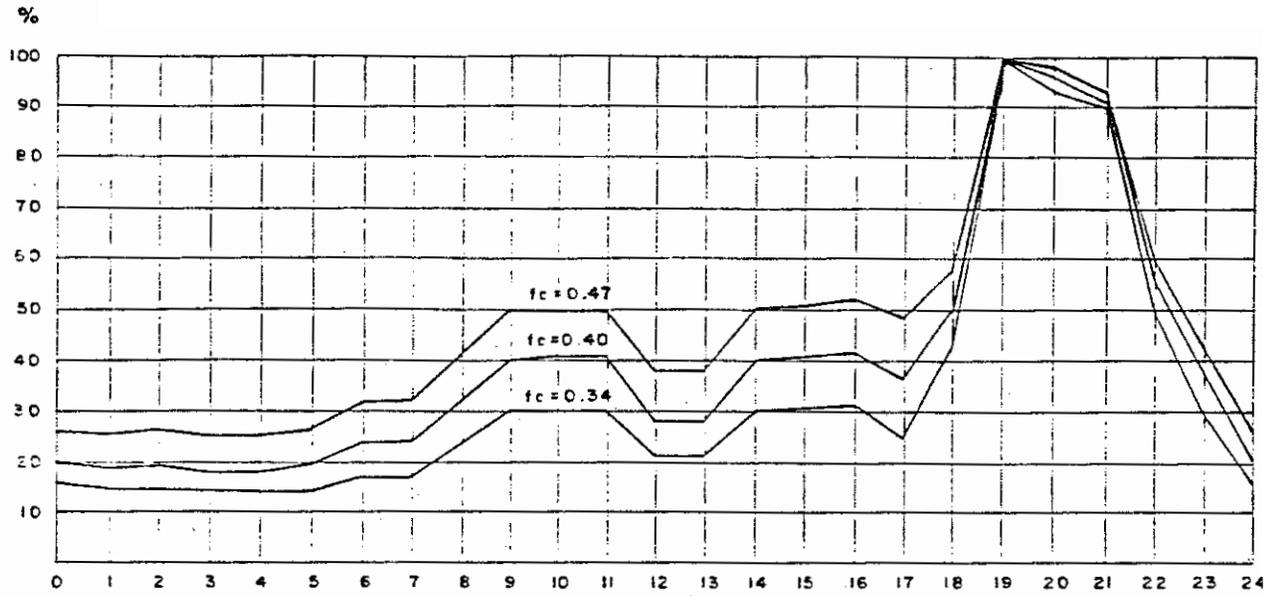
EFICIENCIA (%)



EFICIENCIA A CARGA PARCIAL DE TURBINAS HIDRAULICAS

FIGURA N° 2

$P / P_{max}$



DIAGRAMAS DE CARGA UNITARIOS

$P / P_{max}$

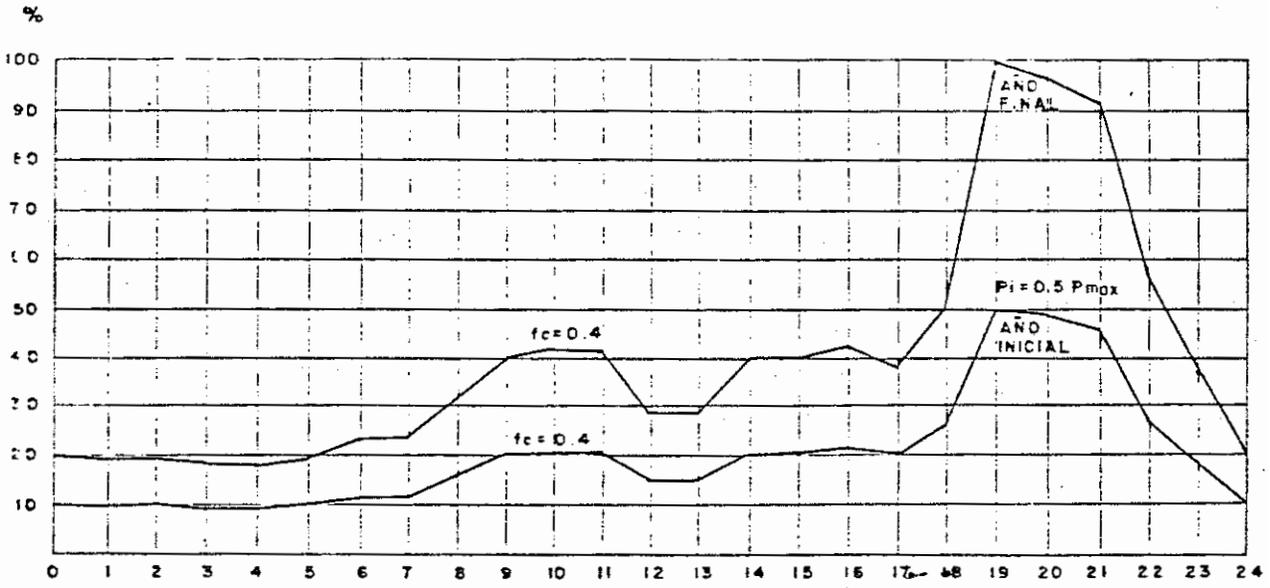
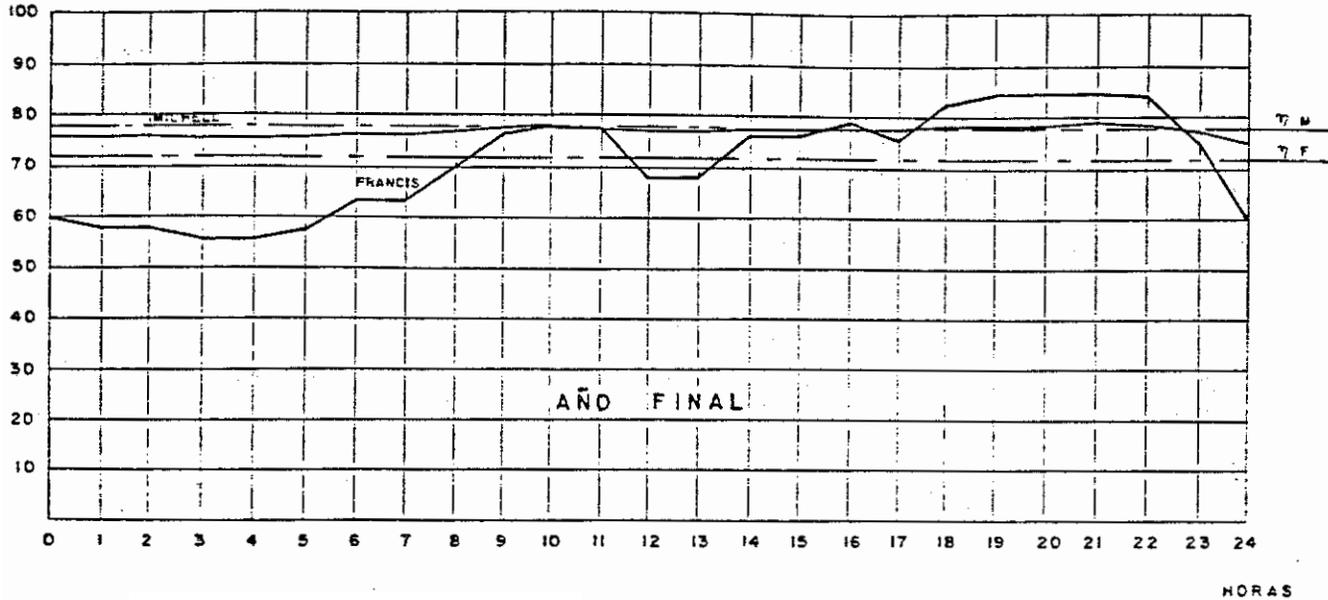


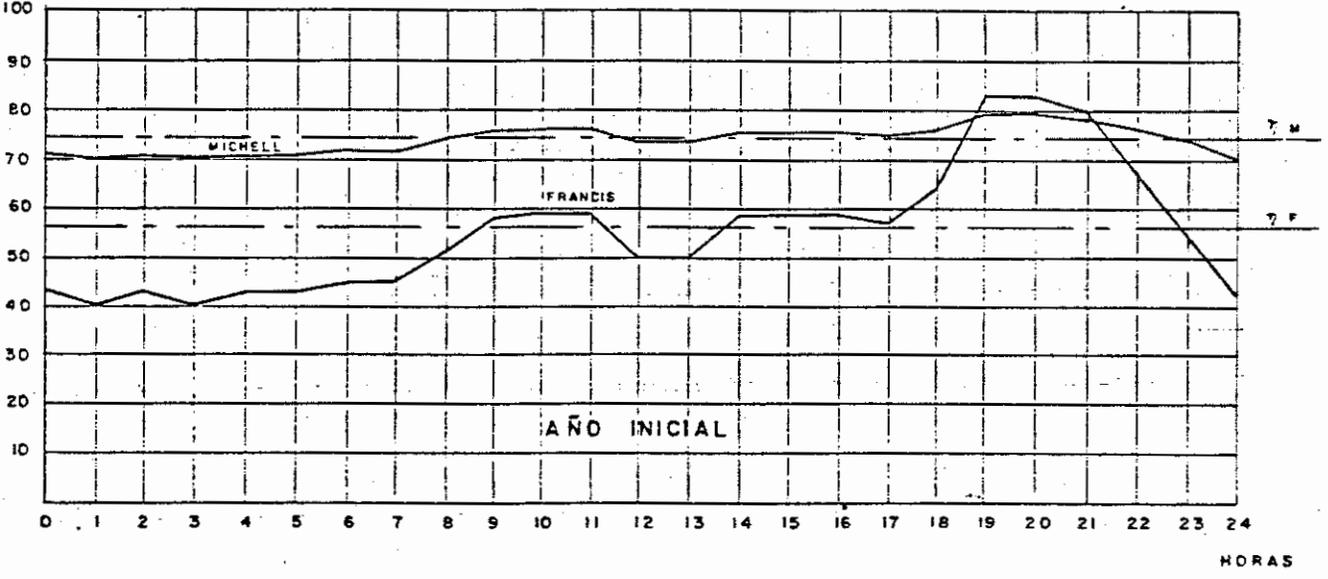
DIAGRAMA DE CARGA DE LA TURBINA PARA UN SISTEMA ELECTRICO CON  $f_c = 0.4$

FIGURA N° 3

EFICIENCIA DE TURBINA  $\eta$  %



EFICIENCIA DE TURBINA  $\eta$  %



EFICIENCIA PROMEDIO DIARIA DE ACUERDO A LA VARIACION DE CARGA DE SISTEMA ELECTRICO CON  $f_c = 0.40$

FIGURA Nº 4

$\eta_{tr}$  es la eficiencia de la transmisión mecánica utilizada entre la turbina y el generador, tanto por uno.

Con la potencia al freno de la turbina, el caudal de diseño se obtiene con la fórmula:

$$Q = \frac{P_t}{9,807 H \eta_t}$$

en donde:

Q es el caudal máximo de diseño, en  $m^3/seg$ , que fluirá por la turbina

$P_t$  es la potencia al freno de la turbina en kW

H es el salto neto aprovechable, en metros

$\eta_t$  es la eficiencia de la turbina cuando opera a plena carga

Otro parámetro necesario para el diseño de la turbina lo constituye el número óptimo de revoluciones con que deberá operar la turbina, que se deduce de la fórmula:

$$N = \frac{39,85 H^{1/2}}{D_e}$$

en donde:

N es el número óptimo de revoluciones en RPM

$D_e$  es el diámetro exterior del rodete, en metros

H es el salto neto aprovechable, en metros

Cuando se diseña la turbina para que gire a una velocidad síncrona, el diámetro exterior del rodete se determina despejándolo de la fórmula anterior. Cuando la transmisión entre la turbina y el generador es a través de un sistema de bandas o engranajes se supone el diámetro del rodete y se aplica la fórmula anterior.

#### 4. DISEÑO Y CALCULOS HIDRAULICOS

Los cálculos hidráulicos de una turbina se realizan para determinar las dimensiones de sus elementos principales, en base al diseño que caracteriza a cada tipo de turbina.

El diseño de la Turbina Michell Banki se basa en que el inyector acelera y regula el flujo de agua que ingresa a la turbina y orienta el chorro de sección rectangular hacia los álabes del rodete, dándole un primer impulso, para que luego de atravesar el interior del rodete, dar un segundo impulso a los álabes, antes de salir hacia la descarga de la turbina.

##### 4.1 Diagramas de Velocidad

Los perfiles de los álabes del rodete de una turbina, se determinan en base a los diagramas de velocidades en cada punto del rodete. Para determinar estos diagramas, es necesario definir la velocidad de salida del agua del inyector, la que se determina en base a la Ecuación de Bernoulli aplicada entre la superficie del reservorio, donde la velocidad del agua es aproximadamente cero, y a la salida del inyector.

$$\frac{P_o}{\gamma} + \frac{C_o^2}{2g} + Z_o = \frac{P_i}{\gamma} + \frac{C_i^2}{2g} + Z_i + \Delta H_t + \Delta H_i$$

En donde:

- $C_o$  y  $C_i$ , representan la velocidad de una partícula de agua en la superficie del reservorio y en la salida del inyector, respectivamente.
- $P_o$  y  $P_i$ , representan las presiones en la superficie del reservorio y en la salida del inyector, respectivamente.  
En este caso ambas presiones se pueden considerar iguales a la atmósfera cuando la descarga de la turbina se realiza sin tubo de succión.
- $Z_o$  y  $Z_i$ , representan los niveles topográficos, en la superficie del reservorio y la posición del inyector, respectivamente, y su diferencia es igual al salto bruto.
- $\gamma$  y  $g$ , representan el peso específico del agua y la aceleración de la gravedad, respectivamente.
- $\Delta H_t$ , es la pérdida de presión por efecto de la fricción del agua con las paredes de la tubería de presión.
- $\Delta H_i$ , es la pérdida de presión por efecto de la fricción del agua con las paredes del inyector.

Con todas estas consideraciones se determina que la velocidad del agua a la salida del inyector es:

$$C_i = \sqrt{1 - \frac{\Delta H_i}{H}} \sqrt{2gH}$$

donde H es el salto efectivo o neto de la central, obtenido de la diferencia entre el salto bruto y las pérdidas de presión en la tubería. Asimismo, se define Kc, como el coeficiente de velocidad del inyector representado por:

$$K_c = \sqrt{1 - \frac{\Delta H_i}{H}}$$

con lo cual la velocidad de salida del agua del inyector queda expresada por:

$$C_i = K_c \sqrt{2gH}$$

En forma práctica Kc posee valores comprendidos entre 0,97 y 0,98.

La velocidad del agua a la salida del inyector es igual a la velocidad de ingreso del agua al rodete. Este chorro de agua a su vez se orienta hacia el rodete con un ángulo promedio denominado  $\alpha_2$ , el cual posee valores prácticos que se encuentran alrededor de los 16 grados.

También es conocido que en las turbinas de acción, la velocidad se expresa por:

$$U_2 = K_u C_2 \cos \alpha_2$$

siendo Ku el coeficiente de velocidad tangencial que en el caso de las turbinas de acción poseen un valor aproximado a 0,5.

Con estas velocidades se determina la velocidad relativa.

$$W_2 = C_2 \sqrt{1 - K_u (2 - K_u) \cos^2 \alpha_2}$$

y con el ángulo  $\beta_2$  se concluye la construcción del diagrama de velocidades, mostrado en la figura No. 5, en la entrada del rodete.

En el interior del rodete, se cumple que los triángulos de velocidades son iguales, debido a que:

$$\begin{aligned} U_1 &= U'_1 \\ C_1 &= C'_1 \\ \alpha_1 &= \alpha'_1 \\ \beta'_1 &= 180 - \beta_1 \end{aligned}$$



por lo tanto se llega a la conclusión de que:

$$\beta'1 = \beta1 = 90^\circ$$

A la salida del agua del rodete, se forma un diagrama de velocidades en el que:

$$U'2 = U2 = KuC2 \cos \alpha 2$$

$$\beta 2 = 180 - \beta'2$$

$$\beta'2 = \text{arc Sen} \left[ \frac{\text{Sen } 2}{(1 - Ku(2-Ku) \cos^2 \alpha 2)^{1/2}} \right]$$

La velocidad relativa estaría expresada por:

$$W'2 = KfW2$$

donde Kf es el coeficiente de velocidad relativa que expresa la pérdida por fricción del agua con los álabes del rodete, y su valor puede aproximarse a 0,98.

Con estas velocidades se obtiene la velocidad absoluta del agua a la salida del rodete, expresada por:

$$C'2 = C2 \sqrt{Kf^2 (1-Ku(2-Ku) \cos^2 \alpha 2) + Ku \cos^2 \alpha 2 - 2Kf \cos^2 \alpha 2 (1-Ku) Ku}$$

El ángulo de salida con respecto a la tangente del rodete se obtiene con la siguiente expresión:

$$\alpha'2 = \text{arc Sen} \left[ \frac{Kf \text{ Sen } \beta'2 \sqrt{1 - Ku(2-Ku) \cos^2 \alpha 2}}{\sqrt{Kf^2 + Ku \cos^2 \alpha 2 (Ku - Kf^2 (2-Ku) - Kf)}} \right]$$

Todas estas velocidades se pueden expresar en forma práctica cuando se definen las constantes. Por ejemplo, si se supone un ángulo promedio  $\alpha 2$  igual a  $16^\circ$ , un coeficiente de velocidad Kc igual a 0,98, un coeficiente de velocidad tangencial Ku igual a 0,5 y un coeficiente de velocidad relativa Kf igual a 0,98, se obtienen las siguientes expresiones prácticas.

$$\begin{aligned} C2 &= 4,34 \sqrt{H} \\ U2 &= 2,09 \sqrt{H} \\ W2 &= 2,40 \sqrt{H} \\ W'2 &= 2,35 \sqrt{H} \\ \beta'2 &= 29,83^\circ \approx 30^\circ \\ \beta 1 &= 90^\circ \end{aligned}$$

Como se puede observar los diagramas de velocidades sólo dependen del salto y los ángulos son independientes de las condiciones de salto y caudal.

Para determinar la eficiencia hidráulica de la turbina  $\eta_h$ , se aplica la ecuación general de las turbinas:

$$\eta_h gH = U^2 C^2 \cos^2 \alpha - U'^2 C'^2 \cos^2 \alpha'$$

y se obtiene que:

$$\eta_h = 2 KC^2 \cos^2 \alpha - Ku(1-Ku) (1+Kf)$$

Además de la eficiencia hidráulica, para determinar la eficiencia total de la turbina se requiere también considerar las pérdidas volumétricas, las pérdidas por choques y las pérdidas mecánicas. En el caso de la Turbina Michell Banki su eficiencia puede alcanzar el 82% cuando se obtienen buenos acabados en su fabricación.

#### 4.2. Geometría del Inyector

Se conocen diferentes geometrías de inyector para Turbinas Michell Banki, varias de ellas se muestran en la Figura No. 6. Se puede observar que algunas poseen un álabe de compuerta, otras un álabe directriz con diferentes geometrías y en algunos casos se diseña el inyector sin álabe de regulación. También se diseñan inyectores con uno o dos compartimentos con el objeto de mejorar la eficiencia de la turbina cuando opera a cargas parciales. En las figuras No. 7A, 7B y 7C se puede observar la variación de la eficiencia de la turbina de acuerdo al número de compartimentos y las proporciones de sus dimensiones.

Para definir la geometría del inyector es necesario considerar en el diseño una buena conducción y aceleración del flujo de agua, así como también una adecuada orientación y regulación de este flujo hacia los álabes del rodete.

Cuando se define una geometría de inyector con álabe directriz, se requiere definir el perfil del mismo, considerando un balance de pérdidas de presión en los flujos de agua en que se divide el caudal por efecto del álabe. De tal forma que al tener igualadas ambas pérdidas, se obtenga la misma velocidad de salida en ambos conductos.

En este Volumen se da a conocer la geometría de un inyector con álabe directriz, el cual se ha calculado en base a la metodología descrita en el párrafo anterior y considerando un álabe cuya geometría aerodinámica reduzca el torque de accionamiento para la regulación del flujo de agua. Se ha demostrado, con ayuda del computador, que el perfil que se muestra en la figura No. 8a es función del diámetro del rodete (figura 8b) y no sufre variación cuando se le diseña para diferentes saltos y caudales. La única dimensión que varía en función del salto y caudal con que se diseña la turbina es el ancho del inyector, el cual se calcula con la fórmula:

$$B = \frac{Q}{P (\pi D_e - eZ) K_o K_c \sqrt{2gH} \sin^2 \alpha}$$

En donde:

- B es el ancho interno del inyector expresado en metros
- Q es el caudal máximo que fluirá por la turbina en m<sup>3</sup>/seg.
- P es un factor de arco de admisión que para el caso del inyector que se desarrolla en este Volumen, tiene un valor de 1
- De es el diámetro exterior del rodete, expresado en metros
- e es el espesor de los álabes del rodete, expresado en metros
- Z es el número de álabes del rodete
- Ko es el porcentaje de la circunferencia exterior del rodete por donde ingresa el agua.

Una fórmula práctica para determinar el ancho del inyector cuya geometría se indica en la figura 8a, se expresa por:

$$B = \frac{0,96 Q}{De \sqrt{H}}$$

Para el caso de inyectores con geometría diferente, se puede obtener una fórmula práctica en base a la expresión siguiente:

$$B = \frac{\text{constante } Q}{De \sqrt{H}}$$

En este caso, utilizando la expresión general para el cálculo del ancho del inyector, se deberá encontrar la constante para cada geometría.

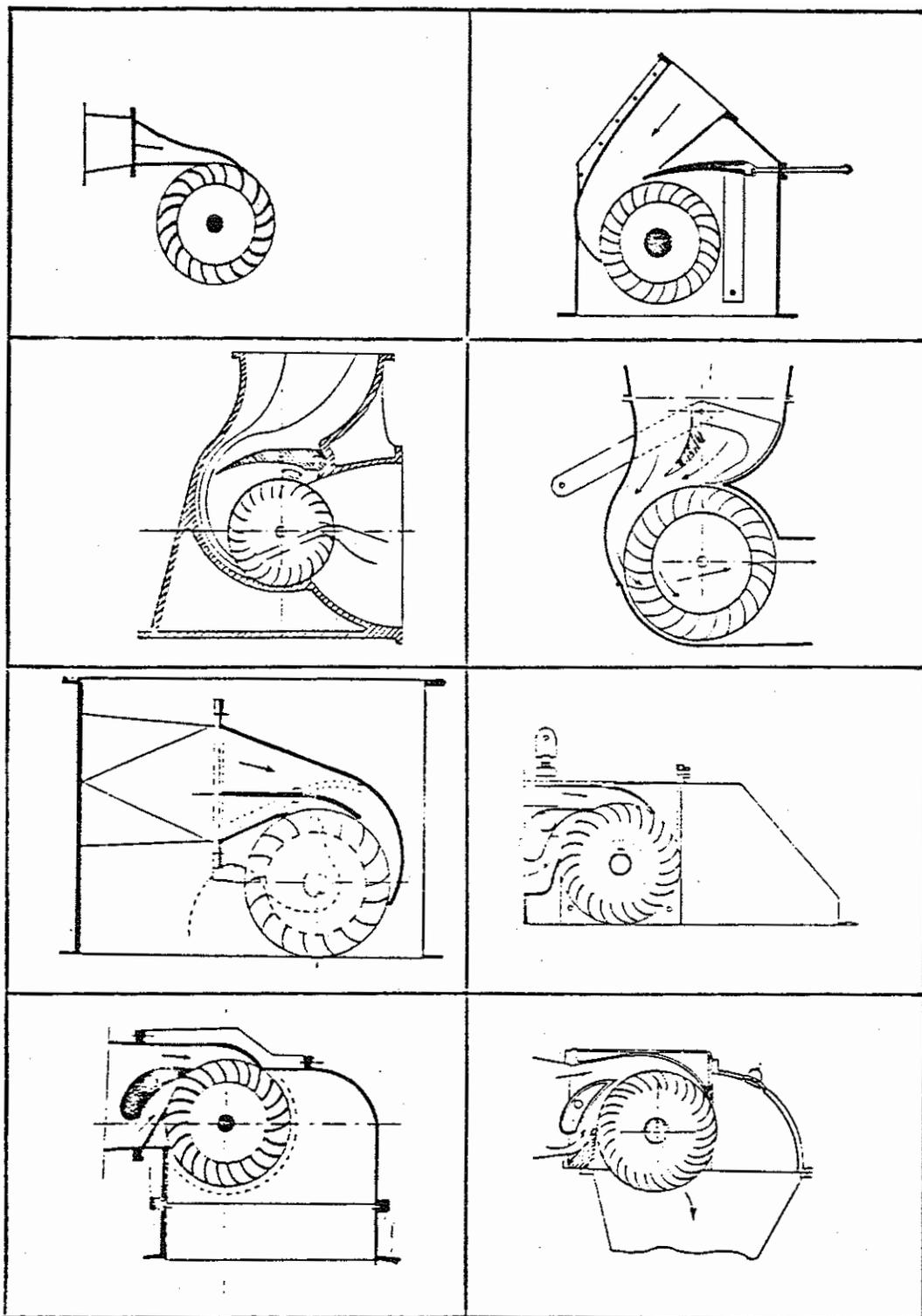
Las dimensiones del perfil del inyector para diferentes diámetros de rodete, se muestran en la Tabla No. 2. En el caso de utilizar diámetros de rodete diferentes a los indicados, se pueden determinar las dimensiones utilizando el método de interpolación lineal.

#### 4.3. Geometría del Rodete

La geometría del rodete se determina en base a los ángulos obtenidos de los diagramas determinados en el punto 2.1, así se tiene que la relación del diámetro interno Di, con respecto al diámetro externo De, se expresa por:

$$\frac{Di}{De} = \sqrt{\frac{(2 K u \cos^2 \alpha - 1) + \sqrt{1 - 4 \cos^2 \alpha (1 - K u) K u}}{2 K u^2 \cos^2 \alpha}}$$

Considerando  $\alpha$  igual a 16° y Ku igual a 0,5, se obtiene el diámetro interno de la siguiente forma:



PERFILES DE INYECTORES PARA  
TURBINAS MICHELL BANKI

FIGURA N° 6

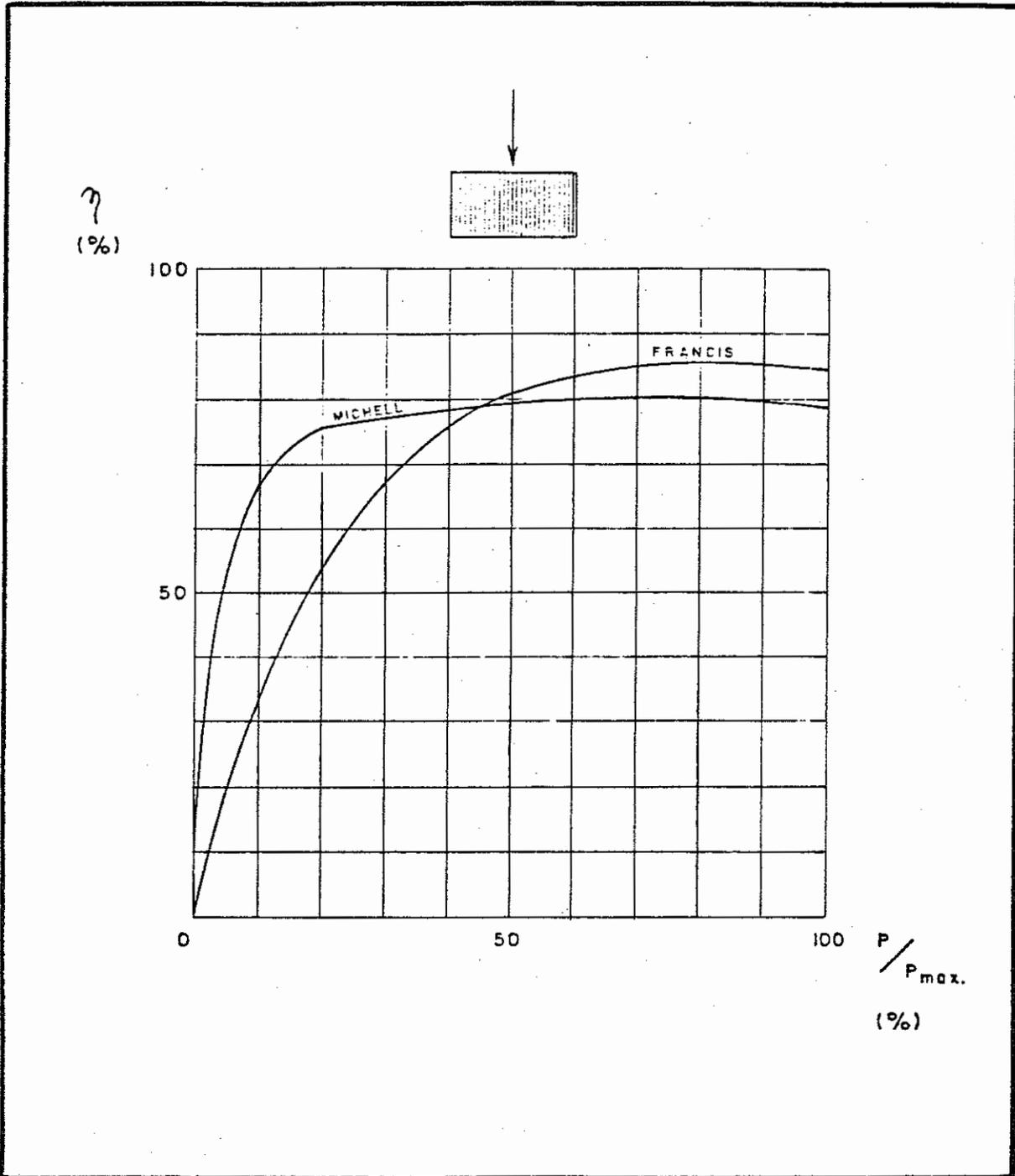


FIGURA N° 7A

EFICIENCIA CON INYECTORES DE UN SOLO COMPARTIMIENTO

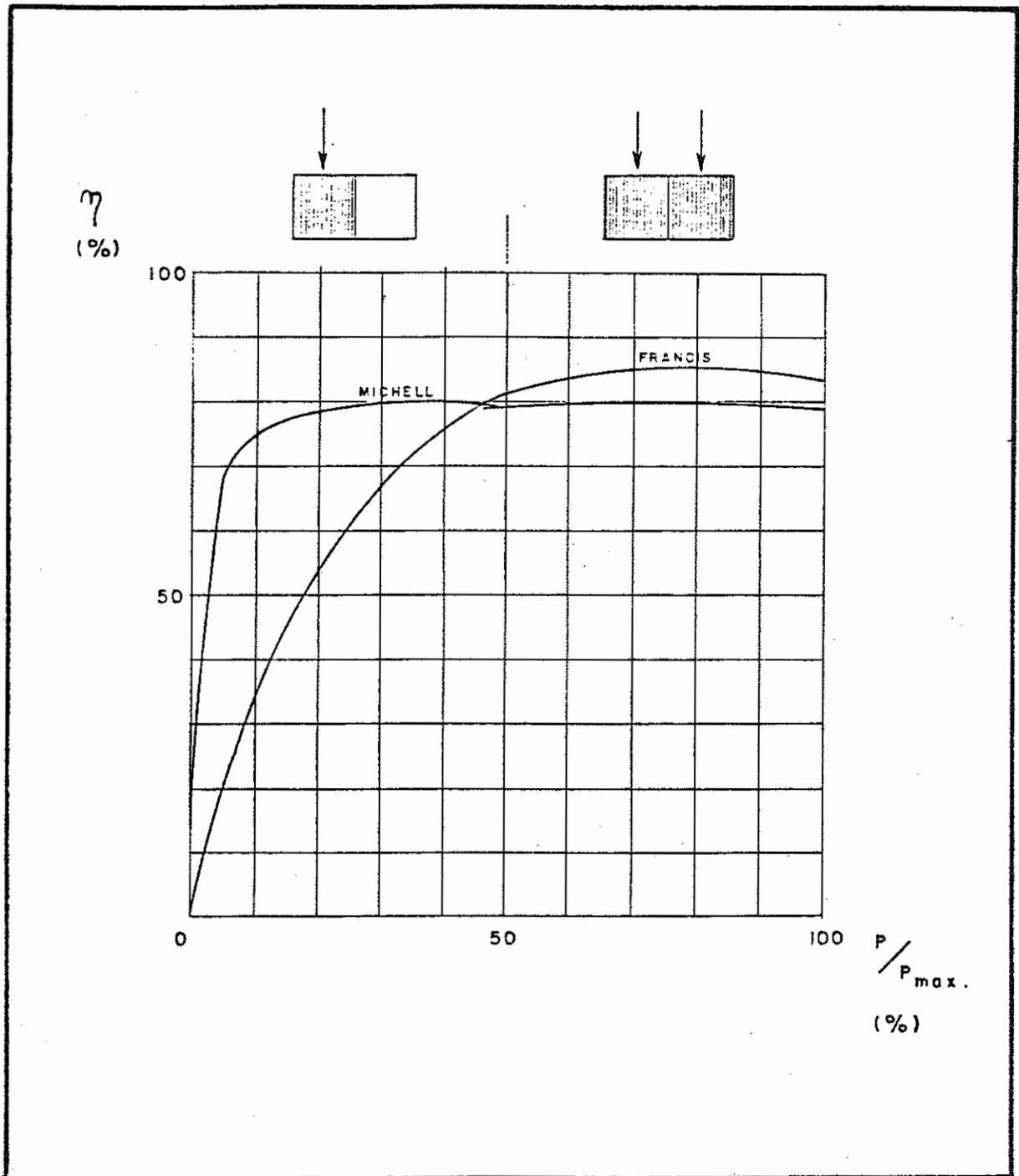


FIGURA N° 7B

EFICIENCIA CON INYECTORES DE DOS COMPARTIMIENTOS

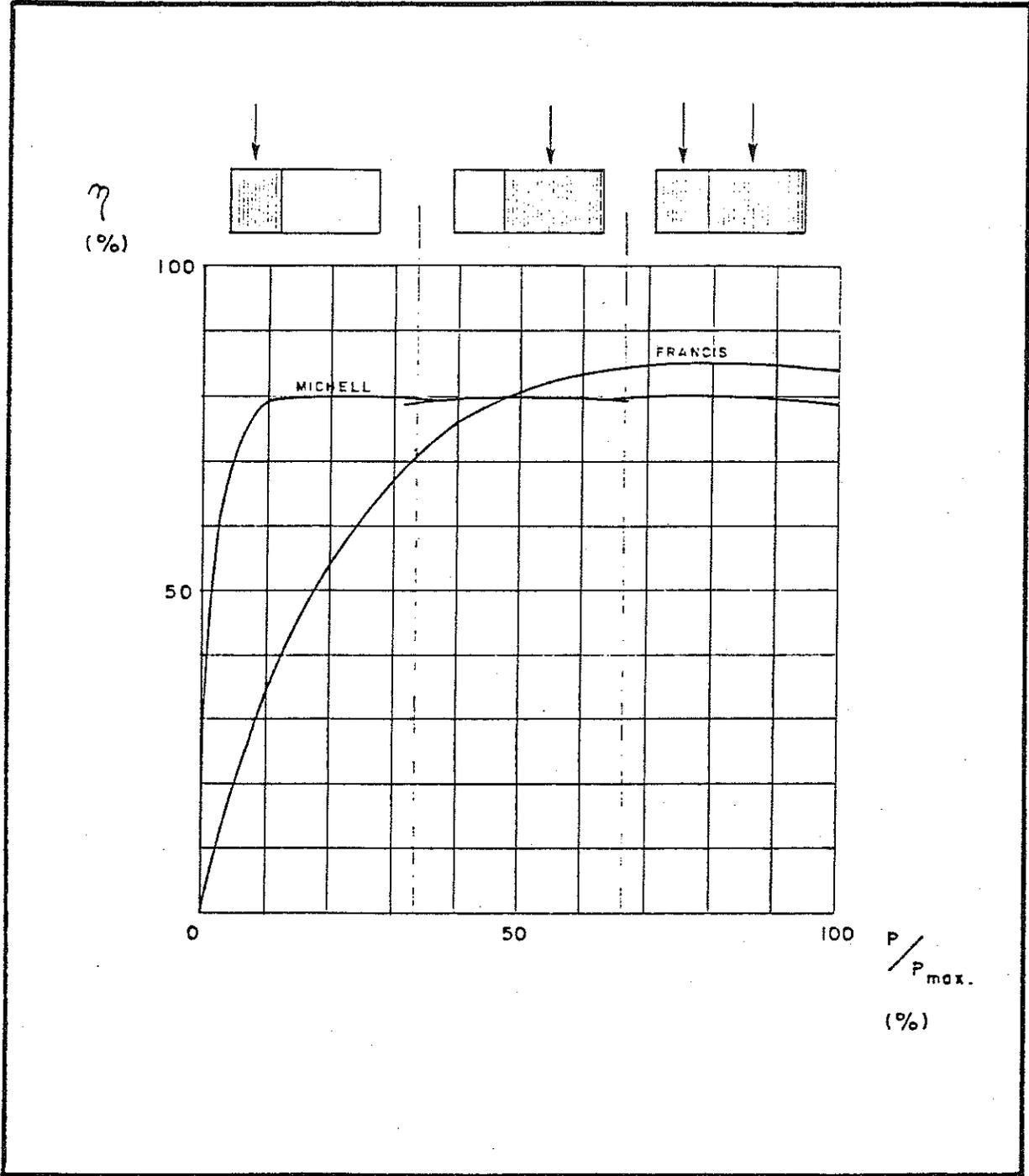


FIGURA N° 7C

EFICIENCIA CON INYECTORES DE DOS COMPARTIMIENTOS DESIGUALES

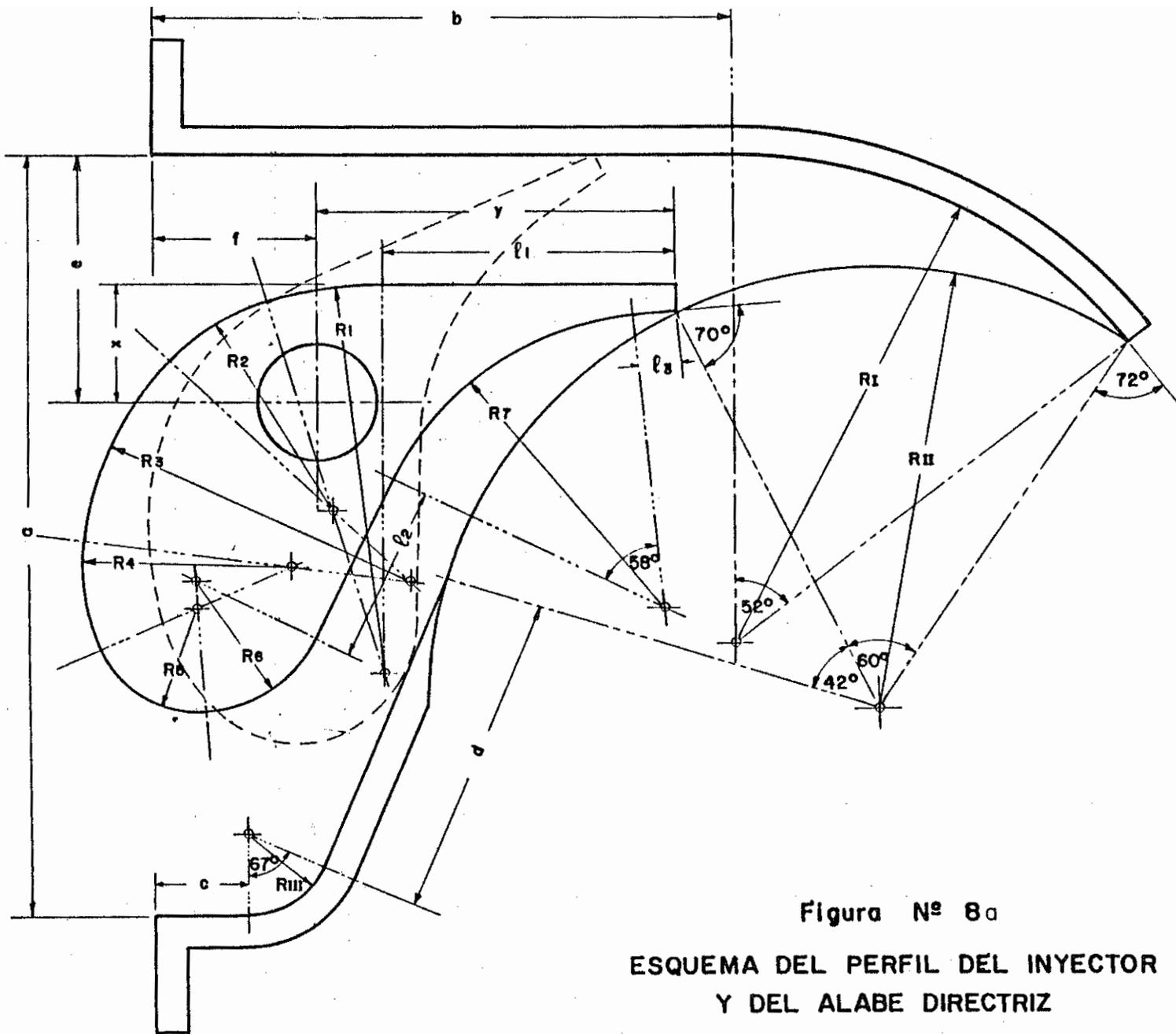
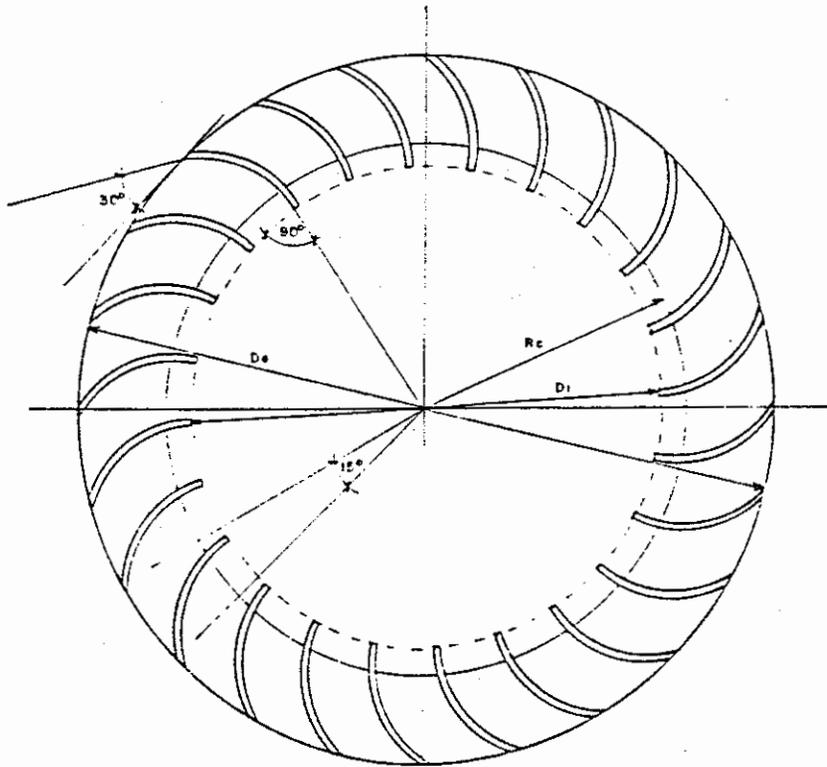


Figura N° 8a

ESQUEMA DEL PERFIL DEL INYECTOR  
Y DEL ALABE DIRECTRIZ



PERFIL DEL RODETE

FIGURA 8b

## DIMENSIONES DEL PERFIL DEL RODETE

C O T A (mm.)	DIAMETRO DEL RODETE - EN mm.			
	300	400	500	600
DI	100	133	167	200
Rc	110	147	183	220
r	49	65	82	98

## DIMENSIONES DEL PERFIL DEL INYECTOR Y DEL ALABE DIRECTRIZ

C O T A (mm)	DIAMETRO DEL RODETE - EN mm.			
	300	400	500	600
a	261	348	435	522
b	195	260	325	390
c	31	41	52	62
d	102	136	170	204
e	85	113	142	170
f	55	73	92	110
R1	168	224	280	336
R11	151	201	252	302
R111	28	37	47	56
R1	133	177	138	161
R2	75	100	96	111
R3	110	110	138	160
R4	70	80	83	126
R5	35	50	52	66
R6	45	77	52	29
R7	100	90	101	126
x	40	47	48	63
y	120	136	147	211
ℓ1	98	111	122	179
ℓ2	60	70	90	136
ℓ3	24	27	25	64

TABLA Nº 2

$$D_i = 0,66 D_e$$

El radio de curvatura  $r$ , de los álabes del rodete se expresa también en función del diámetro del rodete y del ángulo del álabe  $\beta'2$ , así se tiene:

$$r = \frac{D_e}{4 \cos \beta'2} \left| 1 - \left| \frac{D_i}{D_e} \right|^2 \right|$$

Sustituyendo los valores conocidos, se puede expresar en forma práctica por:

$$r = 0,163 D_e$$

El ángulo de la curvatura de los álabes del rodete  $\emptyset$ , se obtiene con la fórmula:

$$\emptyset = 2 \arctg \left| \frac{\cos \beta'2}{\frac{D_i}{D_e} + \sin \beta'2} \right|$$

Cuando el ángulo  $\alpha2$  es igual a  $16^\circ$  este ángulo  $\emptyset$  tiene un valor de  $73^\circ$ .

Con estas dimensiones se tendría definido el perfil del rodete para un diámetro exterior supuesto o calculado con la fórmula de la velocidad óptima de giro mostrada en el Capítulo 3. Como se ha podido observar, al igual que en inyector, conociendo el diámetro de rodete se puede encontrar automáticamente todas sus dimensiones.

El ancho interno del rodete se obtiene luego de realizar el diseño de detalle del inyector. Se debe dar el mismo ancho al rodete que al inyector, siempre que las soldaduras de los álabes se realicen según lo indicado en los planos 8/34, 9/34 y 10/34. En caso de que las soldaduras afecten el ancho efectivo del rodete, se deberá incrementar dicho ancho hasta en un 50% respecto al ancho del inyector.

En el diseño de Turbinas Michell Banki también se debe considerar que desde el punto de vista teórico existe una limitante en cuanto al arco de admisión BOC (Figura 5), expresada por:

$$\sphericalangle \text{ BOC} = 2 \arctg \left| \frac{\sqrt{1 - Ku (2 - Ku) \cos^2 \alpha2}}{\frac{D_i}{D_e} + Ku \cos \alpha2} \right|$$

El máximo porcentaje de arco de admisión  $\kappa_0$ , se obtiene con la expresión:

$$K_0 = \frac{\angle BOC}{360^\circ}$$

Para los valores de  $\alpha_2$  igual a  $16^\circ$  y  $K_u$  igual a 0,5 se obtiene un valor de  $K_0$  igual a 0,334.

El porcentaje de admisión para el inyector mostrado en este capítulo es de 0,30.

Si se considera que la trayectoria de una partícula de agua en el interior del rodete es rectilínea, se obtiene que el diámetro máximo del eje que atraviesa el rodete debe ser:

$$d = D_i \cos \left| \frac{\angle BOC}{2} \right|$$

en forma práctica se obtiene:

$$d = 0,328 D_e$$

#### 4.4. Geometría de la Carcasa

La geometría de la carcasa de una Turbina Michell Banki se diseña considerando el arco de salida del flujo de agua en el rodete y su trayectoria.

El arco total del rodete  $\theta_t$  se obtiene, (figura No. 9) con la fórmula:

$$\theta_t = \theta_0 + \theta_1 + \theta_2 + \angle BOC$$

donde

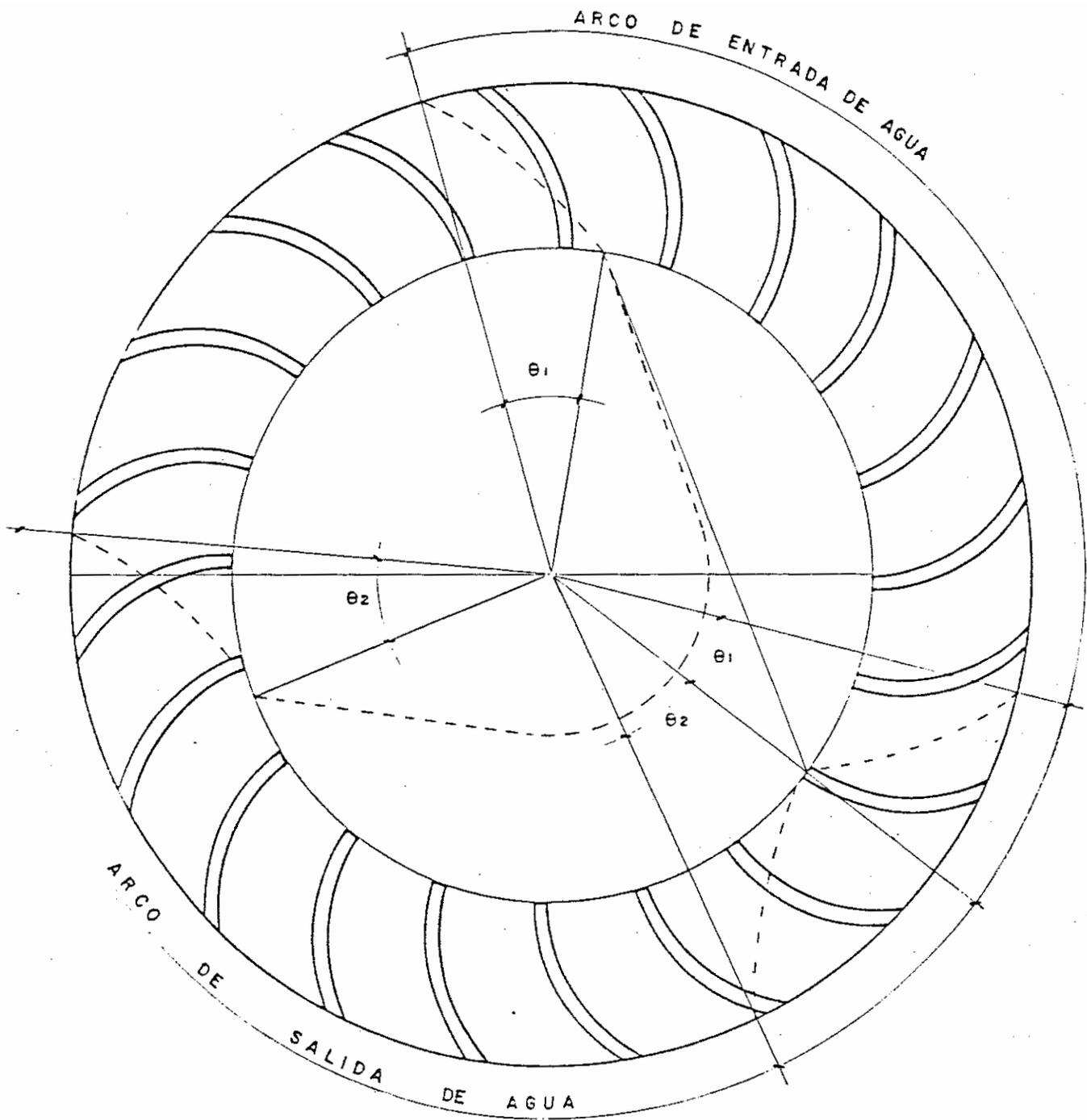
$$\theta_0 = K_0 \times 360^\circ$$

$$\theta_1 = \frac{r \varnothing}{W_2} \frac{360}{60} N \quad ; \quad \varnothing \text{ en radianes}$$

$$\theta_2 = \frac{\theta_1}{K_f}$$

En forma práctica esta relación se expresa por:

$$\theta_t = \theta_0 + 163^\circ$$



Arco de trabajo de un rodete Michell Banki con arco de admisión de 1/3

FIGURA Nº 9

## 5. DISEÑO DE DETALLE Y CALCULOS MECANICOS

El diseño de una turbina se realiza para definir las dimensiones de cada una de sus piezas, que ensambladas conforman la turbina como máquina. Este diseño debe considerar sistemas adecuados de montaje, así como aspectos de hermeticidad y lubricación.

Los cálculos mecánicos se realizan para verificar si el material utilizado para cada pieza está en condiciones de soportar los esfuerzos que se presentan en ella. Estos cálculos son un complemento del diseño de detalle y con ellos se obtienen dimensiones adicionales a las definidas en el mismo.

El diseño de detalle de la Turbina Michell Banki está plasmado en los planos que se incluyen en el Anexo No. II y a continuación se dan a conocer los criterios a considerarse y los principales cálculos mecánicos que se recomienda realizar:

En los planos Nos. 3/34 y 20/34 se aprecia el montaje general de la turbina de una sola entrada, notándose el inyector en líneas punteadas.

También se muestra el retenedor que está ubicado por detrás del cojinete, la tapa lateral y el sistema de prensaestopas.

Se indica también la conexión por intermedio de las bridas entre la turbina y la carcasa de descarga.

En el plano No. 36 se indica el montaje general de una turbina de doble entrada, donde se aprecia el inyector y el prensaestopas, también se puede apreciar el mecanismo de regulación que permite programar a través de dos levas la apertura y cierre de cada compartimiento del inyector, permitiendo con ello que la turbina mantenga una buena eficiencia cuando opera con un bajo porcentaje de carga.

La carcasa en ambas turbinas esta diseñada para que el flujo del agua a la salida del rodete se oriente hacia la carcasa de descarga.

Cabe señalar que cuando el salto es pequeño se puede utilizar en la descarga de la turbina un tubo de succión con el objeto de aumentar el salto neto aprovechable.

En algunos casos no se contempla en el diseño de la turbina el tubo de la succión, debido a que la turbina opera la mayor parte del tiempo con bajo porcentaje de carga parcial y que la altura que ganaría no sería apreciable.

El plano No. 26/34 es una vista desde la descarga de la turbina, donde se aprecia el rodete con sus cubos, el inyector, el eje, la brida de conexión a la carcasa de descarga y la plancha base donde va montada la turbina.

En los planos 5/34, 6/34 y 12/34 se muestran una sección longitudinal, una vista de la sección por el eje del álabe directriz y la sección por el centro del eje principal donde está montado el rodete.

Se puede observar en el plano 6/34 la geometría del inyector y rodete, destacándose el álabe directriz que será encargado de regular y orientar el flujo del agua hacia los álabes del rodete.

También se aprecia la caja de admisión donde está ubicada la brida que conecta con el tubo que viene de la tubería forzada.

En el plano 12/34 se aprecia el eje del álabe directriz con su chavetero y el sistema de prensaestopas.

Por último en el plano 5/34 se indica el eje principal, el rodete con sus cubos, los retenedores, las tapas laterales y superiores, y los cojinetes, ésta es una vista de la turbina completa ya ensamblada.

#### 5. 1 . Diseño y Cálculo del Inyector

En los planos 16/34 y 17/34 se muestra el perfil típico del inyector y la caja de admisión, también se indica el perfil con sus agujeros roscados para la tapa lateral de la turbina. Se indica también el soporte soldado para el sistema de los bujes laterales y el prensaestopa soldado exteriormente en la caja de admisión.

En los planos Nos. 21/34 y 22/34 se muestra una vista del inyector al ingreso de la turbina, donde se detalla la ubicación de los agujeros roscados de la brida de conexión a la tubería forzada y se indican dimensiones que complementan las mostradas en los planos anteriores.

El cálculo mecánico de las paredes se realiza considerando a cada una de ellas como una placa empotrada en sus extremos y cargada uniformemente.

También se asume un espesor adicional con el fin de prever su desgaste por la abrasión del agua.

El plano No. 24/34 presenta la tapa lateral de la turbina con detalles de espesores, soldaduras y agujeros que permiten el acople a la brida de la carcasa de descarga y para la fijación del retenedor.

Los planos Nos. 13/34 y 14/34 indican las dimensiones del perfil del álabe directriz del inyector con su eje. Esta pieza se puede producir en fundición y se recomienda utilizar como material bronce al aluminio, cuyas características químicas y mecánicas se pueden obtener de la Tabla No. 3. Tampoco se descarta la utilización de aceros inoxidable para turbinas, mostrados en la misma

COMPOSICION DE LAS ALEACIONES USADAS CORRIENTEMENTE  
EN TURBINAS HIDRAULICAS

MATERIAL	C %	Mn %	Si %	Cr %	Ni %
ACERO AL 13% Cr	0.10	0.5	0.4	12.5	0.9
ACERO AL 18% Cr, 8% Ni	0.07	0.5	1.0	18.0	9.0
ACERO AL 2% Ni	0.24	0.7	0.3	0.2	0.2
ACERO AL 1.5% Mn	0.24	1.6	0.3	0.2	0.4
BRONCE AL ALUMINIO	Al 10.0	Fe 8.0	Mn 5.0	Ni 2.0	Cu DIFERENCIA

PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ALEACIONES USADAS  
EN TURBINAS HIDRAULICAS

MATERIAL	ESFUERZO DE FLUENCIAS kg/mm <sup>2</sup>	ESFUERZO DE TENSION kg/mm <sup>2</sup>	MINIMA ELONGACION L = 5 d %	MINIMA RESISTENCIA DE IMPACTO kg/cm <sup>2</sup>	DUREZA BRINELL kg/mm <sup>2</sup>	LIMITE DE FATIGA kg/mm <sup>2</sup>
ACERO AL 13% Cr.	45	65-75	15	4	190-30	30
ACERO AL 18% Cr, 8% Ni	15	40-50	30	18	130-170	13
ACERO AL 2% Ni	35	55-65	18	6	155-195	22
ACERO AL 1.5% Mn	34	50-60	22	6	140-180	18
BRONCE AL ALUMINIO	30	60-70	7	1	190-230	15

TABLA N° 3

tabla.

El diámetro del eje del álabe directriz se calcula en base al torque máximo T, requerido para la regulación, el cual está dado por la fórmula:

$$T = 31 D_e Q H \quad \text{en kg} \cdot \text{m}$$

y su variación en función del porcentaje de apertura está representada en la figura No. 10. Esta fórmula se aplica para cada compartimento del inyector y el caudal Q de la misma es igual al máximo caudal que fluye en el compartimento .

El diámetro del eje se obtiene con la fórmula:

$$d_i^3 = \frac{16T}{S_d}$$

donde:

S<sub>d</sub> es el esfuerzo de diseño del material utilizado en el álabe directriz considerando que éste y el eje constituyen una sola pieza.

Como es conocido el esfuerzo de diseño de un eje con un canal chavetero posee un valor igual a:

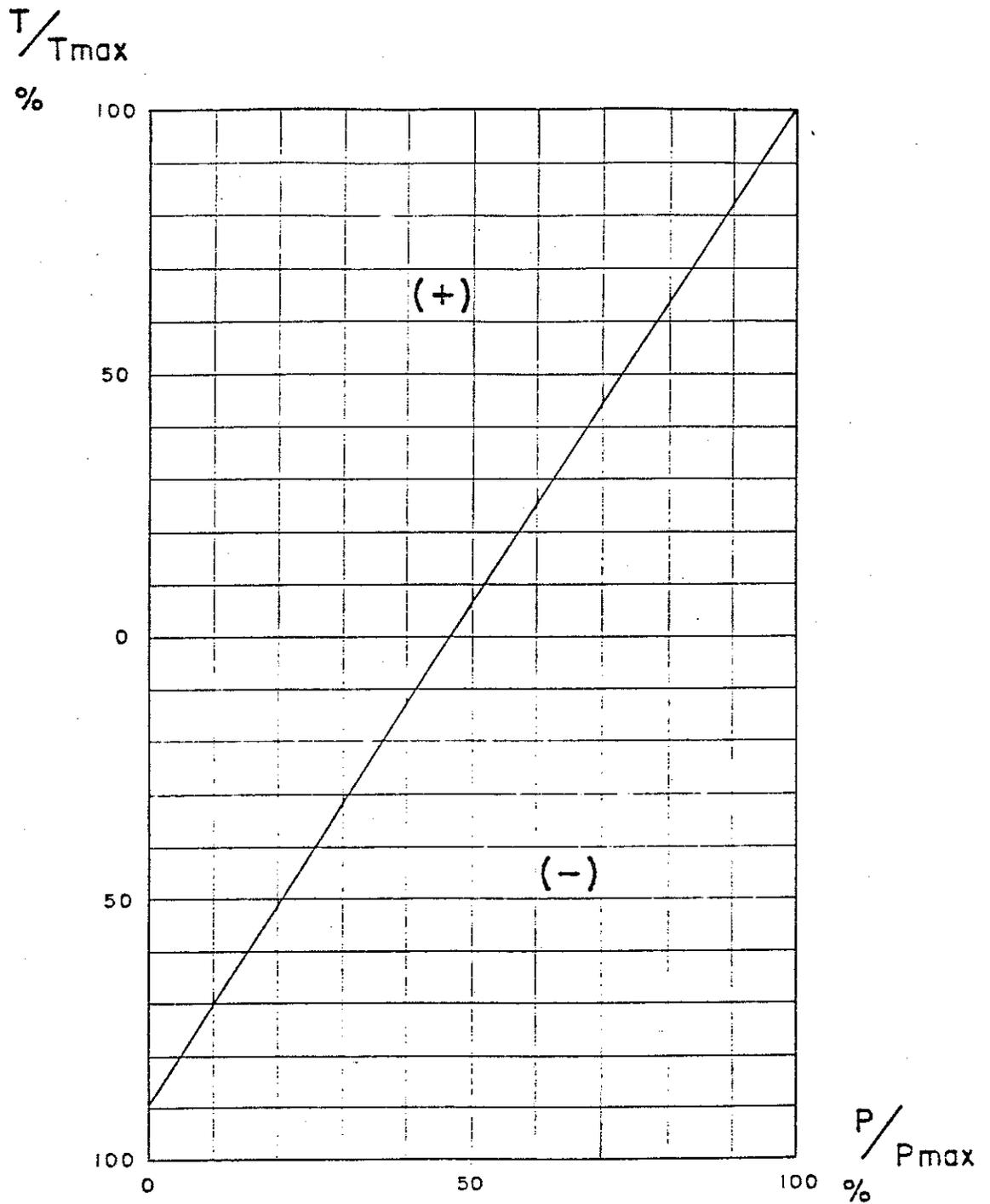
$$S_d = 0,20 S_y$$

Siendo S<sub>y</sub>, el esfuerzo de fluencia del material del eje, en kg/m<sup>2</sup>

Por limitaciones de espacio, el diámetro máximo permitido en el eje del álabe directriz para cada diámetro de rodete se muestra en la tabla siguiente:

D <sub>e</sub> (mm)	d <sub>i</sub> (mm)
300	38
400	50
500	63
600	76

En el plano 35, se detalla la geometría y la fabricación del deflector de flujo, que se montará solamente en las turbinas de doble entrada. El deflector quedará dentro del tubo de conversión que viene de la tubería forzada.



VARIACION PORCENTUAL DEL MOMENTO TORSOR EN EL EJE DEL ALABE DIRECTRIZ DE INYECTOR, SEGUN LA VARIACION DE CARGA DE LA TURBINA MICHELL BANKI

FIGURA N° 10

## 5.2. Diseño del eje y álabe directriz del inyector

En los planos 13/34 y 14/34 se muestran el eje y la geometría del álabe directriz.

La sección más crítica en el diseño del álabe es la punta cónica recta que apoya sobre el rodete cuando está operando a plena carga.

La otra sección crítica del álabe directriz es la parte inferior que cuando está cerrado toca en la caja de admisión. Las partes indicadas cuando el sistema está en posición de cierre tienen que hacer contacto con el inyector y la caja de admisión en la parte inferior, respectivamente; así de esta forma no hay posibilidades de que el agua pase al sistema de la turbina.

Es recomendable que los prensaestopas no estén muy apretados, ya que imposibilitaría el movimiento del álabe directriz, al mismo tiempo es muy importante que el sistema de prensaestopa tenga una excelente lubricación que no permita que la estopa se seque.

En el plano indicado el eje es rectilíneo, el cálculo mecánico del eje del álabe se realiza considerándolo que no transmite potencia sino que su movimiento es lento y oscilante, con apoyo en ambos extremos, con este criterio el cálculo del eje es fácil de realizar por la fórmula ASME, ya que no desarrolla fuerzas ni momentos.

Con referencia al álabe directriz éste se puede fabricar en acero inoxidable o en bronce aluminio dándole la geometría requerida por medio de fundición o trabajado en una fresadora copiadora pantógrafo. El acabado de esta pieza debe ser pulido brillante.

Finalmente el plano No.15/34 detalla el diseño de cada pieza del inyector. Estas son: el soporte lateral de los cojines, los que se montarán en la pared lateral del inyector, los cojinetes de deslizamiento y el prensaestopa.

## 5.3. Diseño y cálculos del rodete

Los planos Nos. 7/34, 8/34, 9/34 y 10/34 detallan el diseño del rodete, el primero; el segundo de ellos muestra las dimensiones y acabado final del mismo; y los dos restantes, muestran el despiece de sus elementos. Para el rodete se puede considerar una fabricación en base a plancha de acero inoxidable con cubos de eje de acero estructural, evitando su contacto con el agua para disminuir los efectos de la corrosión.

Existen varias alternativas para fijar los álabes al disco, una de ellas es la que se propone en los planos antes indicados y consiste en fresar en el disco el perfil del álabe, para luego montarlo y efectuar una soldadura exterior, dándole un mejor acabado al rodete. Cabe señalar que no se descarta la producción de rodetes fundidos en una sola pieza.

El espesor de los álabes generalmente se asume y posteriormente se realiza un chequeo de esfuerzo, considerándolo como una viga empotrada en sus extremos -por efecto de la soldadura- y cargada uniformemente. La fuerza que actúa sobre cada uno de ellos, suponiendo el caso desfavorable, que se presenta cuando el rodete por algún motivo es frenado y la turbina se encuentra con apertura total, se expresa por:

$$F = \frac{Q C2 \cos \theta'}{g_0 K_0 Z}$$

donde de acuerdo a la Figura No. 11:

F es la componente Y, de la fuerza del agua sobre cada álabe, en kg.

Q es el caudal máximo que fluye por el inyector, en m<sup>3</sup>/s.

C2 es la velocidad del agua a la salida del inyector, en m/seg.

Z número de álabes del rodete

g<sub>0</sub> constante igual a 9,81 kgm · m/kgf · seg<sup>2</sup>

K<sub>0</sub> es el porcentaje de arco de admisión

$\theta' = \frac{\alpha}{2} + \theta_0$

$$\theta_0 = \arccos \frac{re^2 + r_3^2 - ri^2}{2re2r3}$$

siendo:

$$r_3 = 2r \text{ sen } (\theta/2)$$

$$re = De/2$$

$$ri = Di/2$$

El esfuerzo máximo  $\sigma_{max}$ , al que será sometido el álabe del rodete por acción de la fuerza del agua a lo largo del mismo, se obtiene con la fórmula siguiente:

$$\sigma_{max} = \frac{F Br c}{12 I_{gx}}$$

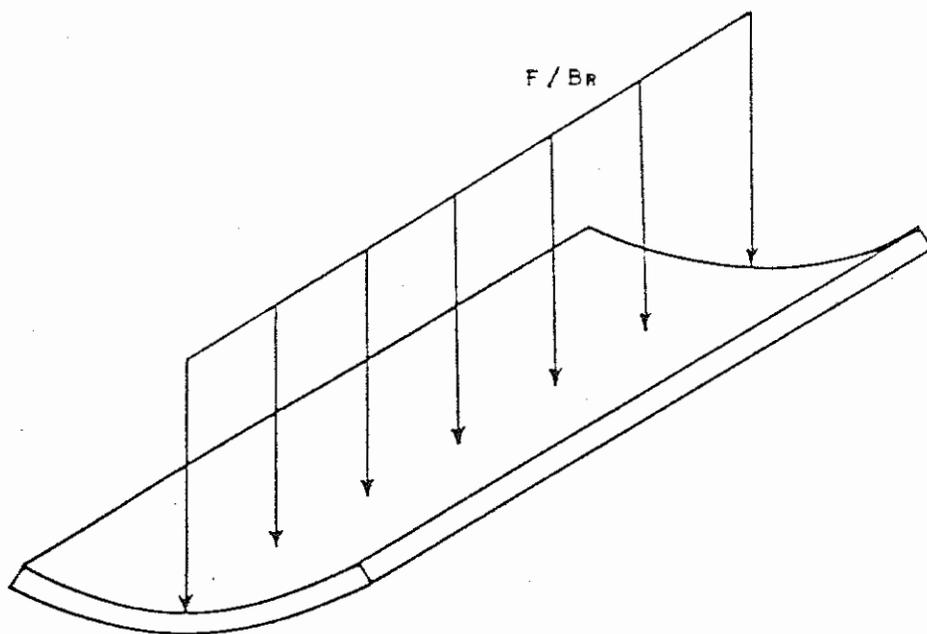
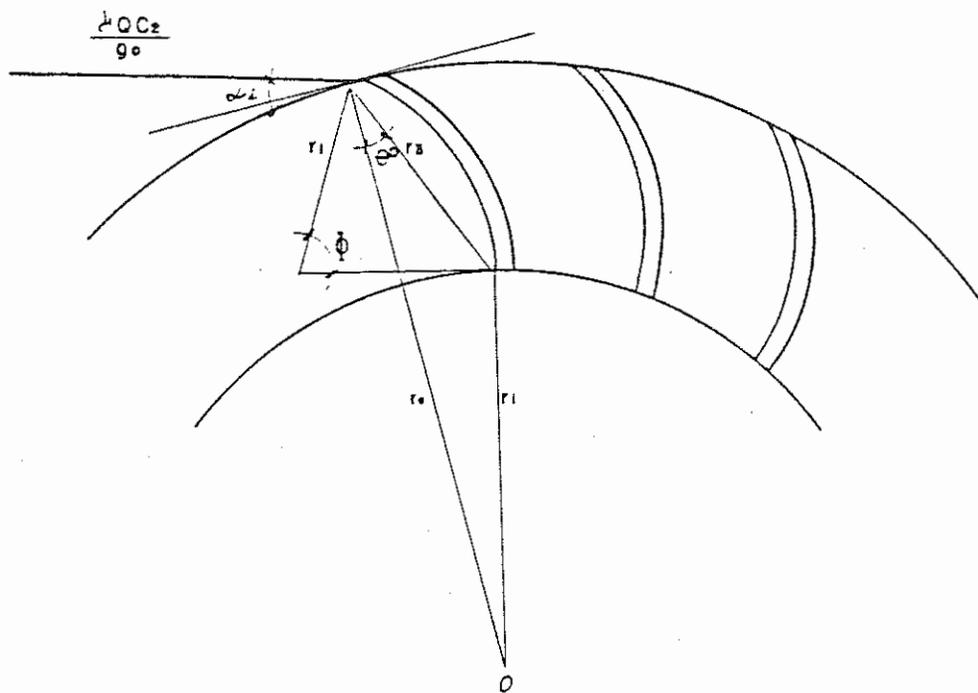
Donde:

Br es el ancho del rodete que se determina con el diseño de detalle, expresado en metros.

$$c = (r + e) - C_g$$

siendo C<sub>g</sub>, el centro de gravedad del álabe que se determina con la fórmula:

$$C_g = \frac{120}{\theta n} \frac{|(r + e)^3 - r^3|(\cos \theta_1 - \cos \theta_2)}{((r + e)^2 - r^2)}$$



FUERZAS ACTUANDO SOBRE EL ALABE DEL RODETE

FIGURA Nº II

donde:

e es el espesor del álabe en metros  
r es el radio de curvatura del álabe en metros

$$\theta_1 = \frac{180 - \emptyset}{2}$$

$$\theta_2 = \emptyset + \theta_1$$

$\emptyset$  es el ángulo de curvatura del álabe  
Igx es el momento de inercia del álabe determinado por:

$$Igx = (r + e)^4 - r^4 \left| \emptyset - \frac{\text{sen } 2\theta_2 - \text{sen } 2\theta_1}{2} \right|$$

en este caso  $\emptyset$ , se expresa en radianes.

En este chequeo de esfuerzos se debe cumplir que el esfuerzo máximo resultante en el álabe debe poseer un valor inferior al 66% del esfuerzo de fluencia  $S_y$ , del material seleccionado para el álabe.

Para fines prácticos y en los casos donde el rodete posea una geometría igual a la desarrollada en este Volumen, se puede considerar:

$$F = 46,5 Q \sqrt{H}$$

y los valores de  $C_g$ ,  $Igx$  y  $c$ , se pueden obtener de la tabla No. 4, donde se han calculado estos valores para diferentes diámetros y espesores de álabes de los mismos.

El espesor del disco se supone con el criterio de evitar su deformación por los efectos de calor en el proceso de soldadura al unirse con los álabes.

El cubo del rodete se diseña en base al diámetro del eje, recomendándose un diámetro exterior igual a dos veces el diámetro del eje. Los canales chaveteros que se tallan en él, se deben dimensionar considerando chavetas estandar, cuyo ancho sea aproximadamente la cuarta parte del diámetro del eje, y que su longitud tenga un valor de 1,2 a 1,3 veces el diámetro del eje.

Para facilitar el montaje del rodete en el eje se debe diseñar el diámetro interior de uno de los cubos ligeramente mayor que el otro, lo cual hace necesario diseñar el eje con diámetros escalonados.

#### 5.4. Cálculo y diseño del eje

El plano No. 11/34 muestra el diseño de detalle del eje principal, que ha tenido como base el plano No. 5/34, donde se muestra el detalle de su ensamble con los rodamientos y el rodete.

CENTRO DE GRAVEDAD Y MOMENTO DE INERCIA  
DEL ALABE DEL RODETE

DIAMETRO DEL RODETE De (mm)	ESPEJOR DEL ALABE e (mm)	AREA DE ESFUERZO A (cm <sup>2</sup> )	CENTRO DE GRAVEDAD Cg (cm)	MOMENTO DE INERCIA Igx (cm <sup>4</sup> )	RADIO DE GIRO C (cm)
300	2	1.27	4.66	0.1134	0.43
300	3	1.93	4.70	0.1622	0.48
300	4	2.59	4.75	0.2633	0.53
300	6	3.96	4.85	0.4751	0.64
400	2	1.68	6.18	0.2610	0.54
400	3	2.55	6.22	0.4098	0.59
400	4	3.42	6.27	0.5760	0.64
400	6	5.21	6.37	0.9779	0.75
500	2	2.10	7.70	0.5018	0.65
500	3	3.17	7.75	0.7780	0.70
500	4	4.25	7.79	1.0778	0.75
500	6	6.46	7.89	1.7686	0.86
600	2	2.52	9.23	0.8587	0.75
600	3	3.79	9.27	1.3215	0.81
600	4	5.08	9.32	1.8146	0.86
600	6	7.70	9.41	2.9159	0.97

NOTA: Estos valores son validos para álabes de rodete con  $\alpha_i = 16^\circ$

TABLA N° 4

El plano No. 25/34 muestra el retenedor, así como también el detalle para alojar la arandela partida, para fijación del rodaje.

El diseño del eje de la turbina se realiza considerando que la turbina transmitirá su potencia al generador por intermedio de un acoplamiento o un sistema de transmisión por bandas o engranajes. Con este criterio se obtiene un diagrama típico de fuerzas y momentos, que se muestra en la figura No. 12.

El cálculo mecánico del eje se realiza utilizando la fórmula de la ASME, con la cual se determina el diámetro mínimo del eje.

Esta fórmula es:

$$d^3 = \frac{16}{\pi S_d} \sqrt{(K_m M_{\max})^2 + (K_t T_{\max})^2}$$

donde:

$M_{\max}$  es el momento flector máximo que se presenta en el eje en kg-m y que se obtiene con la fórmula:

$$M_{\max} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

siendo:

$$M_x = Fr \cdot a/2$$

$$M_y = Pr \cdot a/2$$

$Pr$  es el peso del rodete en kg.

$Fr$  es la fuerza tangencial del rodete en kg., obtenido de:

$$Fr = 1948 Pt / (N De)$$

$Pt$  es la potencia de la turbina en kW.

$N$  es el número de revoluciones de la turbina, en RPM.

$De$  es el diámetro exterior del rodete, en metros.

$T_{\max}$  es el momento torsor máximo que se presenta en el eje, en kg-m y se obtiene con la fórmula

$$T_{\max} = 974 Pt / N$$

$K_m$  es el factor de momento flector para carga estable estimado con un valor de 1,5.

$K_t$  es el factor de momento torsor para carga estable estimado con un valor de 1,0.

$S_d$  es el esfuerzo de diseño, en  $kg/m^2$  del material utilizado para el eje, que se estima como un 20% del valor de esfuerzo de fluencia cuando se utiliza canal chavetero.

Para definir el escalonamiento de los diámetros en el eje se debe considerar las dimensiones de los rodamientos, las de los retenes estándares que se encuentran en el mercado y que en el interior del rodete, por razones de funcionamiento de la turbina, el diámetro máximo permitido está dado por:

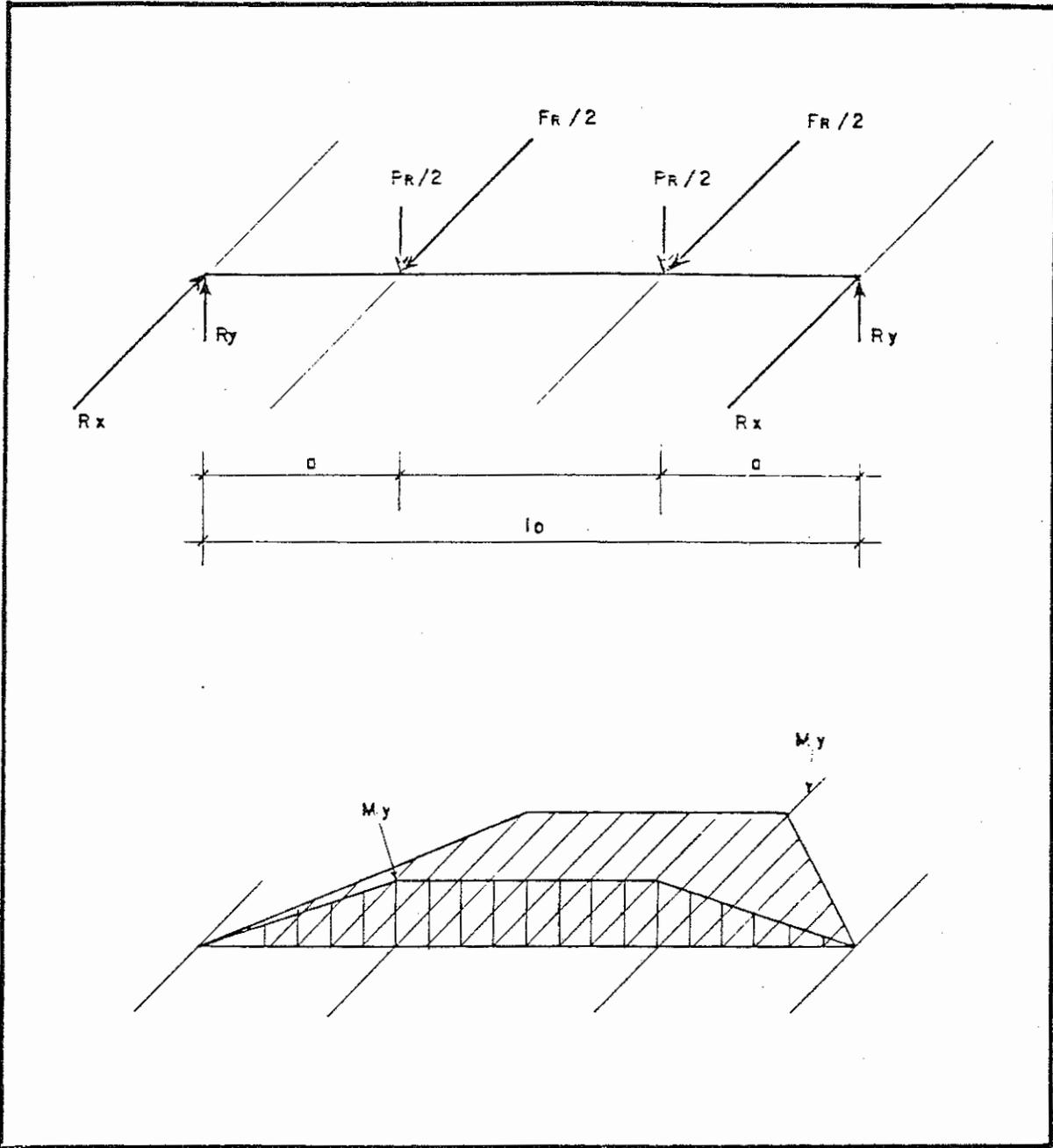


DIAGRAMA DE FUERZAS Y MOMENTOS EN  
EL EJE DE LA TURBINA

FIGURA Nº 12

$$d = 0,328 \text{ De}$$

Determinado el diámetro del eje, sería recomendable realizar un chequeo del mismo considerando la velocidad crítica del eje, la cual debe ser superior a la velocidad de embalamiento, que para el caso de la Turbina Michell Banki tiene un valor igual a 1,8 veces la velocidad nominal de la turbina.

La primera velocidad crítica de la turbina, en rpm, para el diagrama de fuerzas de la figura No. 12, estaría dada por:

$$N \text{ crit} = 29,88/y^{1/2}$$

donde

N está expresada en RPM

Y es la flecha resultante producida en el eje por la acción del peso y la fuerza del rodete, siendo y, para el diagrama de la figura No. 11 igual a:

$$y = \frac{Wa^2}{6EI} (3 l_0 - 4a) \text{ en metros}$$

siendo:

$$W = \sqrt{Pr^2 + Fr^2}$$

$$E = 2,1 \times 10^9 \text{ kg/m}^2$$

I es el momento de inercia de la sección del eje, en m<sup>4</sup>

$$I = \pi d^4/64$$

Se recomienda que la velocidad crítica sea un 40% superior a la velocidad de embalamiento de la turbina.

### 5.5. Diseño del soporte de rodamiento

Se aconseja utilizar soportes de rodamiento existentes en el mercado; para el diseño del soporte de rodamiento se requiere realizar previamente una selección del rodamiento. Esta selección se realiza determinando la capacidad de base dinámica requerida:

$$C = (X Fr + Y Fa) \left| \frac{60 N L_h}{10^6} \right|^p$$

donde:

C es la capacidad de base dinámica mínima requerida para el rodamiento, expresada en kg.

X es el coeficiente radial del rodamiento considerado como 1.

Y es el coeficiente axial del rodamiento que para el caso de la turbina no se utiliza por no existir carga axial Fa (Fa=0)

N es el número de revoluciones por minuto a los que gira la turbina.  
Lh es la duración nominal en horas de funcionamiento.  
P es 1/3 para rodamientos de bolas y 3/10 para rodamiento de rodillos.  
Fr es la carga radial sobre el rodamiento, determinada del diagrama de fuerzas y momentos de la figura No. 12.

$$Fr = \sqrt{Rx^2 + Ry^2}$$

Con la capacidad de base dinámica, el diámetro del eje obtenido y el número máximo de revoluciones a los que gira la turbina se realiza la selección de rodamiento en los catálogos comerciales.

Con las dimensiones del rodamiento encontradas en el catálogo, se diseña el soporte de rodamiento, considerando un sistema de montaje simple y que permita evitar la entrada de agua a los rodamientos. En el plano No. 5/34 se presenta un rodamiento existente en el mercado.

#### 5.6. Diseño del mecanismo de regulación

Como se mencionó en los capítulos anteriores, el inyector de la Turbina Michell Banki se puede diseñar con uno o dos compartimentos. En los casos en que el inyector se diseña con un compartimento, el mecanismo de regulación consiste en solo una palanca instalada en el eje del álabe directriz que se acopla directamente al regulador de velocidad. Cuando el inyector se diseña con dos compartimentos es necesario diseñar un mecanismo de regulación que combine los procesos de apertura y cierre de ambos compartimentos, a fin de obtener buenas eficiencias cuando la turbina opera a carga parcial.

En los planos Nos. 37 al 44 se puede observar el diseño de detalle de las piezas que ensambladas conforman el mecanismo de regulación. Estas piezas son: soporte de levas, levas y brazos de palanca.

En el plano No. 42 se puede observar las dimensiones de las levas de regulación, utilizadas en aquellas turbinas con inyectores de dos compartimentos, donde uno de ellos posee una dimensión de ancho igual a la mitad del otro.

El canal de estas levas está diseñado para que el proceso de apertura se realice en tres etapas.

- En la primera etapa el inyector mantiene el compartimento más grande completamente cerrado, mientras el compartimento pequeño inicia su apertura total.
- En la segunda etapa el inyector opera cerrando el compartimento pequeño y simultáneamente el compartimento grande inicia su proceso de apertura.

- En la tercera etapa el inyector mantiene el compartimento más grande completamente abierto, mientras el compartimento pequeño inicia nuevamente el proceso de apertura, quedando al final ambos compartimentos completamente abiertos.

En el plano No. 42 también se muestran las levas de regulación para aquellos inyectores que poseen dos compartimentos iguales. En este caso la regulación se realiza en dos etapas:

- En la primera etapa el inyector mantiene uno de los compartimentos cerrado, mientras el otro realiza el proceso de apertura.
- En la segunda etapa el inyector mantiene uno de los compartimentos abierto, mientras el otro realiza el proceso de apertura, quedando finalmente ambos compartimentos completamente abiertos.

El proceso de cierre al igual que en el caso anterior se realiza en forma inversa a lo indicado.

En el plano No. 36 se puede observar que al girar la leva de regulación, ésta hace rodar al rodamiento ubicado en el extremo del brazo principal, produciéndose el giro de éste, con lo cual se acciona la palanca del álabe directriz en el inyector, lo mismo ocurre en el lado posterior donde se ubica la palanca del álabe directriz del otro compartimento.

Para seleccionar el rodamiento que se desplaza por el canal de las levas se requiere determinar la fuerza radial que actúa sobre él. Esta fuerza se puede determinar en base al análisis de los brazos de palanca partiendo de la fórmula del torque máximo requerido para girar el álabe directriz. Determinada la fuerza radial sobre el rodamiento se procederá a seleccionarlo en la misma forma en que se seleccionan los rodamientos de la turbina.

El diseño de detalle de los brazos de palanca se pueden observar en el plano No. 43. El sistema de barra roscada y tuerca, ubicados en la palanca de regulación del inyector y en el brazo secundario, se ha realizado con el fin de afinar la dimensión en el momento del ensamble. Las dimensiones de la sección de los brazos de palanca se pueden calcular considerando barras sometidas a tracción y flexión.

El plano No. 37 muestra el ensamble de la estructura que soporta las levas de regulación, la misma que está diseñada para alojar los cojinetes de deslizamiento de bronce fosforoso en un tubo mecánico y en donde se ubica el pivote del brazo principal.

En el plano No. 38 se pueden observar las dimensiones de las estructuras base, que se podrán fabricar con plancha de acero estructural.

El eje que soporta las levas del mecanismo de regulación y que se acoplará al regulador de velocidad se diseña considerando el diagrama de fuerzas de la figura mostrada en la Figura No. 13, y aplicando la fórmula de la ASME.

$$d^3 = \frac{16}{\pi S_d} \sqrt{(K_m M_{\max})^2 + (K_t T_{\max})^2}$$

$$M_{\max} = dF$$

donde:

F es la fuerza radial ejercida en el rodamiento que se desplaza por el canal de la leva de regulación, encontrada del análisis de fuerzas en los brazos de palanca del mecanismo de regulación.

El torque  $T_{\max}$ , se puede considerar despreciable  
El factor  $K_m$ , se considera igual a 1, con lo cual:

$$d = 16dF/(\pi S_d)$$

El escalonamiento en este eje se realiza considerando su ensamble con los cojinetes de deslizamiento y las levas de regulación.

Los cojinetes de deslizamiento se diseñan considerando la fuerza F, como carga radial, no existiendo carga axial.

El diseño del mecanismo de regulación se concluye al determinar las dimensiones de los pasadores comerciales que se utilizan en las uniones de los brazos de palanca.

### 5.7. Diseño de la carcasa

Los planos Nos. 27/34, 28/34, 29/34 y 30/34 muestran las alternativas de diseño de detalle de la carcasa. En ellos se puede observar que los agujeros de las bridas se han diseñado en forma alargada, con el objeto de obtener un ajuste hermético en el ensamble con las demás piezas de la turbina.

Además de los planos antes descritos se incluyen los siguientes: 2/34, 4/34, 18/34, 19/34 y 23/34 que complementan la información de los anteriores, así como el 1/34 que es un isométrico de la Turbina Michell Banki en el que se destacan sus principales componentes.

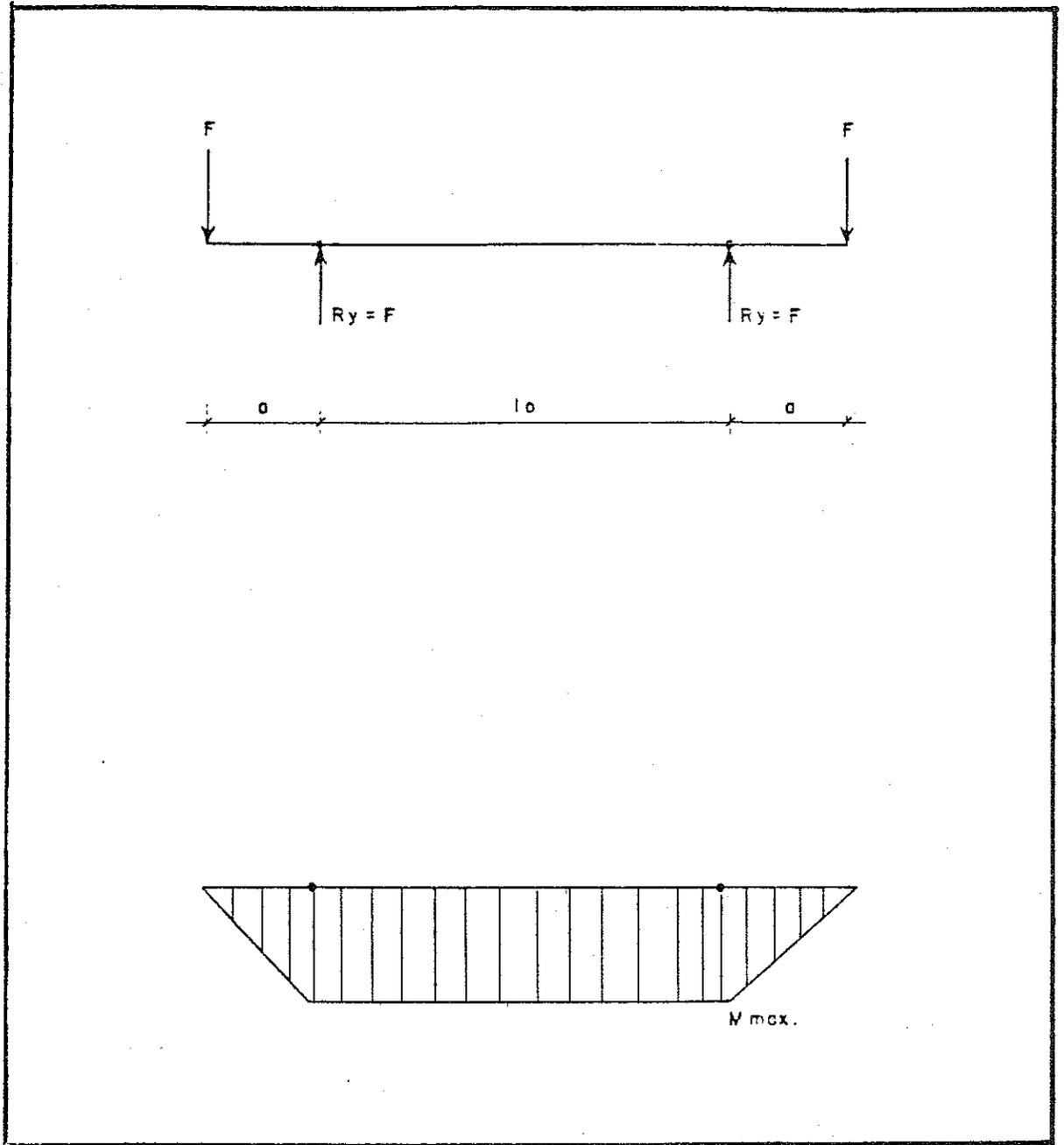


DIAGRAMA DE FUERZAS Y MOMENTOS DEL  
EJE DE LEVAS DE REGULACION

FIGURA N° 13

## 6. ESTANDARIZACION Y SELECCION

Una vez conocido el diseño de la Turbina Michell Banki se pueden establecer criterios para definir una serie estandarizada de este tipo de turbinas, para seleccionarla y en algunos casos para reubicarla, en un proyecto específico.

En la actualidad muchos fabricantes de turbinas han optado por definir series estandarizadas, que les dan la ventaja de optimizar los diseños, pudiendo con ello reducir los costos de ingeniería y fabricación. La estandarización posibilita al ingeniero proyectista realizar una adecuada selección de la turbina y con conocimientos básicos de su diseño está también en capacidad de reubicar esta turbina en otros proyectos.

### 6.1. Estandarización

#### 6.1.1. Estandarización según diseño hidráulico

La estandarización de Turbinas Michell Banki consiste en diseñar un número adecuado de turbinas, de tal modo que se complementen en su campo de aplicación y que en su conjunto cubran el rango de aplicación de este tipo de turbina.

Para la estandarización atendiendo el adecuado funcionamiento hidráulico de la turbina, se puede partir de la expresión del número específico de revoluciones:

$$Nq = N \cdot Q^{1/2} / H^{3/4}$$

Se sabe además que  $N = 39,85\sqrt{H} / De$

A partir de ambas expresiones se llega a:

$$Q / \sqrt{H} = (De \cdot Nq / 39,85)^2$$

Esta expresión demuestra, en primer lugar, que una determinada turbina de rodete con diámetro  $De$  podrá operar con cualquier combinación de salto y caudal tal que el número específico de revoluciones permanezca constante, esto es que

$$Q / \sqrt{H} = \text{constante}$$

Ahora bien, conociendo que para las Turbinas Michell Banki se cumple que  $18 \leq Nq \leq 60$ , sustituyendo dichos valores extremos en la expresión resultará.

$$Q / \sqrt{H} = (0,204 - 2,267) De^2$$

La cual tiene un gran valor práctico toda vez que permite establecer los valores extremos  $Q / \sqrt{H}$  para la aplicación de cada turbina de diámetro  $De$ .

Conviene recordar la interpretación gráfica que se da a la expresión  $Q/\sqrt{H}$ , como se muestra en la Figura 14.

A partir de la anterior ecuación y considerando varios valores del diámetro del rotor se obtuvieron los valores que se presentan en la Tabla 5; obsérvese que en la misma se han situado, además de los valores mínimos y máximos de  $Q/\sqrt{H}$ , los valores medios los que corresponden a un número específico de revoluciones  $Nq = 44,3$ .

TABLA 5  
PRIMERA ESTANDARIZACION DE TURBINAS MICHELL BANKI

De	$(Q/\sqrt{H})_{MIN}$	$(Q/\sqrt{H})_{MAX}$	$(Q/\sqrt{H})_{MED}$
0,25	0,013	0,142	0,078
0,30	0,018	0,204	0,111
0,40	0,033	0,363	0,198
0,50	0,051	0,567	0,309
0,55	0,062	0,686	0,374
0,60	0,073	0,816	0,445
0,70	0,100	1,111	0,606
0,75	0,115	1,275	0,695

En esta tabla 5 se aprecia de forma significativa que hay una amplia superposición en el campo de aplicación de los diferentes rodets. Por otro lado, es fácil demostrar que el cociente  $(Q/\sqrt{H})_{Min}/(Q/\sqrt{H})_{Max}$  es equivalente a la condición mas desfavorable de trabajo de la turbina a carga parcial  $P/P_{máx}$  y todos los casos de la Tabla 5 están entre 8,8% y 9,2% los cuales resultan excesivamente bajos y por tanto desfavorables según se puede comprobar con la figura 2.

Atendiendo a los aspectos antes mencionados y que el campo de aplicación de las turbinas Michell Banki es para  $0,013 \leq Q/\sqrt{H} \leq 0,686$  -veáse la figura 1- se obtiene la Tabla 6.

TABLA 6  
SEGUNDA ESTANDARIZACION DE TURBINAS MICHELL BANKI

De	$\Delta(Q/\sqrt{H})$	$\Delta Nq$	$(Q/\sqrt{H})_i / (Q/\sqrt{H})_f$	E(%)*
0,20	0,013-0,051	22,7 - 45,0	0,25	76
0,30	0,051-0,111	30,0 - 44,3	0,46	79
0,40	0,111-0,198	33,2 - 44,3	0,56	80
0,50	0,198-0,309	35,5 - 44,3	0,64	80
0,60	0,309-0,445	36,9 - 44,3	0,69	80
0,70	0,445-0,686	38,0- 47,2	0,65	80

\* E: eficiencia de la turbina

A partir de la Tabla 6 se confeccionó el gráfico de la figura 15 que resume de forma sencilla la estandarización de las turbinas Michell Banki atendiendo a su adecuado funcionamiento hidráulico.

REPRESENTACION GRAFICA DE LA EXPRESION  $Q/\sqrt{H}$

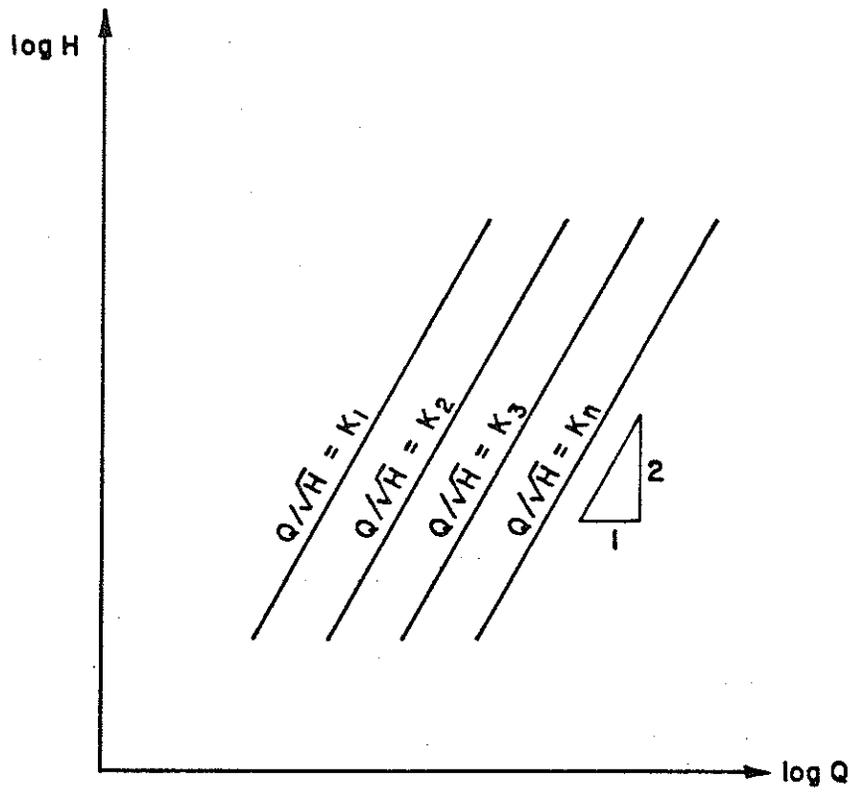


FIGURA 14

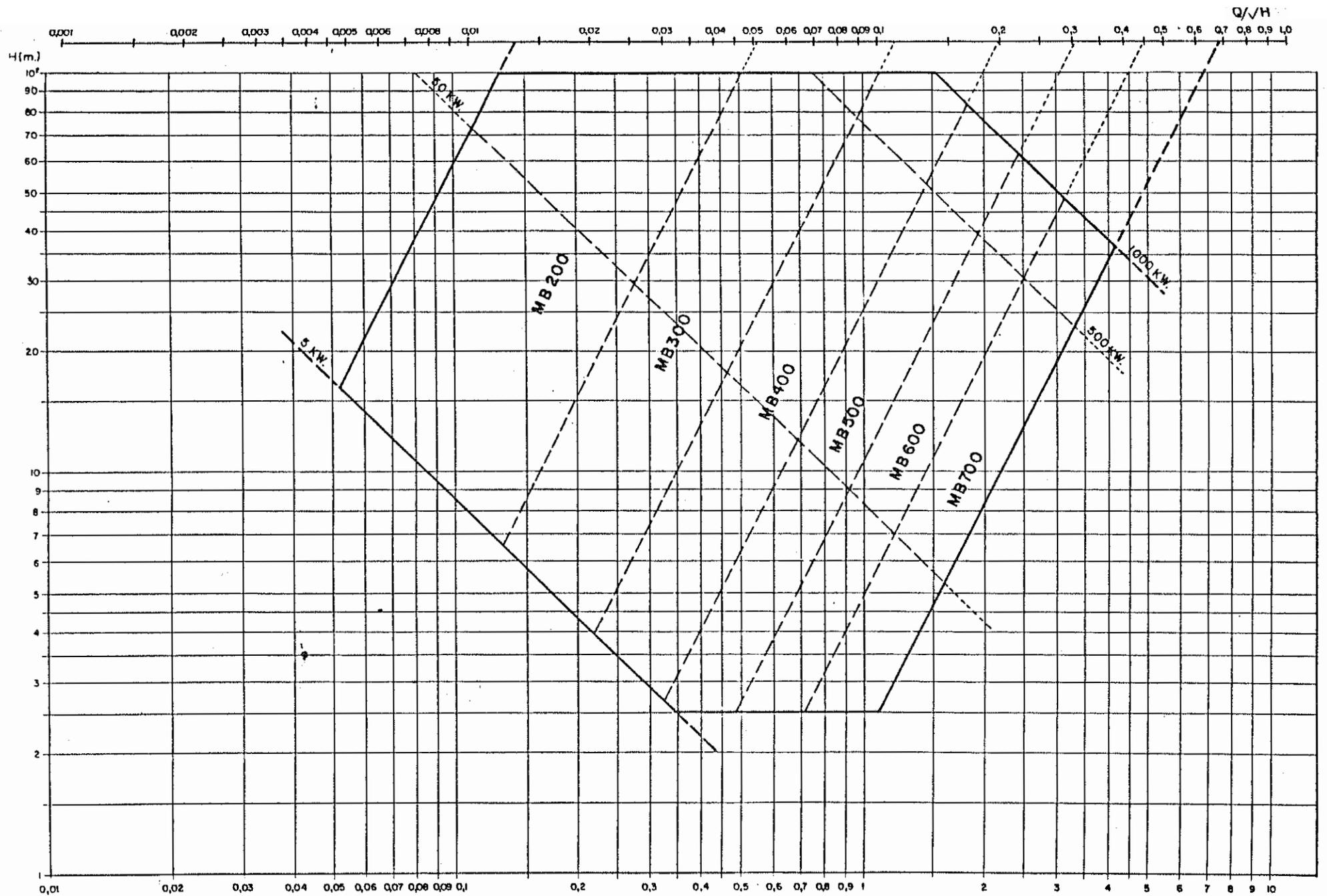


FIGURA 15

ESTANDARIZACION DE TURBINAS MICHELL BANKI SEGUN CRITERIOS HIDRAULICOS

$Q (m^3/s)$

En la misma Tabla 6 se aprecia que considerando que se diseña la turbina para  $(Q/\sqrt{H})$  final y trabaje en  $(Q/\sqrt{H})$  inicial, la afectación de la turbina sólo se manifiesta para los diámetros 200 mm y 300 mm y ello en pequeñas proporciones.

#### 6.1.2 Estandarización según diseño mecánico

De acuerdo al diagrama para seleccionar Turbinas Michell Banki que se presenta en la Figura 15, se aprecia que se han establecido seis zonas en dicho diagrama, correspondientes a seis diámetros diferentes del rotor.

A continuación, atendiendo al funcionamiento mecánico de la turbina, se presentan los diferentes aspectos considerados para llegar a la definitiva estandarización del tipo de Turbina Michell Banki.

##### a) Criterio de la variación de potencia.

Ha quedado establecido que para cualquier combinación de caudal  $Q$  y caída  $H$  tal que permanezca constante la relación  $Q/\sqrt{H}$  es posible utilizar una misma turbina, logrando de ella la misma eficiencia.

También es conocido que existe relación entre el ancho del inyector (o largo del rodete) y el término  $Q/\sqrt{H}$ , expresada por

$$B = \frac{0,96}{De} \frac{Q}{\sqrt{H}}$$

Quedando evidente que para cada  $Q/\sqrt{H}$  corresponde un ancho de rodete  $B$  y sólo uno.

Por otro lado se conoce que la potencia  $P$ , que es capaz de entregar un central hidroeléctrica viene dada por:

$$P = 9,81 QH\eta$$

combinando ambas expresiones se llega a

$$P = 10,22 B De H^{3/2} \eta$$

en la que se aprecia que la potencia  $P$  es directamente proporcional al ancho del rodete  $B$ .

Luego, al considerar la posibilidad de utilizar una Turbina Michell Banki cualquiera en una combinación  $Q/\sqrt{H}$  diferente a la de proyecto, se estará aceptando una variación de la potencia a lograr, en la misma proporción que se admita una variación de  $Q/\sqrt{H}$ .

Procediendo de forma inversa, esto es, si se admite una afectación máxima del 20% en la potencia, valor considerado aceptable desde el punto de vista práctico, se logrará definir un intervalo  $\Delta(Q/\sqrt{H})$  en el que es posible utilizar la misma turbina.

Así, a partir de los valores extremos inferiores de  $Q/\sqrt{H}$  para cada diámetro del rotor  $D_e$  dados en la Tabla 6, se pueden definir los diferentes largos de rodete que se muestran en la Tabla 7.

TABLA 7

LONGITUDES ESTANDARIZADAS PARA CADA RODETE  
EN FUNCION DEL DIAMETRO (mm)

200	300	400	500	600	700
62,0	60,0	80,0	380,0	494,0	610,0
75,0	73,0	97,0	475,0	594,0	757,0
92,0	90,0	120,0	-	-	-
112,0	110,0	145,0	-	-	-
136,0	135,0	177,0	-	-	-
165,0	165,0	215,0	-	-	-
200,0	200,0	262,0	-	-	-
-	245,0	320,0	-	-	-
-	300,0	390,0	-	-	-

b) Criterio de la velocidad de rotación

Como ya fue indicado, la velocidad de rotación óptima de una turbina Michell Banki viene dada por

$$N = 39,85 H^{1/2} / D_e$$

ahora bien, de la Figura 15 se aprecia que la turbina de rodete de 200 mm de diámetro trabajaría con caídas de hasta 100 m; si estos valores se sustituyen en la expresión anterior resultaría  $N = 1992$  rpm la cual si bien resulta aceptable matemáticamente, no lo es desde un punto de vista mecánico, ya que se ha podido comprobar en la práctica que la máxima velocidad de rotación de estas turbinas es de aproximadamente 1000 rpm.

Tomando  $N_{Máx} = 1000$  rpm y con el auxilio de la anterior expresión se obtiene el máximo valor de caída admisible en cada rodete, según se muestra en la Tabla 8.

TABLA 8

Diámetro $D_e$ (mm)	200	300	400	500	600	700
Máxima caída, H (m)	25	55	100	100*	100*	100*

\* fijados por máxima caída admisible en estas turbinas

### c) Turbinas estandarizadas

A partir de los dos criterios antes expuestos y considerando los valores de las Tablas 5 y 7 y la Figura 15, se arriba finalmente a los resultados de la figura 15-1 en la que es posible seleccionar la turbina Michell Banki adecuada a cualquier combinación de salto y caudal.

En el Cuadro No. 1 se presenta el cálculo de los principales elementos de las turbinas estandarizadas, del cual se hacen las siguientes observaciones:

- a) Según se puede observar en las líneas 5 y 6, todas las turbinas trabajan en un intervalo aceptable del número específico de revoluciones  $N_q$ .
- b) Los cálculos correspondientes al álabe directriz se hicieron considerando que éste se construiría de bronce al aluminio.
- c) Los cálculos correspondientes al rodete se hicieron considerando que este se construiría de acero al cromo-níquel.
- d) El espesor de los álabes del rodete se seleccionó considerando el mínimo posible capaz de resistir el esfuerzo del álabe, con vista a lograr economía adecuada.
- e) El diámetro del eje del rodete se fijó tratando de reducir al mínimo posible la variedad de diámetros para todas las turbinas.

### 6.2. Selección y reubicación

Cuando se dispone de catálogos con gráficos similares al indicado en la Figura No. 15-1, la selección de la Turbina Michell Banki se realiza intersectando los datos de salto y caudal del proyecto.

Para determinar el número de unidades que se instalarán en una central, es necesario considerar el estudio de evaluación de demanda del proyecto, porque en él se determinará el porcentaje de carga parcial con que operará la turbina cuando alcance la máxima demanda diaria el año inicial y si este porcentaje de carga parcial es superior a 30% se recomienda utilizar una sola unidad, en caso de ser superior al 15% se puede utilizar dos unidades y en casos excepcionales cuando esta relación es de 7,5% se podría utilizar tres unidades. Estas recomendaciones se basan en el análisis de las curvas características de la eficiencia de la turbina a carga parcial y las variaciones de carga que se observan en los diagramas de cargas típicas para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

Cuando no se dispone de catálogos que incluyen gráficos como el indicado, se recomienda solicitar la turbina al proveedor de equipos, dándole los siguientes datos:

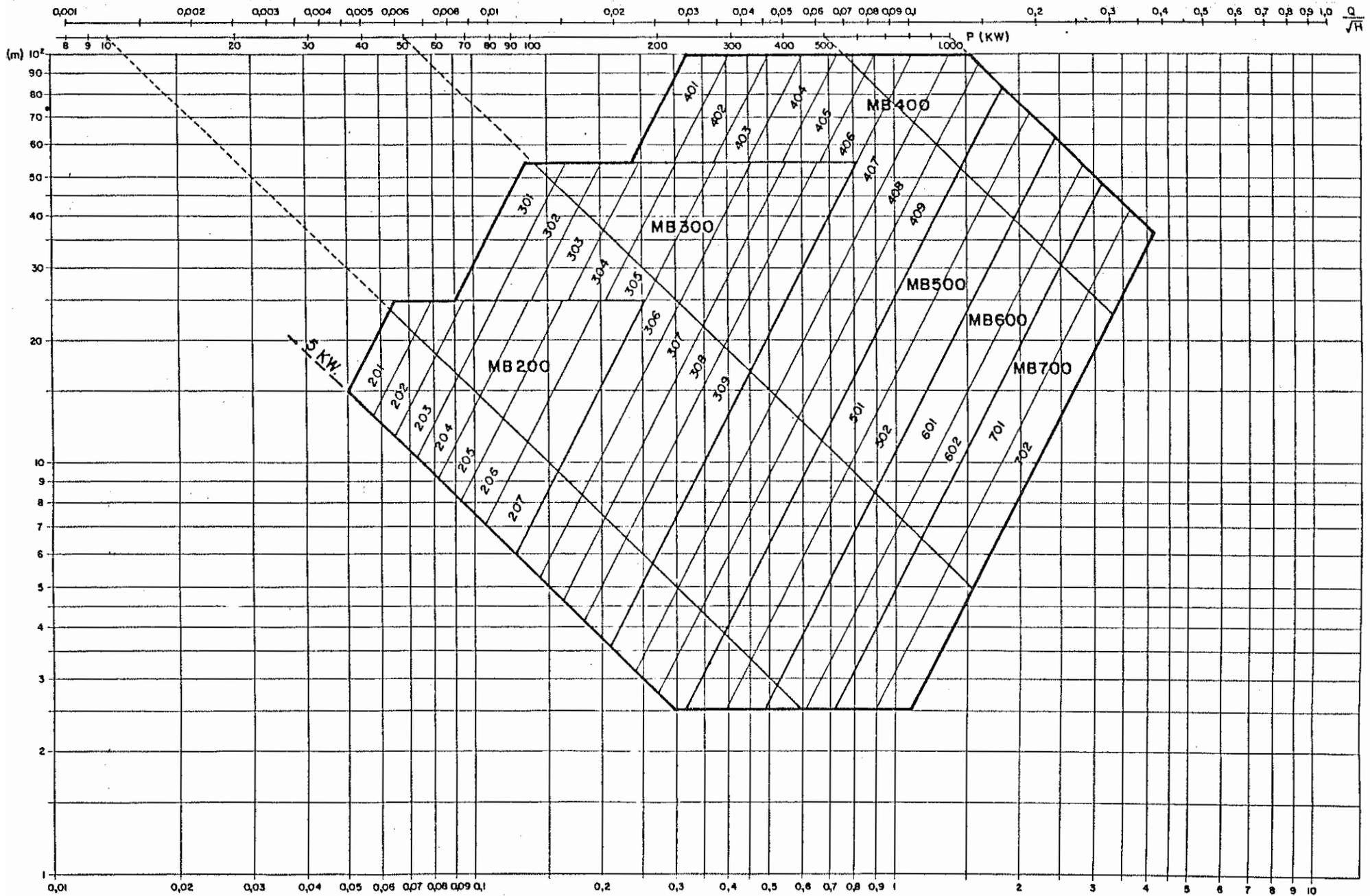


FIGURA · 15-1

Q (m³/s)

ESTANDARIZACION DE TURBINAS MICHELL BANKI SEGUN CRITERIOS HIDRAULICOS Y MECANICOS

CUADRO N° 1

CALCULO DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE LAS TURBINAS OLADE DE FLUJO CRUZADO ESTANDARIZADAS

ELEMENTO \ TURBINA	201	202	203	204	205	206	207	301	302	303	304	305	306	307	308	309	401	402	403	404	405	406	407	408	409	501	502	601	602	701	702	
1. GASTO MAXIMO DE DISEÑO, Q (m³/s)	0,064	0,078	0,096	0,117	0,142	0,172	0,208	0,139	0,189	0,208	0,255	0,313	0,383	0,464	0,568	0,695	0,333	0,404	0,500	0,604	0,738	0,896	1,092	1,333	1,584	1,803	2,099	2,431	2,728	3,082	3,577	
2. CARGA MAXIMA DE DISEÑO, H (m)	25	25	25	25	25	25	25	55	55	55	55	55	55	55	55	55	100	100	100	100	100	100	100	100	95	83	72	62	54	48	42	
3. POTENCIA MAXIMA, P <sub>i</sub> (KW)	10,7	13,0	16,0	19,5	23,7	28,7	34,7	91,0	62,0	76,3	93,6	114,8	140,5	170,2	208,4	255,0	222,1	269,5	333,5	402,9	492,3	597,7	728,4	889,2	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
4. VELOCIDAD MAXIMA ROTACION, N (RPM)	996	996	996	996	996	996	996	985	985	985	985	985	985	985	985	985	996	996	996	996	996	996	996	996	971	726	676	523	488	394	389	
5. NUMERO ESPECIFICO, N <sub>q</sub> MINIMO	22,5	24,9	27,6	30,5	33,6	36,9	40,6	18,2	20,0	22,2	24,6	27,3	30,2	33,2	36,8	40,6	18,2	20,0	22,3	24,5	27,0	29,8	32,9	36,4	40,2	35,4	39,8	36,9	40,5	37,9	42,3	
6. NUMERO ESPECIFICO, N <sub>q</sub> MAXIMO	24,9	27,6	30,5	33,6	36,9	40,6	45,4	20,0	22,2	24,6	27,3	30,2	33,2	36,8	40,6	44,6	20,0	22,3	24,5	27,0	29,8	32,9	36,4	40,2	44,6	39,6	44,4	40,5	44,6	42,3	46,9	
7. ANCHO DEL INYECTOR, B (mm.)	62,0	75,0	92,0	112,0	136,0	163,0	200,0	60,0	73,0	90,0	110,0	135,0	165,0	200,0	245,0	300,0	80,0	97,0	120,0	149,0	177,0	215,0	262,0	320,0	390,0	390,0	475,0	494,0	594,0	610,0	757,0	
8. TORQUE MAXIMO A REGULACION DEL ALABE, T (Kg-m)	1,98	2,42	2,98	3,63	4,40	5,33	6,45	9,59	11,66	14,34	17,39	21,59	26,42	32,00	39,18	47,93	41,29	50,10	62,00	74,90	91,51	111,10	135,41	165,29	191,44	234,60	276,06	356,04	372,87	463,35	503,04	
9. DIAMETRO DEL EJE DEL ALABE, d (mm)	12	13	14	15	16	17	18	20	21	23	25	27	29	30	33	35	33	35	38	40	43	46	49	50	50	60	62	67	69	74	78	
10. LONGITUD DEL RODETE, Br (mm)	62,0	75,0	92,0	112,0	136,0	163,0	200,0	60,0	73,0	90,0	110,0	135,0	165,0	200,0	245,0	300,0	80,0	97,0	120,0	145,0	177,0	215,0	262,0	320,0	390,0	390,0	475,0	494,0	594,0	610,0	757,0	
11. NUMERO DE ALABES POR RODETE	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
12. ESPESOR DE ALABES, e (mm)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	4	6	3	3	3	3	3	3	4	6	6	6	6	6	6	6	6	
13. ANCHO DEL ALABE (LONGITUD DEL ARCO), L <sub>a</sub> (mm)	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,9	39,9	39,9	39,9	39,9	39,9	39,9	39,9	39,9	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6	99,6	99,6	119,5	119,5	139,4	139,4
14. ESPESOR DISCOS EXTREMOS RODETE, e' (mm)	12	12	12	12	12	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	18	16	19	19
15. FUERZA QUE ACTUA POR ALABE, F (KG.)	14,88	18,14	22,32	27,20	33,02	40,00	48,36	47,93	58,28	71,73	87,94	107,94	132,08	160,00	195,88	239,67	154,84	187,86	232,50	280,86	343,17	416,64	507,78	619,84	717,91	763,81	828,19	890,10	932,17	992,90	107,29	
16. ESFUERZO MAXIMO DEL ALABE, σ <sub>MAX</sub> (KG/mm²)	0,61	0,90	1,35	2,00	2,96	4,34	6,37	0,91	1,34	2,04	3,06	4,60	6,89	7,02	8,05	8,07	1,49	2,19	3,35	4,89	7,29	8,29	8,50	8,34	8,99	5,88	7,97	6,09	7,67	5,84	7,87	
17. ESPESOR DISCOS INTERMEDIOS RODETE, e'' (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10
18. PESO DEL RODETE, P <sub>r</sub> (KG)	6,8	7,1	7,3	7,6	8,0	8,4	8,9	16,9	17,2	17,6	18,0	18,6	19,3	22,3	26,5	35,8	31,2	32,0	33,0	34,1	35,6	40,5	51,2	66,3	72,6	101,4	112,0	160,0	173,5	241,1	264,3	
19. FUERZA TANGENCIAL DEL RODETE, F <sub>r</sub> (KG)	104,6	127,1	156,5	190,7	231,8	280,7	339,3	336,2	408,7	503,0	617,0	756,8	926,2	1122,0	1373,8	1681,0	1086,0	1317,7	1630,7	1970,0	2407,1	2922,5	3561,6	4347,8	5015,4	5366,4	5763,3	6207,8	6653,0	7063,1	7541,6	
20. MOMENTO FLECTOR MAXIMO DEL RODETE, M <sub>MAX</sub> (KG-m)	1,1	1,6	2,4	3,6	5,2	7,7	11,3	3,4	5,0	7,5	11,3	17,0	25,5	37,4	56,1	84,1	14,5	21,3	32,6	47,6	71,0	104,7	155,5	231,9	326,0	339,9	456,3	511,3	658,9	718,5	952,1	
21. MOMENTO TORSOR MAXIMO DEL RODETE, T <sub>MAX</sub> (KG-m)	10,5	12,7	15,8	19,1	23,2	28,1	33,9	50,4	61,3	73,4	92,6	113,5	138,9	168,3	205,1	252,2	217,2	263,5	326,1	394,0	481,4	584,5	712,3	869,6	1003,1	1350,9	1440,8	1862,3	1993,9	2472,1	2639,6	
22. DIAMETRO MINIMO DEL EJE DEL RODETE, d <sub>r</sub> (mm)	26	28	30	32	35	37	40	44	47	51	54	58	63	67	72	78	72	77	82	88	94	101	108	117	124	135	139	151	156	166	172	
23. DIAMETRO MAXIMO DEL EJE DEL RODETE, d <sub>r</sub> (mm)	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	164	164	196,8	196,8	229,6	229,6	
24. DIAMETRO SELECCIONADO DEL EJE DEL RODETE, d (mm)	35	35	35	35	45	45	45	55	55	55	55	70	70	70	80	80	85	85	85	105	105	105	125	125	125	145	145	160	160	175	175	

- a) Potencia al freno de la turbina
- b) Salto neto de la central
- c) Número de unidades requeridas
- d) Sistema de regulación de velocidad requerido y,
- e) Características físicas y químicas del agua (cantidad de sólidos, grado de acidez, etc.).

Asimismo, se solicitará a los fabricantes que en la cotización se incluyan los siguientes datos técnicos:

- Potencia al freno de la turbina
- Salto neto que aprovecha
- Caudal máximo requerido para su operación a plena carga
- Velocidad óptima de giro
- Eficiencia
- Curvas de funcionamiento a carga parcial
- Inercia  $G.D^2$
- Peso y dimensiones generales
- Materiales de sus componentes, tales como: el rodete, tobera o álabe directriz, eje, carcasa, etc.
- Facilidades y disponibilidades de repuestos
- Instrumentación requerida para su operación
- Tipo de herramientas requeridas para su mantenimiento

Finalmente la selección definitiva de la turbina resultaría de una evaluación técnico-económica que tomará en cuenta los siguientes criterios:

- Costos de inversión y facilidades de pago
- Plazo de entrega
- Costo de los repuestos
- Eficiencia
- Posibilidades de obtener o fabricar localmente los repuestos
- Antecedentes de vida útil de otras turbinas producidas por el fabricante
- Infraestructura requerida para su mantenimiento
- Complejidad de su operación

Un caso particular de selección de turbinas ocurre cuando ésta no se adquiere de un fabricante o proveedor, sino se selecciona de un grupo de turbinas que estando en buenas condiciones, están fuera de servicio porque la central hidroeléctrica donde operaban, fue ampliada o sustituida por una subestación de un sistema eléctrico. En estos casos la turbina se le reubicará e instalará en un nuevo proyecto.

A diferencia de los generadores eléctricos, para reubicar una turbina además del dato de potencia al freno, es indispensable conocer también las condiciones de salto o caudal máximo con que operó inicialmente. Esto se puede comprobar si se observa la Figura No. 16, en donde se muestra el gráfico caudal-salto donde se incluyen las curvas de potencia y de operación a máxima carga que puede realizar una turbina geoméricamente determinada.

(m)

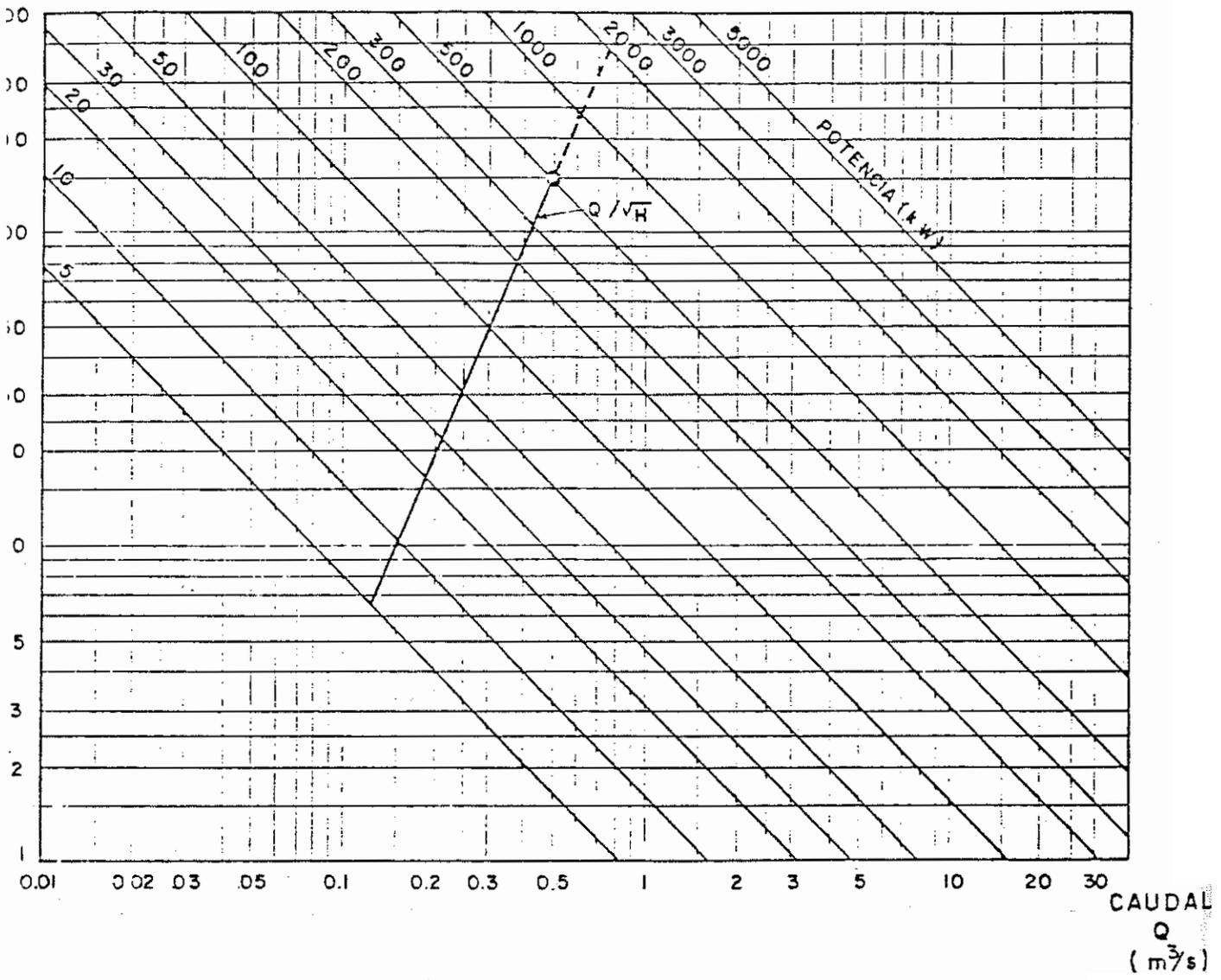


FIGURA Nº 16

SELECCION DE TURBINAS MICHEL BANKI SEGUN LA RELACION  $Q/\sqrt{H}$

Para conocer si una turbina está en condiciones de reubicarse en un proyecto hidroeléctrico, se requiere realizar dos comprobaciones; una de tipo hidráulico, por medio de la cual se determina si la geometría de la turbina permite satisfacer las condiciones de salto y caudal del proyecto, y la otra de tipo mecánico que permite determinar si los materiales utilizados en la turbina poseen la resistencia suficiente para soportar las nuevas condiciones de operación.

La comprobación de tipo hidráulico se puede realizar con el siguiente procedimiento:

- Cuando se conocen los datos de salto y potencia o caudal con que operó la turbina, se determina la característica Q/ H de la misma. En el caso de desconocer estos datos, será necesario determinarlos en base a la geometría del rodete, para lo cual se procederá a un rediseño de la turbina.

- Con los datos de salto y caudal del proyecto donde se reubicará la turbina, se determina la característica Q/ H del proyecto, para luego compararla con la característica obtenida para la turbina.

- La turbina podrá ser de utilidad en el proyecto si el porcentaje obtenido de la relación:

$$\left| \frac{Q/\sqrt{H} \text{ del proyecto}}{Q/\sqrt{H} \text{ de la turbina}} \right| \quad 100$$

es menor que el 100%. Este porcentaje representa el porcentaje de carga parcial con que operará la turbina cuando se satisfaga la potencia de diseño del proyecto.

- Para seleccionar la turbina se requerirá determinar, con ayuda de las curvas de funcionamiento a carga parcial de las turbinas, si el porcentaje de carga máxima al que llegará la turbina cuando desarrolle la potencia de diseño del proyecto, garantiza una buena eficiencia de operación.

La comprobación del tipo mecánico consiste en realizar el rediseño mecánico de la turbina y solo será necesario cuando la potencia de diseño del proyecto sea mayor que la potencia máxima que desarrolló la turbina en su instalación inicial. El rediseño mecánico considerará principalmente el cálculo del eje por velocidad crítica, teniendo presente que la turbina operará con otro salto y por consiguiente tendrá una nueva velocidad óptima de giro.

Cuando se reubica la turbina también se deberá diseñar el sistema de transmisión para acoplarla al generador, de tal forma que se garantice la operación de la turbina en su velocidad óptima.

## 7. RECOMENDACIONES PARA FABRICACION

### 7.1. Condiciones generales

En esta sección se presenta un listado de los materiales que se recomiendan para la fabricación de cada una de las piezas y partes de las Turbinas Michell Banki.

Cabe señalar que los criterios adoptados en las selección y definición de los mismos, se consideraron normas existentes usualmente aceptadas y disponibles en la industria metalmeccánica de los países de la región, asimismo se da una descripción general de dichos materiales.

Igualmente, se presenta una síntesis de los tipos de mecanizados, y procesos de fabricación de acuerdo a la estructura siguiente:

- a) Inventario y descripción de las piezas
- b) Proceso de fabricación
- c) Cronograma estimativo en h.hombre de tiempo de fabricación de una turbina.

### 7.2. Descripción de los materiales

#### 7.2.1. Acero inoxidable

La amplia gama de composiciones posibles ha llevado a una amplia variedad de aplicaciones que hacen uso de una o más de las siguientes propiedades: resistencia al impacto, a la corrosión y a la abrasión; soldabilidad, maquinabilidad, ductibilidad, elevado límite elástico, buenas características de fatiga y posibilidades de fabricación.

##### 7.2.1.1. Acero inoxidable fundido o moldeado por colada

Las aleaciones de moldeo proyectadas para servicio continuo o intermitente en medios corrosivos, a temperaturas menores de 650°C, se clasifican como aleaciones "resistentes a la corrosión". Estas aleaciones son de hierro-cromo y hierro-cromo-níquel tienen un mínimo de un 8 por ciento de aleantes y se llaman, corrientemente "aceros inoxidables moldeados o fundidos".

Hay tipos de aleaciones resistentes a la corrosión (inoxidables) de moldeo y de forja, pero sus composiciones químicas no son idénticas aunque, en menor grado, las diferencias en composición química son metalúrgicamente importantes para el adecuado balance de las composiciones, para proporcionar facilidad de trabajo (maquinabilidad, por ejemplo) por una parte y facilidad de moldeo por otra.

En general, la resistencia a la corrosión de las aleaciones de moldeo resistentes a la corrosión de las aleaciones de moldeo y forja correspondientes son equivalentes. Las designaciones para las aleaciones de moldeo resistentes a la corrosión se muestran en la Tabla 9, junto con el tipo correspondiente de aleación de

forja.

TABLA 9

Designaciones normalizadas para aleaciones de moldeo resistentes a la corrosión.

Designación de la aleación de moldeo	Aleación de forja correspondiente (*)
CA-15	410
CA-40	420
CB-30	431
CB-7CU	-
CC-50	446
CD-4MCu	-
CE-30	-
CF-3	304 L
CF-8	304
CF-20	302
CF-JM	316 L
CF-8M	316
CF-12M	316
CF-8C	347
CF-16F	303
CG-8M	317
CH-20	309
CK-20	310
CN-7M	-

(\*) Los números de los tipos de aleaciones de forja se relacionan para la conteniencia de quién desee conocer su correspondencia con las de moldeo. Debido a que los márgenes de composición química no son los mismos para moldeo y forja, los fabricantes deben emplear la designación de la aleación de moldeo para una adecuada identificación de las piezas moldeadas.

Estas designaciones -no las correspondientes a aleaciones para forja- deben ser empleadas para especificar las piezas moldeadas

#### Factores de selección

La adecuada selección de una aleación para un específico medio corrosivo comprende la consideración de alguno o todos de los siguientes factores :

- a) concentración, temperatura y presión del medio corrosivo;
- b) presencia de contaminantes en la solución
- c) velocidad del líquido;
- d) grado de aireación.

En general, el ataque corrosivo tiende a aumentar con:

- 1) aumento de la concentración;
- 2) aumento de la temperatura (una regla aproximada es que la velocidad de corrosión se duplica por cada 10°C de aumento de temperatura) y
- 3) aumento de la velocidad

A causa de que las aleaciones resistentes a la corrosión se emplean frecuentemente para manejar medios corrosivos en circulación, es importante considerar el efecto erosivo de líquidos a altas velocidades. La contaminación de las soluciones por iones de los elementos halógenos libres puede ser destructiva para las aleaciones inoxidable a causa del fallo local de la pasividad, con producción de picaduras. Normalmente, la mayor aireación es conveniente, ya que aumenta la capacidad oxidante de la solución. Pero, cuando el diseño de una pieza contribuye a la aireación diferencial, la superficie expuesta al más bajo contenido en oxígeno puede sufrir un ataque acelerado. El empleo de estructuras fundidas permite a menudo al proyectista eliminar grietas y hendiduras que pueden causar aireación o concentración diferencial de la solución.

La atmósfera, productos alimenticios, sales y ácidos oxidantes y agua ordinaria son ejemplos de medios corrosivos suaves, que pueden ser manejados satisfactoriamente a temperatura ambiente por todos los tipos de aleaciones de moldeo resistentes a la corrosión previamente relacionadas. Cuando las temperaturas y concentraciones de los medios corrosivos aumentan bajo condiciones fuertemente oxidantes, la elección apunta a las aleaciones ferríticas cromoníquel (grupo II).

Las soluciones debilmente oxidantes, concentradas y calientes, tales como ácidos sulfuroso, sulfúrico, acético y fosfórico, limitan normalmente la selección a los tipos de elevado contenido en cromo CH-20 y CK-20, o a los tipos que contienen molibdeno CD-4MCU, CF-8M y CN-7M. Las últimas tres aleaciones son los únicos tipos normalizados adecuados para el manejo de cloruros y ácidos clorhídrico y fluorhídrico calientes, y solamente después de las máximas precauciones en la valoración de las condiciones de servicio.

Los datos de velocidad de corrosión obtenidos en ensayos de laboratorio cuidadosamente controlados empleando reactivos químicamente puros son útiles en una primera clasificación de las aleaciones para su posterior consideración; pero las diferencias entre tales ensayos y las operaciones comerciales no deben ser descuidadas. Se debe hacer referencia a las amplias relaciones alfabéticas de medios corrosivos publicadas por muchos fundidores de aleaciones para determinar si un tipo específico es generalmente recomendado para el medio corrosivo considerado. El proyectista debe proporcionar al fundidor tanta información como sea posible sobre las condiciones de trabajo, antes de tomar una decisión para el uso de una aleación en particular.

En el caso del uso de acero inoxidable que está en contacto con aguas no tratadas, se debe hacer el examen de laboratorio de aguas: análisis de aguas duras, bioquímico; para de esta forma determinar el uso del acero inoxidable recomendado para la fabricación de los rodets para las turbinas.

El material que en general más se emplea es el acero inoxidable de bajo contenido de carbono, con la composición siguiente: Cr, 12 a 14 por ciento; C, 0,10 a 0,12; Mn, 0,08 máximo; P, 0,03 máximo; S, 0,05 máximo; Si, 0,25 máximo. Sus características físicas a la temperatura ambiente cuando ha sido tratado termicamente, pueden ser: resistencia a la tracción, 7000 Kg/cm<sup>2</sup>; punto de fluencia 5600 Kg/cm<sup>2</sup>; alargamiento 2 %, reducción de área, 60 por ciento. Este es el tipo de material recomendable para la fabricación de los álabes del rodete y de los álabes directrices.

Algunas propiedades físicas de los distintos tipos se relacionan en la Tabla 10.

TABLA 10

Algunas características mecánicas y físicas típicas de los aceros inoxidables para forja

	TIPO						
	410 <sup>a</sup>	420 <sup>a</sup>	430 <sup>b</sup>	304 <sup>b</sup>	316 <sup>b</sup>	AM-355 <sup>a</sup>	15-7 Mo <sup>a</sup>
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>							
Zona de fusión, °C	1.483/ 1.532	1.454/ 1.510	1.427/ 1.510	1.398/ 1.454	1.371/ 1.398	1.371/ 1.398	- -
Densidad, g/cm <sup>3</sup>	7,76	7,76	7,76	8,04	8,04	7,80	7,70
Cond. térmica, 90°C, cal/cm <sup>2</sup> /s/°C/cm	0,059	0,059	-	0,039	0,039	0,038	-
Coef. de dilatación, 20-100°C, cm/cm/°C x 10 <sup>-6</sup>	9,9	9,9	10,1	16,6	16,6	11,5	9,0
<b>CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS</b>							
Límite elástico, 0,2%, kg/mm <sup>2</sup>	24,5-126	35-154	24,5	21	21	126	154
Resistencia, kg/mm <sup>2</sup>	42-140	63-190	42	56	52,5	153	166
Alargamiento, %, K = 5,65	22-2	12,5-2	17	36	36	10,5	4,5
Dureza, Rockwell	B70-C45	B90-C55	B95máx.	B90máx.	B95máx.	C45	C46

<sup>a</sup> Datos para el estado de tratamiento térmico

<sup>b</sup> Datos para el estado de recocido

En la Tabla 11 se indican las propiedades de las aleaciones resistentes a la corrosión.

TABLA 11

Propiedades físicas de las aleaciones resistentes a la corrosión

Aleación tipo	Densidad, g/cm <sup>3</sup>	Calor espec. a 20 °C, cal/g/°C	Cond. térm. a 100 °C, cal/cm <sup>2</sup> /s/°C/cm	Coef. dilat. 20-500 °C, cm/cm/°C x 10 <sup>-6</sup>	Perm. Mag.	Res. eléc. a 20 °C, Ω-cm
CA-15	7,6	0,11	0,06	11,5	Ferromag.	78
CA-40	7,6	0,11	0,06	11,5	"	76
CB-30	7,5	0,11	0,053	11,7	"	76
CC-50	7,5	0,12	0,052	11,5	"	77
CD-4MnCu	7,7	0,12	0,036	11,7	"	75
CE-30	7,7	0,14	-	17,2	1,5	85
CF-3 y CF-8	7,75	0,12	0,038	18,0	1 a 2	76
CF-20	7,75	0,12	0,038	18,7	1,01	78
CF-3M, CF-8M y CF-12M	7,75	0,12	0,039	17,5	1,5 a 2,5	82
CF-8C	7,75	0,12	0,038	18,5	1,2 a 1,8	71
CF-16F	7,75	0,12	0,039	17,8	1 a 2	72
CG-8M	7,8	0,12	0,039	17,5	1,5 a 2,5	82
CH-20	7,7	0,12	0,034	17,2	1,71	84
CK-20	7,75	0,12	0,034	16,6	1,02	90
CN-7M	8,0	0,11	0,05	17,5	1,01 a 1,1	90

7.2.2. Bronce

Los tres "bronces al estaño" más comunes contienen 4,5; 8 y 10 por ciento de estaño y se conocen como los grados A, C y D, respectivamente. Contienen por lo general, fósforo desde trazas 0,4 por ciento, lo cual mejora sus cualidades para fundición o vaciado, los endurece un poco y ha dado origen al nombre conducente a error de "Bronce fosforoso". Los bronces se caracterizan por sus excelentes propiedades elásticas. Ver Tabla 12

7.2.2.1. Aleaciones fundidas de base cobre.

Bronce al estaño (Bronce G1) (10% Sn, 2% Zn).

Bronce estructural de utilidad general para servicios pesados, fundiciones a presión, bujes y cojinetes de servicio pesado que trabajan bajo altas presiones, altas velocidades, choques y vibraciones, con resistencia a la corrosión por ácidos débiles.

Bronce al estaño de alto contenido en plomo: (5% Sn, 9% Pb, 1% Zn)

Bronce al aluminio: (3% Fe, 9% Al), asientos, guías de deslizamiento y vástagos de válvulas, fundiciones que requieren resistencia a elevadas temperaturas, fundiciones para bombas resistentes a los ácidos y para bujes y cojinetes.

**TABLA 12**

**TIPOS DE BRONCES. CLASIFICACION SEGUN  
CONTENIDO DE ESTAÑO**

TIPO \ Contenido de estaño, %	4,5	8,0	10,0
A	x		
B		x	
C			x

Bronce de aluminio : (1% Fe, 10% Al) aleación de gran resistencia tratable térmicamente para empleos generales, piezas de servicios pesados, equipo marino, engranajes , piezas estructurales que requieren gran resistencia, excelente resistencia a la corrosión, mantenimiento de resistencias a elevadas temperaturas y resistencia a la oxidación.

El bronce es una aleación de cobre y estaño, generalmente contiene de 1 a 10% de estaño; los tipos especiales contienen de 5 a 10% de aluminio (bronce de aluminio) , porcentaje de fósforo, tablas o tipos de bronce, como desoxidante, bronce fosforado o bajo de porcentajes de sílice (bronce de silicio).

Peligros: el polvo es inflamable. Usos: herramientas resistentes a las chispas; partes de maquinarias, cojinetes, etc.

#### 7.2.3. Bronce fosforado

Es un bronce de estaño que se ha desoxidado por adición de hasta 0,5% de fósforo. Relativamente duro, fuerte y resistente a la corrosión, tiene buenas propiedades de trabajo en frío y elevada resistencia.

#### 7.2.4. Bronce de aluminio

Es una aleación que contiene de 88 a 96,1% de cobre, 2,3 a 10,5% de aluminio y pequeñas cantidades de hierro y estaño.

Estas aleaciones se caracterizan por su gran dureza, ductibilidad, elasticidad y resistencia al choque, a la fatiga, a la mayoría de los agentes químicos y al agua de mar.

#### 7.2.5. Acero de tungsteno

En muchas de sus propiedades de aleación, el tungsteno, es similar al molibdeno. El tungsteno aumenta la densidad de las aleaciones a las que se añade. Se emplea para obtener aceros de gran resistencia al desgaste y especial resistencia al temple, tales como aceros extrarápidos, aceros de elevada resistencia al desgaste, aceros de resistencia al arrastre y aleaciones a la oxidación.

#### 7.2.6. Acero estructural

El acero es, básicamente, una aleación de hierro y de 0,02% a 1,5% de carbono; se hace a partir del arrabio fundido por oxidación del exceso de carbono y otras impurezas . Hay muchos tipos de acero para usos especiales en los que se usan uno ó más métodos para la aleación, con o sin tratamiento térmico especial. En la Tabla 13 se relacionan las especificaciones corrientes para aceros fundidos al carbono y de baja aleación. La gran variación de propiedades mecánicas que muestra la tabla se hace posible mediante control de la composición química y del tratamiento térmico. Las piezas fundidas de acero al carbono o de baja aleación son tenaces, dúctiles y fácilmente soldables.

TABLA 13 ACERO MOLDEADO AL CARBONO Y DE BAJA ALEACION  
(CARACTERISTICAS MECANICAS MINIMAS)<sup>b</sup>

Especificación	Tipo	Tratamiento Térmico <sup>d</sup>	Resistencia a tracción kg/mm <sup>2</sup>	Límite elástico kg/mm <sup>2</sup>	Alargamiento % L = 5d
ASTM A 27-58	N-2	Rc, N, NR, TR	-	-	-
	N-3	↓	-	-	-
	U60-30	-	42	21	19
	60-30	Rc, N, NR, TR	42	21	21
	65-30	↓	45	21	17
	65-35	↓	45	25 <sup>c</sup>	21
	70-36	↓	49	25	19
70-40	↓	49	28	19	
ASTM A148-58	80-40	Rc, N, NR, TR	56	28	15
	80-50	↓	56	35	19
	90-60	↓	63	42	17
	105-85	↓	74	60	14
	120-95	↓	84	66	12
	150-125	↓	105	88	8
	175-145	↓	122	102	5
ASTM A216-58T	WCA	Rc, NR	42	21	21
	WCB	↓	49	25	19
ASTM A217-58T	WC1	Rc, NR	45	25	21
	WC1	↓	49	28	17
	WC5	↓	49	28	17
	WC6	↓	49	28	17
	WC9	↓	49	28	17
	C5	↓	63	42	15
	C12	↓	63	42	15
ASTM A352-58T	LCB <sup>d</sup>	N, NR, TR	45	25	21
	LC1 <sup>d</sup>	↓	45	25	21
	LC2 <sup>d</sup>	↓	45	28	21
	LC3 <sup>d</sup>	↓	45	28	21
ASTM A356-58T	1	NR	49	25	17
	2	↓	45	25	19
	3	↓	56	35	15
	4	↓	63	42	13
	5	↓	49	28	19
	6	↓	49	31	19
	7	↓	49	28	19
	8	↓	56	35	15
	9	↓	66	42	12
	10	↓	60	38	17
ASTM A387-57T	C23	N 1000° + R 675°C (min), 1 h/25 mm	49	28	15
	C24	N 1000° + R 675°C (min), 12 h	56	35	12

<sup>a</sup> Tratamientos térmicos alternativos relacionados. Rc = recocido de regeneración; N = normalizado; R = revenido; T = temple.

<sup>b</sup> Ensayos de dureza cuando se especifique en pliego de condiciones.

<sup>c</sup> Si se especifica recocido de regeneración, límite elástico mayor que 23 kg/mm<sup>2</sup>.

<sup>d</sup> Mínima resistencia al impacto sobre probeta Charpy con entalla en oído de cerradura: 2 kgm a temperatura especificada por el cliente. Las temperaturas de ensayo para cada tipo son: LCB, -46°C; LC1, -60°C; LC2, -73°C; LC3, -100°C.

El acero estructural se lamina en caliente y viene en diversas formas; planchas, varillas, barras, hojas, cinta, alambre, lana, etc.

Usos : Construcción, cascos de barcos, maquinaria y piezas para máquinas, automóviles, (turbinas para agua, vapor, etc.) hilos para neumáticos, cables, etc .

#### 7.2.7. Hierro forjado

Es un metal férreo, obtenido a partir de una masa solidificante de partículas pastosas de hierro metálico muy refinado, a las que se incorpora, cuando se solidifica, una pequeña cantidad de escoria que queda repartida uniformemente y que no sufre otra fusión. El hierro forjado de calidad se caracteriza por su bajo contenido en carbono y manganeso, las especificaciones obligan a mantener su concentración en un 0,06% máximo.

Desde el punto de vista estructural, el hierro forjado es un material compuesto. En la práctica se deben tener en cuenta los efectos físicos de la escoria de hierro silicato incorporada, en las operaciones de flexión y conformación de los tubos, planchas, barras y perfiles de hierro forjado.

Las planchas, barras, tuberías y piezas estructurales de hierro forjado se pueden curvar en caliente o en frío, teniendo en cuenta que el curvado exige la ductibilidad del material.

Se ha demostrado la resistencia a la corrosión del hierro forjado por su gran duración de servicio en diversas aplicaciones. Las conducciones de agua se han realizado con buenos resultados en el empleo de tuberías de hierro forjado.

Usos : ejes para turbinas de agua, vapor y gas, máquinas y partes para maquinaria, etc.

#### 7.3. Procesos de fundición

La elección del proceso de fundición es moderadamente amplia, dependiendo de las tolerancias deseadas, tamaño de la pieza, acabado superficial deseado, etc.

En la Tabla 14 se presenta una breve introducción a los procesos de fundición, señalando sus ventajas y limitaciones y en la Tabla 15 se indican los metales empleados en los procesos de fundición.

#### 7.4. Resumen de los tipos de maquinado de los metales

Las técnicas de separación de metales más usuales son conocidas desde hace décadas. A continuación se describen brevemente las más comunes:

TABLA 14 PROCESOS DE FUNDICIÓN. VENTAJAS, LIMITACIONES

Proceso de fundición	Descripción	Ventajas	Limitaciones
Moldeo en arena	<b>Arena en verde.</b> Se coloca arena húmeda, alrededor del modelo de metal se saca el modelo y se vierte el metal fundido dentro de la cavidad. Cuando el metal se solidifica, se rompe el molde y se retira la fundición. <b>Arena seca.</b> Igual que anteriormente, excepto: emplea cajas de núcleo en vez de modelos; la arena ligada con un aglomerante de fijación; núcleo colado en botas.	Puede emplearse cualquier metal; casi sin límite en tamaño y forma de pieza; posibilidad de complejidad extrema; bajo costo de herramienta; ruta más directa del modelo al molde.  Igual que anteriormente más posibilidad de manejar proyecciones largas y delgadas.	Siempre necesita alguna mecanización; fundiciones grandes tienen un acabado de superficie áspero; tolerancias precisas difíciles de alcanzar; proyecciones largas, delgadas, no son prácticas; algunas aleaciones desarrollan defectos. Generalmente limitado a piezas más pequeñas que con arena verde.
Moldeo en cáscara	Arena revestida con resina plástica termoestable, se vierte sobre un molde de metal colado (que polimeriza la resina); las mitades de la cáscara se sacan y se unen. Cuando el metal vertido se solidifica, el revestimiento se rompe, retirando la fundición terminada.	Velocidad de producción rápida; alta precisión dimensional; superficies lisas; estructura granular uniforme; operaciones de acabado reducidas al mínimo.	Algunos metales no pueden ser fundidos; requieren moldes, equipo y acante resinoso caros; tamaño de piezas limitado.
Moldeo por inyección	El metal fundido se vierte dentro de una matriz de acero cerrada a presión, variando desde 100 hasta 125 kgf/cm <sup>2</sup> ; cuando el metal se solidifica, se abre la matriz y se retira la fundición.	Superficies extremadamente lisas; precisión dimensional excelente; velocidad de producción rápida.	Altos costos iniciales del molde; limitado a metales no ferrosos; tamaño de piezas limitado.
Moldeo en coquilla	Las cavidades del molde se mecanizan dentro de bloques de matriz de metal diseñados para usos repetidos; la cavidad se alimenta por gravedad con metal fundido (algunas veces, se emplea presión después del vertido). El molde consiste en dos o más piezas y se abre y cierra para un desmoldeo más fácil de la pieza fundida.	Buen acabado superficial y estructura granular; alta precisión dimensional; empleo repetido de los moldes (hasta 25,000); velocidad de producción rápida; pequeña pérdida por rechazos; poca porosidad.	Altos costos iniciales de molde; forma, tamaño y complejidad limitados; metal de alto punto de fusión, tales como el acero, no empleables.
Colada en molde de yeso	Se vierte sobre el modelo una mezcla de yeso especial, agua y otros ingredientes, y se deja fraguar el modelo, se prepara y se hornea el molde. Cuando el metal vertido se enfría, se rompe el molde y se retira la fundición.	Alta precisión dimensional; superficies lisas; complejidad de los moldes casi limitada; baja porosidad.	Limitado a metales no ferrosos; limitado a piezas relativamente pequeñas; el tiempo empleado en hacer el molde es relativamente largo.
Moldeo a la cera perdida	Alrededor de un modelo formado de cera, plástico o mercurio congelado se cuece una pasta fluida de refractario (o se sumerge en ella); cuando la pasta se endurece, el molde se retira derritiéndolo y el molde se hornea. Cuando el metal vertido se solidifica, se separa el molde de la fundición.	Alta precisión dimensional; excelente acabado de superficie; complejidad casi limitada; puede emplearse en general cualquier metal.	Tamaño de pieza limitado; requiere moldes y moldes coros; alto costo de elaboración.
Colada centrífuga	Se hace girar un molde de arena, metal o grafito en un plano horizontal o vertical (método de centrifugado verdadero); el metal fundido introducido en el molde en movimiento es lanzado hacia la pared del molde, donde se mantiene por la fuerza centrífuga hasta que se solidifica.	Buena precisión dimensional; velocidad de producción rápida; buena sanidad y limpieza de la fundición; posibilidad de producir piezas cilíndricas extremadamente grandes.	Forma de la pieza limitada; el equipo para hacer girar el molde caro.

TABLA 15 METALES EMPLEADOS EN PROCESOS DE FUNDICIÓN

Procesos de fundición	Hierro	Aceros (carbón, aleac.)	Aleac. resist. calor y corros.	Aleac. aluminio	Aleac. cobre	Aleac. plomo	Aleac. magnesio	Aleac. níquel	Metales preciosos	Metales refractarios	Aleac. estaño	Aleac. titanio	Aleac. zinc
Moldeo en arena	M	M	M	M	M	O	M	M	-	-	O	-	O
Moldeo en cáscara	M	O	O	M	M	-	-	O	-	-	-	-	-
Moldeo en coquilla	M	O	-	M	O	O	M	O	-	-	O	-	O
Moldeo por inyección	-	-	-	M	O	M	M	-	-	-	O	-	O
Colada en molde de yeso	-	-	-	M	M	-	-	-	-	-	-	-	-
Moldeo a la cera perdida	-	M	O	M	M	-	-	O	-	-	-	-	-
Colada centrífuga	M	M	M	O	O	-	-	O	-	-	-	-	-

M = Materiales empleados con más frecuencia.  
O = Otros materiales que se usan corrientemente.

#### 7.4.1. Escariado

Consiste en la eliminación de metal con una herramienta de cuchillas múltiples. Cuando el escariador se mueve a través de la pieza, cada diente separa una viruta de espesor uniforme. Normalmente, el orificio se puede completar con una sola pasada de la herramienta.

#### 7.4.2 Taladro

Es una técnica para hacer un agujero por medio de una broca giratoria. La broca misma se puede considerar como una herramienta de extremo cortante .

#### 7.4.3. Fresado

Es un proceso de maquinado que da lugar a una superficie terminada, con una herramienta de corte dentada y giratoria, cada diente separa una viruta individual cuando pasa sobre la pieza.

#### 7.4.4 Rimado

Es un proceso en el que un orificio, que se ha formado con anterioridad, se agranda hasta el diámetro deseado con una exactitud tan estrecha como sea posible.

#### 7.4.5. Torneado

En el torneado y el barrenado se utilizan herramientas de una sola cuchilla para producir una superficie que puede ser cilíndrica, cónica o de curvatura irregular.

### 7.5. Inventario y descripción de las piezas

La Turbina Michell Banki comprende las siguientes piezas, las cuales se describen desde la base y por secciones :

1. Base de fundación
2. Caja de la turbina que comprende lo siguiente:
  - 2.1. Eje principal del rodete
  - 2.2. Rodete
  - 2.3. Alabes directrices del inyector
  - 2.4. Ejes de los álabes
  - 2.5. Cojinetes centrales y laterales
  - 2.6. Prensaestopas laterales
  - 2.7. Perfil de entrada
  - 2.8. Inyector
  - 2.9. Carcasa y tapas laterales de la carcasa
  - 2.10. Soporte de cojinete
  - 2.11. Cojinetes
  - 2.12 Retenedores externos
  - 2.13 Brida de entrada
  - 2.14 Bridas de conexión entre la turbina y la carcasa de descarga

3. Caja de las levas de regulación de los álabes, que comprenden lo siguiente:

- 3.1 Caja de la estructura
- 3.2 Eje de las levas de regulación
- 3.3 Cojinetes para el eje
- 3.4 Pivotes
- 3.5 Levas de regulación
- 3.6 Brazos articulados principales del sistema de regulación
- 3.7 Brazos secundarios del sistema de regulación
- 3.8 Palanca de regulación del inyector

La descripción de las piezas se explica por sí sola en los planos generales y de detalle (ver al final del Volumen los planos indicados).

7.6. Proceso de fabricación de la turbina

7.6.1. Base de fundación

La base de fundación es prácticamente un trineo (sky) la cual viene en forma integral con la máquina (turbina).

Esta base trae ya los orificios de los pernos de anclaje para su colocación en la fundación de hormigón armado y también agujeros roscados, los cuales también sirven para nivelación del equipo.

Se utilizan perfiles estructurales tipo "L" o "H". Los que van soldados por las alas con plancha de refuerzo, como está indicado en los planos. El fabricante queda en libertad de seleccionar los perfiles de acuerdo al mercado local, respetando las dimensiones dadas. Se debe tener en cuenta el cálculo de las soldaduras al cambiar de perfil, para no quemar el material. Ver planos Nos. 32/34, 33/34 y 34/34.

7.6.2. Caja de la turbina

Que comprende lo siguiente:

7.6.2.1 Eje principal del rodete

El eje se fabricará principalmente en acero forjado al carbono, de acuerdo a las dimensiones requeridas, tolerancias de los diámetros, chaveteros (cuñeros), acabados y los radios de curva en los cambios de sección. Se pueden utilizar otros materiales en función a su disponibilidad en los países. Luego de fabricado el eje se recomienda lubricarlo y almacenarlo en un caja de madera, hasta el momento de su uso en el ensamblaje final. Ver Plano No 11/34.

#### 7.6.2.2. Rodete

El rodete está conformado por las siguientes partes:

- a. cubos
- b. discos
- c. álabes
- d. arandela partida (insertada en el cubo y en el eje).

El tipo de material que se recomienda para su fabricación, así como los detalles de fabricación, acabados, tolerancias, chaveteros (cuñeros) y roscas, se indican en Planos Nos. 8/34, 9/34 y 10/34.

Se recomienda que la unión de soldadura entre los cubos y discos, se realice por medio de argón, si no es posible utilizar este sistema, se puede soldar con electrodos de acero inoxidable, luego rectificar la soldadura en el torno, dándole el acabado requerido. La pieza puede ser balanceada durante este proceso.

#### 7.6.2.3. Alabes directrices del inyector

Los álabes directrices se podrán fabricar en acero inoxidable, bronce aluminio, aleación de magnesio, etc. por el proceso de fundición. Para este procedimiento deben prepararse los modelos que se utilizarán para la producción de los álabes.

Se recomienda usar acero inoxidable por su resistencia a la corrosión y durabilidad en medios corrosivos, las otras aleaciones que se mencionan, son alternativas de producción, las cuales se pueden usar y la selección queda en disponibilidad de los países.

Los niveles de acabado y tolerancias que deben tener estas piezas, se indican en los Planos Nos. 13/34 y 14/34.

#### 7.6.2.4 Ejes de los álabes

Los ejes se deberán fabricar en acero forjado de carbono, de acuerdo a las dimensiones indicadas, tolerancias de los diámetros, chaveteros (cuñeros), acabados, etc. Ver plano indicativo.

Luego de fabricado el eje, es recomendable lubricarlo y almacenarlo en caja de madera, hasta el momento del ensamblaje final.

#### 7.6.2.5 Cojinetes centrales y laterales

Los cojinetes centrales y laterales que se usarán en los ejes de los árboles, se fabricarán en bronce fosforoso y podrá elaborarse por fundición.

Como alternativa se puede usar un eje normalizado de bronce fosforoso el cual se conformará en el torno.

Es importante que los cojinetes, tengan una ranura y punto de lubricación.

#### 7.6.2.6. Prensaestopas laterales

Estas piezas podrán fabricarse de hierro trabajado en el torno. No es recomendable producirlas por fundición, ya que de esta forma los costos de producción serían mayores. Ver plano No. 15/34.

#### 7.6.2.7. Deflector de flujo

Esta pieza puede fabricarse de acero inoxidable o cualquier otro material que garantice la calidad requerida, luego se procederá a unirlos por intermedio de tornillos como se indica en el Plano 35, finalmente se le dará el acabado de pulido.

#### 7.6.2.8. Inyector

Esta pieza se fabricará en base a planchas estructurales, las cuales serán curvadas y soldadas .

Los acabados están indicados en los planos, como también todos los pasos requeridos para soldadura y ensamblaje. Ver Plano No. 16/34.

#### 7.6.2.9. Carcasa y tapas laterales de la carcasa

La carcasa y las tapas laterales serán fabricadas de planchas de acero estructural.

Los procedimientos y procesos de fabricación están indicados en los Planos Nos. 17/34 y 21/34.

Luego de terminadas las piezas se recomienda galvanizarlas para evitar la corrosión .

#### 7.6.2.10. Soporte de rodamientos y rodamientos

Los rodamientos y la caja de rodamientos , serán de tipo comercial, todos los datos de tamaños, dimensiones , equivalencias, rpm, etc. están indicados en los planos de detalle. Ver Plano No. 5/34.

#### 7.6.2.11. Retenedores externos

Los retenedores son piezas circulares , las cuales pueden fabricarse en acero al carbono, con sus correspondientes canales para la colocación de empaquetaduras de neopreno. Ver Plano No. 25/34.

Estas piezas se realizan en el torno, y en los planos se indican diámetros , espesores , acabados y diámetros de los agujeros para tornillos.

#### 7.6.2.12. Brida de entrada

Las bridas serán fabricadas de planchas de acero estructural y serán soldadas y empernadas según se especifica en los Planos Nos. 20/34, 21/34 y 22/34.

7.6.2.13. Bridas de conexión entre la turbina y la caja o carcasa de descarga.

La fabricación será con platinas de acero estructural, las cuales se soldarán entre sí. Ver Planos Nos. 26/34 y 27/34.

7.7. Caja de levas de regulación de los álabes

7.7.1. Caja de la estructura

Esta pieza se fabricará con planchas de acero estructural, las cuales irán soldadas entre sí.

Se cortarán las planchas a las medidas indicadas y luego rectificadas en el cepillo mecánico dándole el acabado final a las dimensiones exactas .

7.7.2. Ejes de las levas de regulación

Se aplicará el mismo procedimiento indicado en el capítulo 7.6.2.4.

7.7.3. Cojinetes para el Eje

Se aplicará el mismo procedimiento indicado en el capítulo 7.6.2.5. Ver Plano No. 5/34.

7.7.4. Pivotes

Se aplicará el mismo procedimiento que se usa para los ejes, ver capítulo 7.6.2.5.

La diferencia radica en que estos pilotes o ejes fijos irán adosados a la estructura por medio de soldadura, la cual deberá ser limpia, muy pareja y con una excelente terminación.

7.7.5. Brazos articulados principales del sistema de regulación

Se fabricará con planchas de acero estructural, las cuales irán unidas por dos bocinas de acero soldadas para mantener la unión y el paralelismo entre ambos brazos.

Las bocinas de acero llevarán bujes de bronce, con su correspondiente sistema de lubricación, tal como se indica en los Planos Nos. 37 al 44.

7.7.6. Brazos secundarios del sistema de regulación

Se fabricará en tubos cuadrados de acero estructural , de acuerdo a planos. Ver Planos Nos. 37 al 44.

#### 7.7.7. Palanca de regulación del inyector

Estas pequeñas palancas serán fabricadas de acuerdo al plano en base a dos bujes, uno horizontal y otro vertical, la unión de las mismas será por medio de soldaduras, las cuales luego serán rectificadas en el torno para su correspondiente acabado. Ver planos Nos. 37 al 44.

El buje horizontal llevará su correspondiente ranura para el chavetero (cuñero) con las tolerancias indicadas y su acabado.

El buje vertical irá con rosca interior con el diámetro y paso que se indica.

#### 7.8. Ensamblaje de la turbina

7.8.1. Después de fabricadas todas las partes y piezas pintadas y galvanizadas de acuerdo a las especificaciones aquí dadas, se da comienzo al subensamblaje y ensamblaje final.

7.8.2. El subensamblaje comenzará de la forma siguiente:

##### 1. Sitio de montaje y base de fundación

En el taller se deberá buscar un sitio apropiado para el armado de la turbina. Una vez logrado esto, se colocará la base de fundación de la turbina.

##### 2. Montaje de la carcasa

Se deberá ir colocando la carcasa de la turbina, alineándola y empernando a la base de fundación.

##### 3. Montaje del eje principal, rodete y cojinetes

Al eje principal de la turbina se le colocará el rodete y las chavetas (cuñeros), después de esto se montarán los cojinetes correspondientes en el sitio indicado en el eje.

Una vez logrado esto, el eje y el conjunto que lo forman se montarán en los soportes ya instalados.

Al montar el eje, se volverá a rectificar el alineamiento de los cojinetes, una vez alineados a los soportes de cojinetes, se le colocará la tapa correspondiente y con esto se finaliza este subensamblaje.

##### 4. Montaje de ejes porta álabes, álabes, inyector y accesorios.

En esta secuencia se montarán los álabes directrices de acero inoxidable, en los ejes correspondientes, se colocarán los cojinetes centrales, los soportes de cojinete central, los cojinetes laterales, las empaquetaduras y el prensaestopa, se colocarán en el sitio correspondiente y se alinearán con

mucho cuidado. Después de finalizada esta operación se colocarán las planchas guías del inyector, se colocará el inyector con mucho cuidado en su sitio.

#### 5. Instalación de las carcassas superiores y brida de entrada.

Al tener ensambladas las partes ya indicadas se procederá a instalar las carcassas laterales, la carcassa superior y la brida de entrada a la turbina empernándola donde corresponda de acuerdo a los planos .

NOTA: Entre la brida de entrada y la brida de la tubería forzada, se colocará una empaquetadura de neopreno, para una perfecta unión y evitar fugas de agua .

#### 6. Montaje de la carcassa de descarga

La carcassa de descarga, se ensamblará fuera de la turbina, una vez lograda esta operación, se montará sobre la plancha base de fundación de la turbina.

En las bridas inferiores que van sobre la plancha base y las bridas verticales que van conectadas a la turbina, se colocarán empaquetaduras de neopreno, o pegamento a base de silicones; primero, para lograr un buen ajuste y pérdidas de agua y segundo, para evitar que no haya contacto entre los metales para evitar el desgaste natural y la corrosión.

#### 7 . Sistema de regulación

El sistema de regulación se ensamblará aparte; se montará de acuerdo a los planos y especificaciones, colocando el eje , los bujes de bronce, la tapa de los bujes, se colocarán las levas correspondientes con sus chaveteros (cuñeros), en esta etapa se debe alinear perfectamente todas las piezas y partes.

Como ya se tiene el sistema de regulación armado , se montará sobre la base de fundación de la turbina colocando los pernos que corresponda a la base; en esta fase de la operación se deberá nivelar donde sea necesario .

#### 8. Brazos de regulación

Como ya está armada la turbina se colocarán los brazos secundarios y principales. Se deberá mantener el paralelismo entre los brazos y el alineamiento correspondiente.

Las bocinas de acero llevarán los bujes de bronce, con su correspondiente sistema de lubricación, tal como está indicado en los planos.

9 . Prueba de puesta en marcha de la turbina

Antes de la prueba de la puesta en marcha, se revisarán todos los mecanismos para ver si actúan en la forma que se desea, se revisarán todos los puntos de lubricación, de los cojinetes, bocinas y bujes, para que el funcionamiento inicial sea lo más suave posible.

Después de esta revisión, se pondrá un motor reductor para prueba en el sistema de regulación.

En el eje principal de la turbina se acoplará un motor que no exceda de los 750 rpm para las pruebas de funcionamiento.

Se tomará el tiempo de la prueba el cual durará 24 horas, de haber alguna falla en la turbina se parará inmediatamente la misma.

De ir todo perfectamente en la prueba inicial se dejará funcionando y luego de pasado el período de prueba, se deberá parar la turbina y hacer la revisión final de todas las piezas y componentes. Luego de los períodos de prueba y revisión se procederá a la prueba final por el lapso de 12 horas continuas.

El ingeniero responsable del taller emitirá un certificado de calidad y de funcionamiento de la turbina .

## 8 .NORMAS

### 8.1 Introducción (lineamientos generales)

Se recomienda cumplir con las especificaciones OLADE/HIDROENERGIA /PCH, así como también considerar las normas vigentes en cada país, además de las normas técnicas generales.

### 8.2 Normas de referencia

A continuación se presenta un listado de normas más utilizadas en los países de la región.

- AISC = American Institute of Steel Construction. (Instituto Americano de Estructuras de Acero).
- AMCA = Air Moving and Conditioning Association. (Asociación de Ventilación y acondicionamiento).
- ANSI = American National Standard Institute. (Instituto Nacional Americano de Normas).
- ASTM = American Society for Testing and Material. (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
- ASME = American Society of Mechanical Engineers. (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).
- AWA = American Water Association. (Asociación Americana de Obras Hidráulicas).
- AWS = American Welding Society. (Sociedad Americana de Soldadura).
- IEC = International Electrotechnical Commission. (Comisión Electrotécnica Internacional).
- IEEE = Institute of Electrical and Electronics Engineers. (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos).
- IPCEA = Insulated Power Cable Engineers Association. (Asociación de Ingenieros para Cables de Potencia Aislados).
- ISO = International Organization for Standardization. (Organización para la Estandarización).
- NEMA = National Electric Manufacturers Association. (Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos Eléctricos).

NESC = National Electric Safety Code. (Código Nacional de Seguridad Electrica).

SSPC = Steel Structure Painting Council. (Consejo para Pinturas de Estructuras de Acero) .

Las Normas Alemanas (DIN-VDI-VDE, etc.), las Japonesas (JIS-JES-JC, etc.), las Italianas (UNI), las Francesas (ANFOR, NF) etc. son completamente equivalentes a las normas anteriormente referidas. Se podrán aceptar otras normas reconocidas.

El fabricante deberá probar que sus requisitos de fabricación cumplen o son equivalentes a las normas anteriormente mencionadas.

## 9 . MATERIALES

### 9.1 Especificaciones

Los materiales que se recomienda utilizar deben garantizar una duración de operación rentable para cada una de las piezas de las turbinas.

Sin embargo se podrán utilizar otros materiales, siempre y cuando cumplan con los requisitos mínimos de fabricación. Particularmente, los materiales no deberán ser de una calidad inferior a la que se especifica a continuación:

MATERIAL	NORMA	NORMA
Hierro Fundido	ASTM - A 48	Clase 35
Acero Fundido al carbono	ASTM - A 27	Grado 65-35 ó 70-36
Acero Fundido de Aleación	ASTM - A 148	Grado 80-40
Acero Fundido resistente a la corrosión	ASTM - A 290	Grado CA-15
Acero forjado para engranajes	ASTM - A 291	Clase 1
Acero forjado para árboles, pernos, etc.	ASTM - A 293	Clase 2
Acero forjado de aleación para uso general	ASTM - A 668	Clase 3
Planchas y secciones de acero estructural	ASTM - A 36	
Planchas y secciones para esfuerzos bajos y medios	ASTM - A 283	Grado C
	ASTM - A 516	Grado 60, 65, 70
Planchas de acero para altos esfuerzos.	ASTM - A 225	Grado B
	ASTM - A 537	Clase 1
Planchas de acero para resistencia a la corrosión	ASTM - A 240	Tipo 304 o 410
Pernos, tuercas y arandelas (no sumergidos)	ASTM - A 307	Grado B
Pernos y tuercas de acero de alta resistencia	ASTM - A 325	Tipo 3
Acero forjado resistente a la corrosión para secciones pernos y tuercas electrodos de soldadura para:	ASTM - 276	Tipo 304, 410, 420
- Acero resistente a corrosión	AWS - 5.4 - 55T	
- Acero al carbono	AWS - 6020/6030	
- Soldaduras de cobre	AWS - AWS A 5, 53T	
- Bronce Aluminio	AWS: 5,6 - 53T	
	ASTM - B.225-53T	
- Acero Inoxidable	AWS - A 5,9	
	ASTM - A. 371	

## GALVANIZACION PARA:

- Tuberia de Acero	ASTM-A	210	
- Secciones y planchas	ASTM-A	123	
- Pernos y tuercas	ASTM-A	153	
- Bronce fundido	ASTM-A	113	Aleación 1B ó 2B
- Bronce para cojinetes, Forros, etc.	ASTM-B	584	Aleación 937
- Metal blanco para co- jinetes	ASTM-B	23	Aleación No. 3
- Bronce para ejes	ASTM-A	148	Aleación 955
- Bronce amarillo para pernos y tuercas	ASTM-B	21	Aleación 485

Los materiales que no hayan sido expresamente especificados se someterán a las normas ASTM o equivalentes más recientemente publicadas. En el caso de que se adopten otros tipos de materiales, éstos deberán cumplir con los requisitos de las normas ASTM o equivalentes.

### 9.2 Tensiones admisibles de trabajo

A menos que se indique otra cosa, las tensiones máximas admisibles de trabajo de cualquier pieza, para las condiciones más críticas de trabajo no excederán los siguientes valores :

- |   |   |
|---|---|
| a) Piezas sometidas a cargas<br>estáticas | El menor de estos valores: 50%<br>del límite de elasticidad o 30%<br>de la carga de rotura. |
| b) Piezas sometidas a cargas<br>variables | El menor de estos valores: 30%<br>del límite de elasticidad o 20%<br>de la carga de rotura. |

### 9.3 Calidad de elaboración

#### 9.3.1 Generalidades

Los materiales serán cuidadosamente terminados, de acuerdo con las técnicas más calificadas.

En particular, las mismas piezas de equipos similares serán completamente intercambiables.

#### 9.3.2 Perfiles y planchas de acero

Los perfiles y planchas de acero serán perfectamente planos y de superficies lisas. Si fuera necesario enderezarlos, se evitará usar martillos. Luego de realizar los cortes en las planchas y perfiles de acero, los bordes deberán quedar limpios, con ángulos vivos, rectos y sin irregularidades.

Las piezas pesadas podrán ser cortadas con soplete, cuidando de dañar al mínimo el material, luego se procederá a su limpieza y maquinado.

Las piezas menos pesadas podrán ser cortadas con sierra mecánica o con soplete, cuidando de dañar al mínimo el material, luego se procederá a su limpieza y maquinado.

Las operaciones de doblado se efectúan en prensas plegadoras o dobladoras de chapas.

Para curvar las planchas se recomienda realizarlas en frío, cuidando de no someterlas a golpes fuertes a fin de que no pierdan sus propiedades físicas. El curvado de las planchas se puede efectuar en máquinas de rodillos conformadores (cilindros). Para el enderezado (tiras, planchas, láminas) se hará con enderezadores de rodillos.

El rodillo elástico, debido a la elasticidad del metal y a la magnitud del doblado, puede compensarse con un exceso de doblado o impedirse en gran parte golpeando el metal en la curva con una presión de acuñado (es decir, comprimiéndolo o prensándolo como en la acuñación de monedas), suficiente para establecer esfuerzos de comprensión que contrarresten las tensiones o esfuerzos de tracción superficiales.

## 10. SOLDADURAS

### 10.1 Condiciones generales

Los procedimientos que se utilicen en los procesos de soldadura serán adecuados a las normas para asegurar la buena penetración del material en las juntas y que las mismas queden exentas de defectos internos o externos. Los bordes de las piezas para soldarse deberán ser preparados previamente, de modo que presenten superficies limpias y lisas.

Solamente se autorizará el empleo de procedimientos de soldadura aprobadas y mano de obra calificada .

### 10.2. Procedimientos de soldadura de fabricación

Los procedimientos de fabricación están regulados por el "American Welding Society", que ofrece reglas para el diseño, fabricación y calificación de soldadores. Aparte de esto, se ha preparado una serie de estándares para la fabricación que complementan a las dadas en el código ASA.

Los objetivos de estos estándares son:

1. Proteger al cliente y al fabricante mediante la creación de especificaciones y servicios adecuados.
2. Trabajar para la creación de métodos estandarizados de fabricación.
3. Delimitar las responsabilidades o fijar tolerancias de fabricación.

### 10.3. Procedimientos de soldadura

El procedimiento de soldadura es aquel que produce una unión con las mismas características y propiedades físicas y químicas en el metal. Con el fin de llegar a esto; las partes a unir deben ser calentadas previamente hasta su punto de fusión en las proximidades de la zona por la cual van a ser unidas.

### 10.4. Tratamiento térmico y recocido

El tratamiento térmico y el recocido son necesarios para devolver a los metales la estructura cristalina original y para disminuir las tensiones producidas por la diferencia de temperatura entre la zona de soldadura y las áreas adyacentes.

Todo esto se hace con el fin de conservar las propiedades del metal tales como: resistencia, resistencia a la corrosión, etc.

Los tratamientos térmicos realizados en soldadura son: precalentamiento intermedio o durante la operación y postcalentamiento o recocido.

El precalentamiento produce un enfriamiento más lento, con lo cual se consigue una soldadura más dúctil que puede contraerse a su posición fría sin que se produzca rotura. La temperatura normal de precalentamiento es de 90°C, pero en muchos casos es adecuado.

El calentamiento intermedio se puede considerar como una continuación del precalentamiento; esta temperatura, que se debe mantener durante la operación de soldadura, es de unos 90°C normalmente.

Para piezas pequeñas, el precalentamiento se puede hacer por medio de oxiacetilénico, pero para piezas grandes es necesario utilizar un sistema de calefacción eléctrico, bien por inducción, conducción o radiación. Cualquier caída brusca de temperatura durante la soldadura es perjudicial.

Muchos metales y especialmente cuando se trata de grandes espesores de pared, requieren un tratamiento térmico posterior a la operación de soldar, denominado recocido de atenuación de tensiones o simplemente recocido.

Este tratamiento produce una atenuación de las tensiones aparecidas en la zona de soldadura, como consecuencia del fuerte calentamiento y del brusco enfriamiento que siempre acompaña a cualquier operación de soldadura. La temperatura y el modo de recocido debe ser cuidadosamente seguido para cada tipo de aleación, ya que por ejemplo, una temperatura demasiado alta podría producir una considerable pérdida de resistencia a la fatiga dinámica. El recocido puede ser llevado, en los hornos de recocido, donde es posible controlar con mayor seguridad y exactitud la operación. La Tabla 16 muestra una serie de prácticas comunes, para un cierto número de aleaciones de uso frecuente.

De no existir las condiciones indicadas anteriormente, se tratará en lo posible de cumplir con estas especificaciones. El precalentamiento, calentamiento durante la operación de soldar y postcalentamiento se puede efectuar por medio de oxiacetilénico, ya que este tipo de equipo, es de uso común en los talleres metalmecánico.

#### 10.4.1. Postratamiento térmico

El postratamiento térmico, es una operación de calentamiento y enfriamiento que implica generalmente un enfriamiento lento, después de la soldadura.

De no disponer de estos métodos se puede efectuar el postratamiento térmico de la forma siguiente: a medida que se va avanzando con la soldadura, se procede al calentamiento de la pieza por medio oxiacetilénico, hasta adquirir la pieza un tono rojo oscuro y paulatinamente los pases de calentamiento sean más espaciados y por último dejar enfriar a la intemperie (por ejemplo en acero

MATERIAL	TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO °F		EQUIVALENCIA EN °C		TIEMPO hr/" DE ESPESOR	
Acero al carbono	1100	1250	310	360	1	
Acero C 1/2 % Mo	1200	1325	343	382	2	
Acero 1 % Cr 1/2 % Mo	1250	1350	310	388	2	
Acero 2 % Cr 1/2 % Mo	1300	1375	371	399	2	
Acero 2.25 % Cr 1 % Mo	1325	1400	382	404	2	
Acero 5 % Cr 1/2 % Mo (tipo 502)	1350	1400	388	404	2	
Acero 9 % Cr 1 % Mo	1375	1425	399	416	3	
Acero 12 % Cr (tipo 405)	1300	1350	371	388	2	
Acero 12 % Cr (tipo 410)	1350	1400	388	404	2	
Acero 15 % Cr (tipo 430)	1400	1450	404	418	4	
Aceros austeníticos al Mn	1900	2000	enfriados al aire	560	593	1
Aceros austeníticos Cr Ni	1900	2000	enfriados al aire	560	593	1
Aceros de baja aleación Cr Ni Mo	1100	1250		310	360	1
Aceros 2 % a 5 % Ni	1100	1250		310	360	1
Aceros 9 % Ni	1000	1100		282	310	2
Monel	1100	1250		310	360	1
Inconel	1100	1250		310	360	1
Niquel	1100	1250		310	360	1
Hierro fundido	1050	1250		299	360	1

TABLA Nº 16

TRATAMIENTO TERMICO DE LAS SOLDADURAS

**Olade**

ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA  
QUITO ECUADOR

DIRECCION TECNICA

DEPARTAMENTO DE HIDROENERGIA

APROBADO:  
ING. M. NOVILLO

DISEÑO MECANICO:  
RANIERI MESTRONI

DIBUJO:  
MARCO SILVA

FECHA:  
MAYO DE 1985

estructural).

#### 10.5. Símbolos de soldadura

La Sociedad Americana de Soldadura ha establecido estándares de símbolos para detalles de soldadura. En las Tablas 17 a 22 se muestran los símbolos más usuales.

#### 10.6. Fabricación

##### 10.6.1. Preparación del material

El material es cortado y sus bordes preparados a las dimensiones requeridas. Algunos materiales son ensamblados.

##### 10.6.2. Trazado y ensamblaje

El material es preparado y presentado antes de proceder a soldar. La pieza más grande se sitúa en posición y las otras se ubican en relación a ésta, las piezas son mantenidas en posición por medio de posicionadores y mediante soldaduras de punteo. Todo el material debe ser comprobado en cuanto a dimensiones y posición, antes de pasar a la soldadura final. La contracción de la soldadura debe ser tenida en cuenta, dando las tolerancias necesarias.

#### 10.7. Soldadura

Se emplea una de las técnicas anteriormente descritas.

##### 10.7.1. Postratamiento térmico

Se explicó anteriormente.

##### 10.7.2. Alineamiento

La soldadura y el tratamiento térmico ocasionan a menudo desalineamientos y distorsiones, los cuales pueden ser corregidos por:

- a. Aplicación de calor en zonas próximas a las soldaduras para deflexionar el material en la dirección y forma requerida. Esta operación requiere gran maestría y solamente puede ser aplicada a metales a los cuales no perjudique los ciclos de calentamiento y enfriamiento.
- b. Cepillado, torneado de los bordes para tener los finales completamente a escuadra con el eje.
- c. Aplicación de fuerzas de una forma gradual en aquellas partes que no estén excesivamente distorsionadas. Esto puede ser llevado a cabo cuando las fatigas no son excesivas o perjudiciales.

**SIMBOLOS BASICOS DE SOLDADURA Y SIGNIFICADO DE SU POSICION**

SIGNIFICADO DE LA SITUACION	SIMBOLOS PARA SOLDADURA AL ARCO Y CON GASES								
	RINCON	TAPON	AL ARCO POR PUNTOS	BORDES					
				RECTOS	V	INCLINADO	U	J	V-CURVA
LADO DE LA FLECHA									
LADO OPUESTO									
AMBOS LADOS		NO USADO	NO USADO						
NO EN EL LADO DE LA FLECHA, U OTRO SIGNIFICADO	NO USADO	NO USADO	NO USADO	NO USADO	NO USADO	NO USADO	NO USADO	NO USADO	NO USADO

TABLA Nº 17

SIMBOLOS STANDARD DE SOLDADURA

**Olade**

**ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA**  
QUITO ECUADOR

**DIRECCION TECNICA**

**DEPARTAMENTO DE HIDROENERGIA**

APROBADO:  
ING. M. NOVILLO

DISEÑO MECANICO:  
RANIERI MESTRONI

DIBUJO:  
MARCELO PAZMIÑO

FECHA:  
MAYO DE 1985

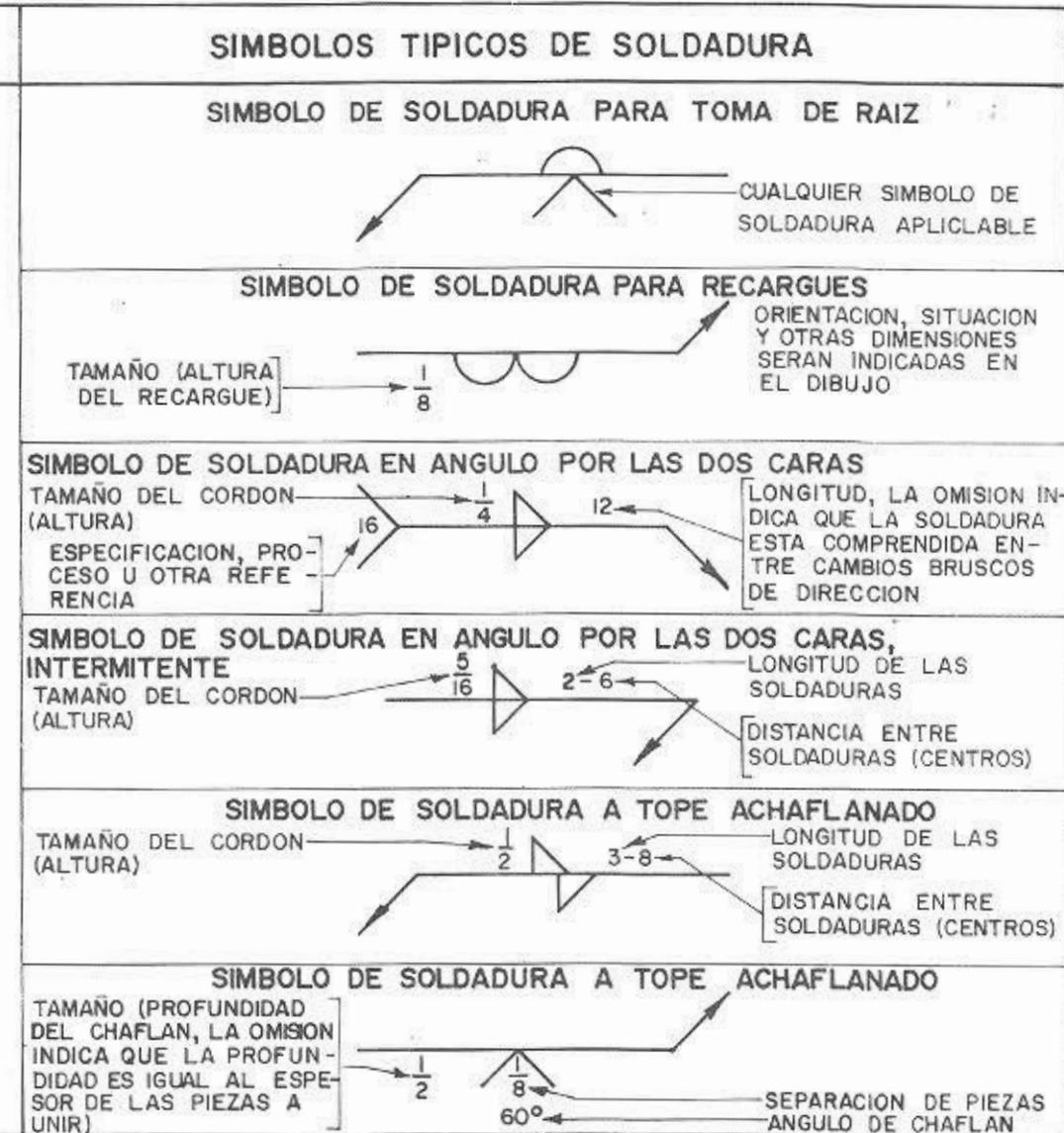
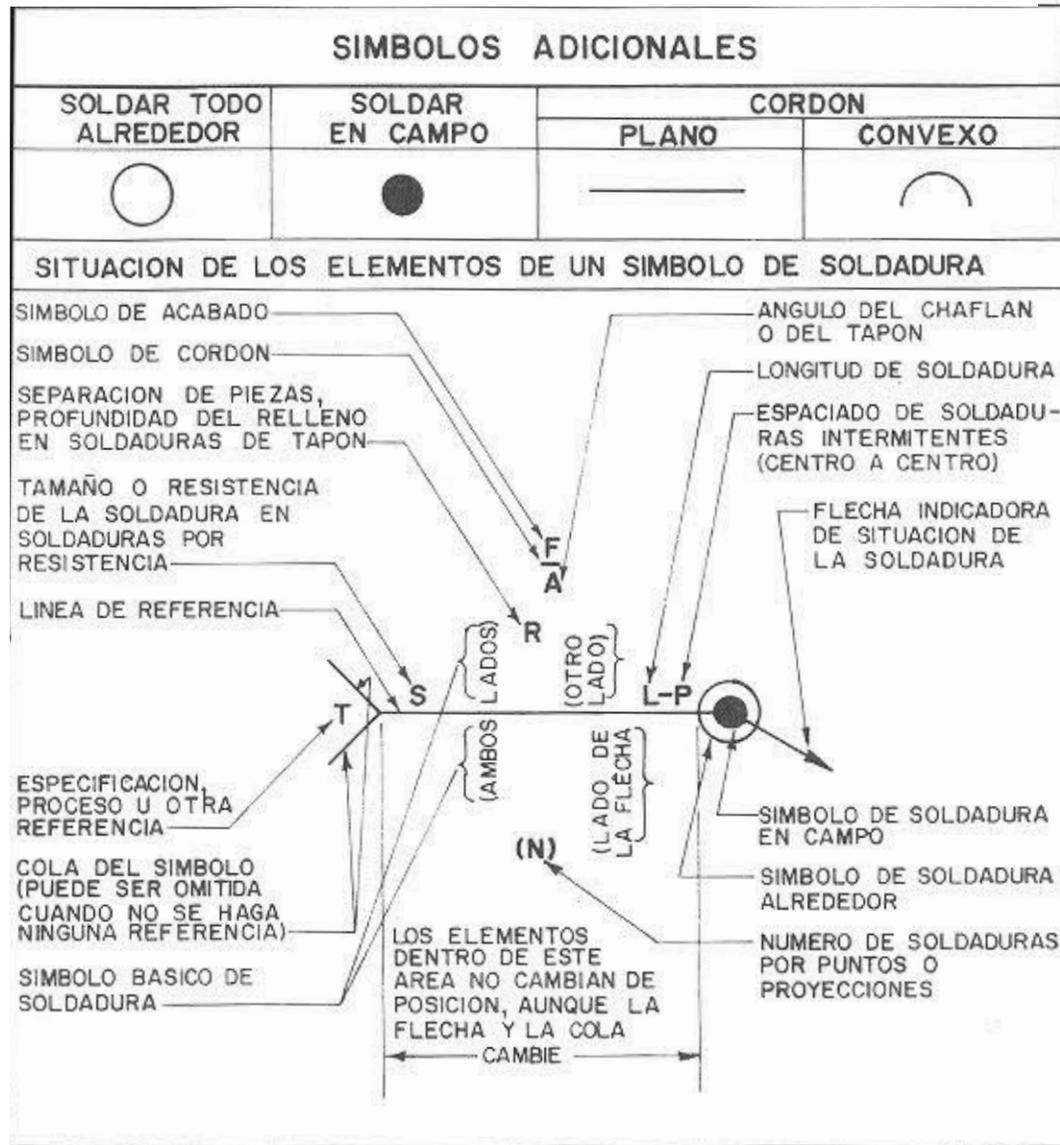


TABLA Nº 18

SIMBOLOS STANDARD DE SOLDADURA

**Olade**

**ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA**

QUITO ————— ECUADOR

DIRECCION TECNICA

DEPARTAMENTO DE HIDROENERGIA

APROBADO:

DISEÑO MECANICO:

DIBUJO:

FECHA:

ING. M. NOVILLO

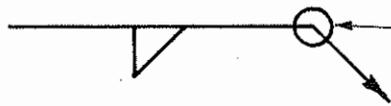
RANIERI MESTRONI

MARCELO PAZMIÑO

MAYO DE 1985

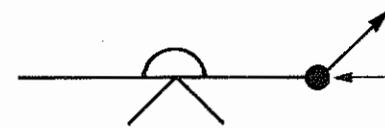
## SIMBOLOS ADICIONALES DE SOLDADURA

**SIMBOLO DE SOLDADURA ALREDEDOR**



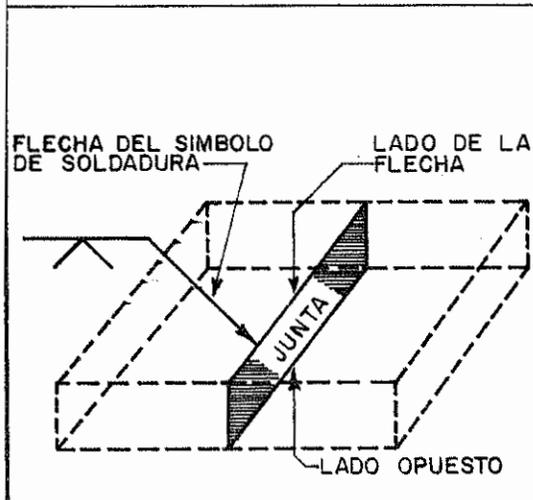
EL SIMBOLO DE SOLDADURA ALREDEDOR SIGNIFICA QUE LA SOLDADURA SE EXTIENDE TODO ALREDEDOR DE LA JUNTA

**SIMBOLO DE SOLDADURA EN CAMPO**

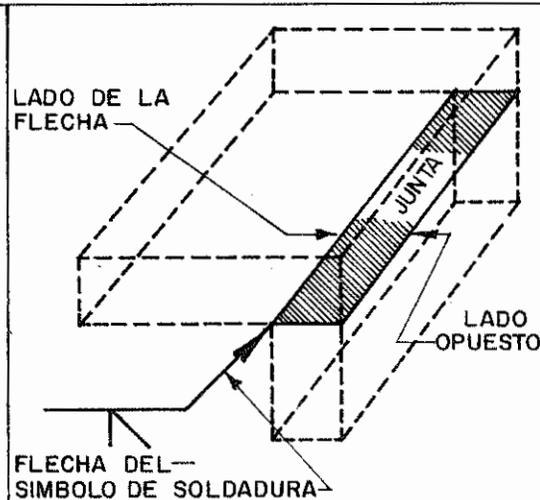


EL SIMBOLO DE SOLDADURA EN CAMPO INDICA QUE LA SOLDADURA SE HACE FUERA DEL TALLER

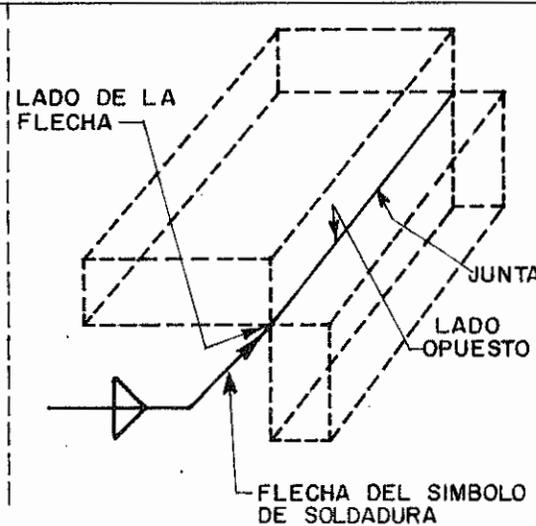
## TIPOS DE JUNTA BASICOS. IDENTIFICACION DEL LADO DE LA FLECHA Y LADO OPUESTO



**JUNTA A TOPE**



**JUNTA DE RINCON**



**JUNTA EN T**

**TABLA Nº 19**

**SIMBOLOS STANDARD DE SOLDADURA**

**Olade**

**ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA**

QUITO ————— ECUADOR

**DIRECCION TECNICA**

**DEPARTAMENTO DE HIDROENERGIA**

APROBADO:  
ING. M. NOVILLO

DISEÑO MECANICO:  
RANIERI MESTRONI

DIBUJO:  
MARCELO PAZMIÑO

FECHA:  
MAYO DE 1985

## SIMBOLOS STANDARD DE SOLDADURA

SIMBOLOS STANDARD DE SOLDADURA						SIMBOLOS DE SOLDADURA POR RESISTENCIA			
INCLINADA CURVA	TOMA DE RAIZ	PENETRACION TOTAL	ACABADO	REBORDE		PUNTO	PROYECCION	CORDON	CHISPORROTEO
				BORDE	ESQUINA				
			NO USADO			NO USADO		NO USADO	NO USADO
			NO USADO			NO USADO		NO USADO	NO USADO
	NO USADO	NO USADO	NO USADO	NO USADO	NO USADO	NO USADO	NO USADO	NO USADO	NO USADO
NO USADO	NO USADO	NO USADO		NO USADO	NO USADO		NO USADO		

TABLA N° 20

SIMBOLOS STANDARD DE SOLDADURA

Olade

ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA

QUITO \_\_\_\_\_ ECUADOR

DIRECCION TECNICA

DEPARTAMENTO DE HIDROENERGIA

APROBADO:

ING. M. NOVILLO

DISEÑO MECANICO:

RANIERI MESTRONI

DIBUJO:

MARCELO PAZMIÑO

FECHA:

MAYO DE 1985

## SIMBOLOS STANDARD DE SOLDADURA

**SIMBOLO DE SOLDADURA EN V INDICANDO LA PENETRACION DE RAIZ**

TAMAÑO [ ALTURA DE CHAFLAN MAS RAIZ ]

SEPARACION DE PIEZAS

$\frac{1}{4} + \frac{1}{2}$

90°

ANGULO DE CHAFLAN

**SIMBOLO DE SOLDADURA POR PROYECCION**

TAMAÑO (RESISTENCIA MINIMA ACEPTABLE A CORTADURA EN lb. O DIAMETRO DE LA SOLDADURA, EN SOLDADURAS CIRCULARES)

500

6

(4)

DISTANCIA ENTRE CENTROS DE SOLDADURA

NUMERO DE SOLDADURAS

**SIMBOLO DE SOLDADURA DOBLE CHAFLAN**

OMISION DEL TAMAÑO INDICA QUE LA PROFUNDIDAD DE LOS CHAFLANES ES IGUAL AL ESPESOR DE LAS PIEZAS A UNIR

SEPARACION DE PIEZAS

$\frac{1}{8}$

50°

ANGULO DE CHAFLAN

FLECHA EN LA PIEZA ACHAFLANADA

**SIMBOLO PARA SOLDADURA POR RESISTENCIA (COSTURA)**

TAMAÑO (RESISTENCIA MINIMA ACEPTABLE A CORTADURA EN lb)

30"

3

9

LONGITUD DE LA SOLDADURA, LA OMISION INDICA QUE LA SOLDADURA SE EXTIENDE ENTRE CAMBIOS BRUSCOS DE DIRECCION

DISTANCIA ENTRE CENTROS

**SIMBOLOS DE SOLDADURA PARA SOLDADURAS COMBINADAS**

$\frac{1}{4}$

$\frac{1}{8}$

60°

$\frac{5}{16}$

T-3

$\frac{3}{8}$

$\frac{1}{8}$

$\frac{1}{4}$

**SIMBOLO PARA SOLDADURA POR CHISPORROTEO**

REFERENCIA DEL PROCESO DESEADO

FW

**SIMBOLO DE SOLDADURA DE TAPON**

TAMAÑO (DIAMETRO DE AGUJERO EN LA RAIZ)

ANGULO DEL AGUJERO

$\frac{1}{2}$

$\frac{1}{2}$

45°

6

DISTANCIA ENTRE CENTROS DE SOLDADURAS

PROFUNDIDAD DEL RELLENO (OMISION SIGNIFICA RELLENO COMPLETO)

**SIMBOLO DE SOLDADURA PARA BRASAJE, FORJA, INDUCCION**

REFERENCIA DEL PROCESO DESEADO

TB

**SIMBOLO DE SOLDADURA DE TAPON RASGADO**

PROFUNDIDAD DEL RELLENO (OMISION SIGNIFICA RELLENO COMPLETO)

$\frac{5}{8}$

ORIENTACION, SITUACION Y DEMAS DIMENSIONES DEBEN SER DADAS EN EL DIBUJO

**SIMBOLO DE SOLDADURA PARA PENETRACION TOTAL**

SIMBOLO DE PENETRACION TOTAL SIN DIMENSIONES

CUALQUIER SIMBOLO APLICABLE

**SIMBOLO DE SOLDADURA DE PUNTOS POR RESISTENCIA**

TAMAÑO (RESISTENCIA MINIMA ACEPTABLE A CORTADURA EN lb)

25"

(5)

4

NUMERO DE SOLDADURAS

DISTANCIA ENTRE CENTRO DE SOLDADURAS

**SIMBOLO DE SOLDADURA DE BORDE**

RADIO

$\frac{1}{16} + \frac{3}{32}$

TAMAÑO DE LA SOLDADURA

$\frac{1}{16}$

ALTURA POR ENCIMA DE LA LINEA DE TANGENCIA

TABLA Nº 21

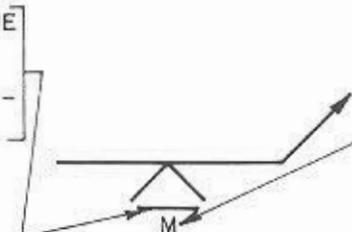
SIMBOLOS STANDARD DE SOLDADURA

<b>Olade</b>		<b>ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA</b>	
QUITO		EQUADOR	
DIRECCION TECNICA		DEPARTAMENTO DE HIDROENERGIA	
APROBADO: ING. M. NOVILLO	DISEÑO MECANICO: RANIERI MESTRONI	DIBUJO: MARCELO PAZMIÑO	FECHA: MAYO DE 1985

## SIMBOLOS STANDARD DE SOLDADURA

### SIMBOLO DE CORDON REBAJADO

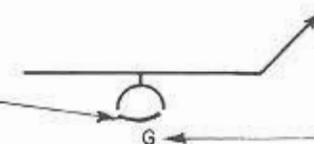
CORDON CONVEXO INDICA QUE LA CARA DEL CORDON DEBE DE HACERSE PLANA CUANDO SE UTILICE SIN OTRO SIMBOLO DE ACABADO



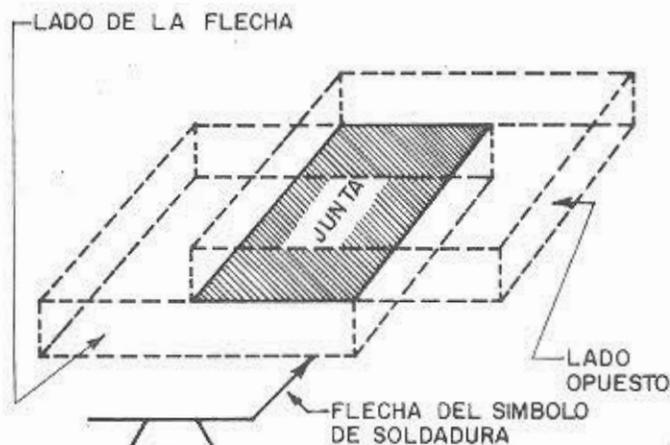
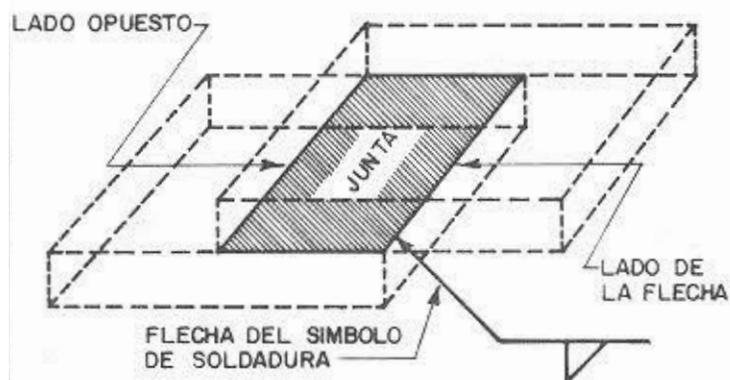
SIMBOLO DE ACABADO INDICA EL METODO A USAR PARA OBTENER EL CORDON REBAJADO

### SIMBOLO DE CORDON CONVEXO

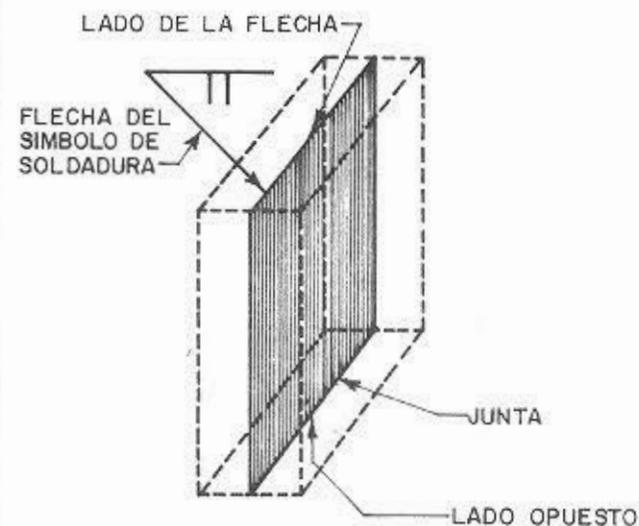
CORDON CONVEXO INDICA QUE LA CARA DEL CORDON DEBE SER ACABADO DE FORMA CONVEXA



SIMBOLO DE ACABADO INDICA EL METODO PARA OBTENER EL CORDON CONVEXO



JUNTA A SOLAPE



JUNTA DE BORDE

TABLA Nº 22

SIMBOLOS STANDARD DE SOLDADURA

**Olade**

**ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA**

QUITO \_\_\_\_\_ ECUADOR

DIRECCION TECNICA

DEPARTAMENTO DE HIDROENERGIA

APROBADO:  
ING. M. NOVILLO

DISEÑO MECANICO:  
RANIERI MESTRONI

DIBUJO:  
MARCELO PAZMIÑO

FECHA:  
MAYO DE 1985

### 10.7.3. Verificación final de dimensiones

Esta operación se realiza antes de sacar la pieza de los posicionadores o de la zona donde ha sido soldada.

### 10.7.4. Limpieza y marcado

- a) Los goteos del material son burilados. Estos goteos se pueden evitar, teniendo la precaución de soldar en forma plana.
- b) La parte soldada se debe limpiar de escoria con algún dispositivo apropiado.
- c) Cada sección se debe marcar con el correspondiente número para el subensamblaje.

### 10.7.5. Inspección y ensayo

- a) Cada sección es inspeccionada para comprobar que está de acuerdo con las especificaciones y planos de fabricación.

## 10.8. Posiciones para soldar

### 1. Soldadura plana u horizontal

Las piezas se colocan horizontales y se efectúa la soldadura con la llama o electrodo dirigida hacia abajo contra la obra o piezas que se trabajan. Esta es la posición más fácil para realizar el trabajo.

### 2. Soldadura horizontal en plano vertical

Las piezas están verticales, pero la soldadura se efectúa en dirección horizontal. Presenta alguna dificultad y solo deben emplearse cuando no haya otra solución, como en los montajes.

### 3. Soldadura vertical ascendente y descendente

Las piezas están verticales y la soldadura se realiza en dirección vertical, ya sea en sentido de abajo a arriba o viceversa. No ofrece mucha dificultad y muchas veces se emplea en trabajos de producción.

### 4. Soldadura de cabeza

Las piezas están horizontales, pero altas y la soldadura se verifica con la llama dirigida hacia arriba contra la obra. La misma observación que en 2.

#### 10.9. Propiedades mecánicas de los electrodos de acero dulce

La soldadura de arco de metal se realiza con fuentes de energía, apropiadas para soldar, de c.c o de c.a, utilizando electrodos cubiertos; solo se usa c.c con electrodos descubiertos o ligeramente recubiertos. Este procedimiento se emplea mucho con aceros dulces o aleados, aceros inoxidable y en menor proporción, con metales no ferrosos. El aire influye adversamente en la soldadura, por lo que se recomienda usar protección, la cual consiste en soldar en áreas cerradas pero ventiladas, donde no fluyan corrientes de aire, las cuales afectan a las soldaduras .

Los electrodos cubiertos llamados a veces "Electrodos de Arco Protegido", abarcan alrededor del 90% de los electrodos usados en los cinco grupos básicos de composición.

Las especificaciones de electrodos de acero dulce para soldadura al arco (ASTM - A233 - 55T, AWS - A.51 - 55T) dan 12 clasificaciones basadas en las propiedades mecánicas así como en los tipos de cubierta. De esta forma el símbolo E 6010 indica que se trata de un electrodo metálico para arco E. Las dos primeras cifras indican la resistencia a aliviado de los esfuerzos internos o tensiones, (en miles de libras por pulgada cuadrada) y las dos siguientes cifras señalan la viabilidad (o cuando deben usarse). En la Tabla No. 24 se indican las propiedades mecánicas de los electrodos de acero dulce.

#### 10.10 Intensidades de corriente recomendables

Ver Tabla No. 25.

Para los electrodos de las clasificaciones E 6010 y E 6013 de los tamaños 3/16" y menores, empleéense intensidades que están en la parte inferior del intervalo dado para soldar verticalmente o sobre cabeza. Para los electrodos de las clasificaciones E 6015 y E 6016 de los tamaños 5/32" y menores úsese intensidades de la parte inferior del intervalo para soldar verticalmente y sobre cabeza. Para electrodos de las clasificaciones E 6020, utilícense las intensidades más bajas en las soldaduras con filete corriente y las más altas en las soldaduras profundas con filete.

#### 10.11 Datos típicos de producción para la soldadura al Arco de Tungsteno

Ver Tabla No. 26.

#### 10.12 Datos típicos de producción para la soldadura al Arco de Tungsteno protegido con gasificación plana

Ver Tabla No. 27

PROPORCIONES DE LAS RANURAS PARA SOLDADURA CON ARCO METALICO

DIMENSIONES EN MILIMETROS

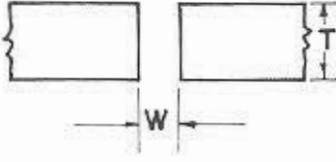
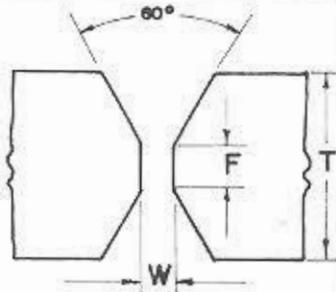
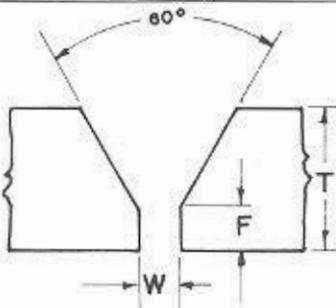
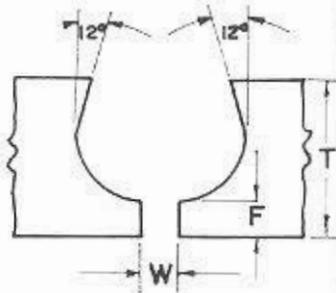
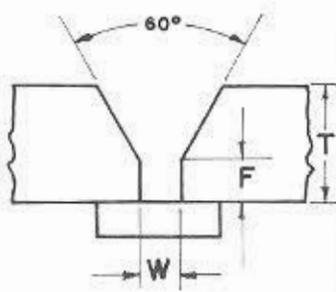
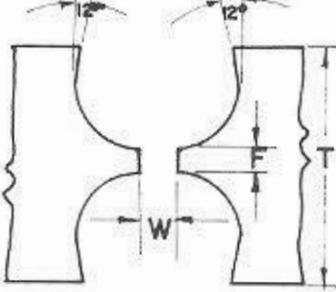
Nº	T	W	F	FIGURA	Nº	T	W	F	FIGURA
RANURA 1	3.2 a 4.8	0 a 1.6			RANURA 4	13 y más	0 a 4.8	0 a 1.6	
RANURA 2	6 y más	0 a 4.8	0 a 1.6		RANURA 5	9.5 y más	0 a 1.6	3.2 a 0.8	
RANURA 3	6 y más	4.8 a 6.3	0 a 1.6		RANURA 6	19 y más	0 a 1.6	3.2 a 0.8	

TABLA Nº 23

REFERENCIA:

T = ESPESOR DE LA PLANCHA A SOLDAR  
 W = SEPARACION EN MM DE LA JUNTA  
 F = ESPESOR DE LA RAIZ

**Olade**

ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA  
 QUITO \_\_\_\_\_ ECUADOR

DIRECCION TECNICA

DEPARTAMENTO DE HIDROENERGIA

APROBADO:  
 ING. M. NOVILLO

DISEÑO MECANICO:  
 RANIERI MESTRONI

DIBUJO:  
 MARCO SILVA

FECHA:  
 MAYO DE 1985

**PROPIEDADES MECANICAS DE LOS ELECTRODOS DE ACERO DULCE**

PROPIEDAD MECANICA	E 6010		E 6012		E 6015		E 6020		E 6024		E 6027	
	E 6011		E 6013		E 6016		E 6030					
Resistencia a tracción Tm/cm <sup>2</sup>	4.2	5.1	4.8	5.5	4.8	5.3	4.3	4.8	5.4	6.1	4.3	4.8
Resistencia a la fluencia Tm/cm <sup>2</sup>	3.6	4.3	3.8	4.5	3.8	4.3	3.6	4.1	4.5	5.2	3.6	4.1
Alargamiento en 5cm (2"). Porcentaje	27	34	17	22	22	35	25	30	17	22	25	30
Reducción de area. Porcentaje	35		25		55	75	40		30	45	40	
Resistencia al choque en Kgm 210 °C	4.2	5.6	2.8	4.2	4.9	6.3	2.8	4.2	2.8	4.9	3.5	4.9
muesca de Charpy - 40 °C	2.8	4.2	2.1	2.8	4.2	5.6	2.1	2.8	2.1	2.8	2.8	4.2
Limite de endurencia Tm/cm <sup>2</sup>	2.0	2.2	NO DISPONI- BLE		NO DISPONI- BLE		2.1	2.4	NO DISPONI- BLE			
Numero de dureza Brinnell	140	160	150	170	140	160	150	170	150	170	150	170

TABLA N° 24

**Olade**

**ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA**  
QUITO \_\_\_\_\_ ECUADOR

DIRECCION TECNICA

DEPARTAMENTO DE HIDROENERGIA

APROBADO:  
ING. M. NOVILLO

DISEÑO MECANICO:  
RANIERI MESTRONI

DIBUJO:  
MARCO SILVA P.

FECHA:  
MAYO DE 1985

INTENSIDADES DE CORRIENTE QUE SE RECOMIENDAN CON ELECTRODOS DE ACERO DULCE EN AMPERIOS

TAMANO O DIAMETRO DEL ELECTRODO		E 6010		E 6012		E 6013		E 6015		E 6020		E 6024		E 6027	
Pulg	mm	E 6011						E 6016		E 6030					
1/16	1.59	20	40	20	40	20	40								
5/64	1.98	25	60	20	60	25	50								
3/32	2.38	30	80	30	80	30	80	70	110			80	130		
1/8	3.17	80	120	80	130	70	120	100	150	100	140	120	200	130	210
5/32	3.96	120	160	120	180	120	170	135	200	120	180	180	240	200	275
3/16	4.75	140	220	140	250	140	240	160	240	175	250	240	300	250	325
7/32	5.56	170	250	170	300	170	300	260	320	200	325	275	350	280	370
1/4	6.35	200	300	200	400	200	350	300	375	250	400	300	400	350	450
5/16	7.92	250	450	250	500	250	450	350	450	350	450				

TABLA N° 25

**Olade**

ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA  
QUITO ECUADOR

DIRECCION TECNICA

DEPARTAMENTO DE HIDROENERGIA

APROBADO:

DISEÑO MECANICO:

DIBUJO:

FECHA:

ING. M. NOVILLO

RANIERI MESTRONI

MARCO SILVA P.

MAYO DE 1985

METAL	ESPESOR	DISEÑO DE LA JUNTA			NUMERO DE PASADAS	DIAM. O TAMAÑO DEL ALAMBRE RELLE-NADOR, m.m.	VELOCIDAD DEL ALAMBRE RELLE-NADOR, cm. por min.	ENERGIA PARA LA SOLDADURA *			VELOCIDAD EN LA SOLDADURA, cm. por min.	GAS PROTECTOR		ELECTRODO DE TUNGSTENO		TIPO DE SOLDADURA §
		TIPO	ESPACIAMIENTO, m.m.	RESPALDADOR				VOLTIOS O LONGITUD DEL ARCO ‡	INTENSIDAD DE LA CORRIENTE, amp.	ALTA FRECUENCIA		TIPO	FLUJO, m <sup>3</sup> por hr.	TIPO+	DIAM., m.m.	
ALUMINIO, TIPO 3S	0.76 mm.	DE RANURAS RECTANGULARES	0	SI	1	NO TIENE	-----	1.02	80	NO	406	He	0.85	Th	1.02	MEC
ALUMINIO, TIPO 3003	2.44 mm.	DE RANURAS RECTANGULARES	0	SI	1	NO TIENE	-----	15	135	NO	96	He	0.85	Th	2.38	AUTO
ACERO INOXIDABLE, TIPO 304	CALIBRE 12	DE RANURAS RECTANGULARES	2.38	COBRE	1	1.14	2 083	12	200	NO	33	He	1.13	Th	2.38	AUTO
ACERO INOXIDABLE, TIPO 304	CALIBRES 12 A 20	EN ANGULO	0	ANGULO DE ACERO	1	NO TIENE	-----	12	155	NO	63	He	1.13	Th	2.38	AUTO
ACERO INOXIDABLE, TIPO 321	0.74 mm.	DE RANURAS RECTANGULARES	0	COBRE	1	NO TIENE	-----	0.79	70	SOLO AL ARRANCAR	183	He	0.57	Th	2.38	MEC
ACERO INOXIDABLE, TIPO 347	0.51 mm.	DE RANURAS RECTANGULARES	0	COBRE	1	NO TIENE	-----	0.79	55	SOLO AL ARRANCAR	305	He	0.57	Th	2.38	MEC
ACERO INOXIDABLE, TIPO 410	0.25 mm.	DE RANURAS RECTANGULARES	0	SI	1	NO TIENE	-----	0.79	40	SOLO AL ARRANCAR	330	A	0.34	Th	1.02	MEC
ACERO REPOSADO O MUERTO	1.90 mm.	DE RANURAS RECTANGULARES	0	SI	1	NO TIENE	-----	14	155	NO	76	He	0.85	Th	2.38	AUTO
ACERO OXIDADO O EFERVESCENTE	1.57 mm.	DE RANURAS RECTANGULARES	0	SI	1	1.14	1 270	14	160	NO	86	He	0.85	Th	2.38	AUTO
MONEL	2.13 mm.	DE RANURAS RECTANGULARES	0.96	COBRE	1	1.14	1 956	11	270	NO	76	He	1.13	Th	2.38	AUTO
TITANIO, TIPO A-70	1.60	DE RANURAS RECTANGULARES	0	GAS TI	1	NO TIENE	-----	14	115	SOLO AL ARRANCAR	91	He	0.57 TI	Th	2.38	MEC

\* LA ENERGIA PARA LA SOLDADURA ES DE CORRIENTE CONTINUA, EN POLARIDAD DIRECTA.

§ MEC = SOLDADURA MECANIZADA; REGULACION MECANICA DE LA LONGITUD DE ARCO.

+ Th = ELECTRODO DE TUNGSTENO CON TORIO.

AUTO = SOLDADURA AUTOMATICA, REGULACION AUTOMATICA DEL VOLTAJE DE ARCO.

‡ LOS NUMEROS CON DECIMALES SON LONGITUDES DE ARCO EN mm.

TI RESPALDADOR DE He A 0.425 m<sup>3</sup> POR hr., PROTECCION DE He ARRASTRADO, 0.71 m<sup>3</sup> POR hr.

**TABLA No 26**  
**DATOS TIPICOS DE PRODUCCION PARA LA SOLDADURA**  
**AL ARCO DE TUNGSTENO PROTEGIDO CON GAS;**  
**POSICION PLANA**

**Olade**

**ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA**  
 QUITO \_\_\_\_\_ ECUADOR

**DIRECCION TECNICA**

**DEPARTAMENTO DE HIDROENERGIA**

APROBADO:  
 ING. M. NOVILLO

DISEÑO MECANICO:  
 RANIERI MESTRONI

DIBUJO:  
 MARCELO PAZMIÑO

FECHA:  
 MAYO DE 1985

METAL	ESPE-SOR, m.m.	DISEÑO DE LA JUNTA					NUMERO DE PASA- DAS	DIAM. DEL ME- TAL RE- LLENA- DOR, m.m.	ENERGIA PARA LA SOLDADURA			VELOCIDAD DE LA SOL- DADURA, POR PASA- DA, cm. por min.	GAS PROTECTOR	
		TIPO	ANGULO DEL BISEL, grados	CARA DE LA RAIZ, m.m.	ESPACIA- MIENTO, m.m.	RESPALDADOR			TIPO	ARCO, voltios	INTENSIDAD DE LA CO- RRIENTE, amp.		TIPO	FLUJO, m <sup>3</sup> por hr.
ALUMINIO	3.17	DE RANURAS RECTANGULARES	----	----	0 - 3.17	-----	1	1.19	C. C. P. INV.	30	110	61	A	0.85
ALUMINIO	6.35	EN V SIMPLE	60	1.59	0 - 1.59	ACERO RANURADO	1	1.59	C. C. P. INV.	27	200	61	A	1.13
ALUMINIO	12.7	EN V SIMPLE	60	1.59	0 - 3.17	ACERO RANURADO	2	2.38	C. C. P. INV.	28	320	41	A	1.41
ACERO INOXIDABLE	12.7	EN V DOBLE	90	3.17	0	-----	2	1.59	C. C. P. INV.	25	300	30	A	1.41
ACERO INOXIDABLE	12.7	EN V SIMPLE	70	0	6.35	ACERO INOXIDABLE	6	1.59	C. C. P. INV.	26	300	28	A	1.41
COBRE DESOXIDADO	6.35	EN V SIMPLE	60	0	0	ACERO	1	2.38	C. C. P. INV.	28	450	43	A	1.27
BRONCE DE ALUMINIO 8 Al, 2 Fe	12.7	EN V SIMPLE	60	0	0	ACERO	3	1.59	C. C. P. INV.	29	300	10.4*	A	0.99
BRONCE DE SILICIO	9.52	EN V SIMPLE	60	0	0	-----	3	1.59	C. C. P. INV.	26	265	11.7*	A	0.99
MAGNESIO	6.35	A TOPE CON BORDES ESCUADRADOS	0	6.35	0	COBRE RANURADO	1	1.59	C. C. P. INV.	26	195	49	He	1.70
ACERO AL CARBONO	6.35	A TOPE CON BORDES ESCUADRADOS	0	6.35	1.59	COBRE RANURADO	1	1.59	C. C. P. INV.	26	340	22.9	A+1% O <sub>2</sub>	1.13
ACERO AL CARBONO	12.7	EN V DOBLE	60	1.59	1.59	-----	2	1.59	C. C. P. INV.	26	340	12.7	A+1% O <sub>2</sub>	1.13
MONEL	7.92	EN V SIMPLE	60	4.75	0	ACERO	2	1.59	C. C. P. INV.	28	325	69	A	1.70

\* VELOCIDAD DE LA PROGRESION DE LA JUNTA CON EL NUMERO DE PASADAS INDICADO.

<b>TABLA Nº 27</b> <b>DATOS TÍPICOS DE PRODUCCION PARA LA SOLDADURA</b> <b>AL ARCO DE METAL PROTEGIDO CON GAS;</b> <b>POSICION PLANA</b>	<b>Olade</b> ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA QUITO _____ ECUADOR			
	DIRECCION TECNICA		DEPARTAMENTO DE HIDROENERGIA	
	APROBADO:	DISEÑO MECANICO:	DIBUJO:	FECHA:
	ING. M. NOVILLO	RANIERI MESTROMI	MARCELO PAZMIÑO	MAYO DE 1985

ESPESOR	TIPO DE LA JUNTA	ABERTURA EN LA RAIZ, m m.	CARA DE LA RAIZ, mm.	ANGULO DE LA RANURA, amp.	INTENSIDAD DE LA CORRIENTE, amp.	VOLTIOS DEL ARCO	VELOCIDAD, cm por min.	ELECTRODO	
								DIAMETRO m m.	Kg por m. DE SOLDADURA
CALIBRE 16	DE RANURAS RECTANGULARES	0-0.79	-----	-----	250	22	254	2.38	0.022
					350	24	381	3.17	0.030
CALIBRE 14	DE RANURAS RECTANGULARES	0-0.79	-----	-----	325	24	254	2.38	0.030
					400	26	305	3.17	0.037
CALIBRE 12	DE RANURAS RECTANGULARES	0-0.79	-----	-----	350	24	190	3.17	0.040
					500	30	305		
CALIBRE 10	DE RANURAS RECTANGULARES	0-1.59	-----	-----	575	24	152	3.17	0.07
					600	31	254		
4.75 mm.	DE RANURAS RECTANGULARES	0-1.59	-----	-----	575	25	102	3.96	0.10
					700	31	165		
6.35 mm.	DE RANURAS RECTANGULARES	0-2.38	-----	-----	750	25	76	4.75	0.15
					850	35	102	5.56	
7.92 mm.	DE RANURAS RECTANGULARES	0-2.38	-----	-----	800	26	66	4.75	0.37
					900	36	76	5.56	
6.35 mm.	EN SIMPLE V	0	0-3.17	50-60	825	25	71	3.96	0.15
					825	32	127	4.75	0.34
9.52 mm.	EN SIMPLE V	0	0-3.17	40-60	900	28	61	6.35	0.24
					1100	36	119		
12.7 mm.	EN SIMPLE V	0	4.75	60	1075	30	48	6.35	0.57
					1175	37	58		0.67
19.0 mm.	EN SIMPLE V	0	4.75	45	1200	32	30	6.35	0.89
					1300	39	36		1.12
25.4 mm.	EN SIMPLE V	0	3.17	35	1800	35	25	7.92	1.34
					1800	41	30		1.64
31.7 mm.	EN SIMPLE V	0	3.17	30	1800	37	20	7.92	1.86
					1700	41	23		2.38
38.1 mm.	EN SIMPLE V	0	3.17	30	1900	38	18	7.92	2.76
					2000	43	20		2.96

**TABLA N° 28**  
**SOLDADURA AL ARCO SUMERGIDO; DATOS DE PRODUCCION**

**Olade**

**ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA**

QUITO \_\_\_\_\_ ECUADOR

**DIRECCION TECNICA**

**DEPARTAMENTO DE HIDROENERGIA**

APROBADO:

DISEÑO MECANICO:

DIBUJO:

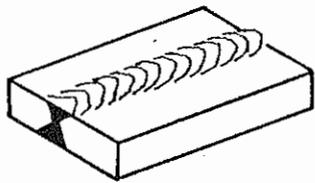
FECHA:

ING. M. NOVILLO

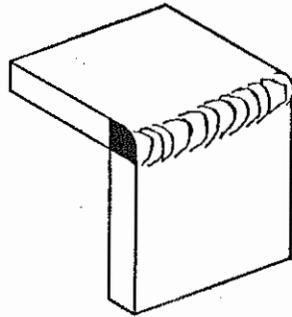
RANIERI MESTRONI

MARCELO PAZMIÑO

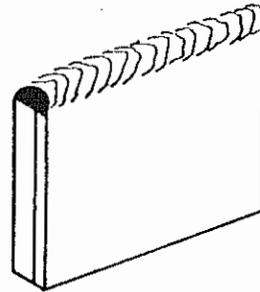
MAYO DE 1985



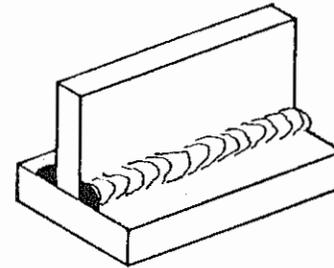
Junta a tope



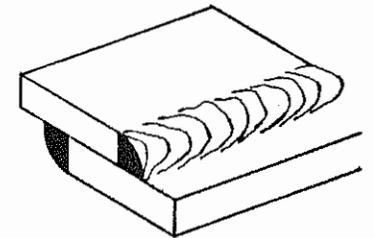
Junta en ángulo



Junta de borde



Junta en T



Junta a solape

## TIPOS DE SOLDADURAS Y JUNTAS

Fig. 17

### 10.13 Juntas de soldadura

En esta definición están comprendidos los grupos generales de procedimientos conocidos por:

1. Soldadura de arco
2. Soldadura al arco protegido
3. Soldadura al arco sumergido
4. Soldadura con arco de carbón
5. Soldadura al arco hidrógeno atómico
6. Soldadura al arco de tungsteno protegido con gas
7. Soldadura al arco por puntos
8. Soldadura por fluencia
9. Soldadura de fusión al gas
10. Soldadura oxiacetilénica mecanizada

### 10.14 Soldadura al Arco sumergido (Datos de producción)

Ver Tabla No. 28.

### 10.15 Corte por oxiacetileno (manual y a máquina)

Espesor cm	Velocidad manual cm/min	Velocidad a máquina cm/min	Consumo de O <sub>2</sub> m <sup>3</sup> /h
0,65	40-46	51,66	1,4-2,5
1,3	30-37	43,56	2,5-3,5
2,5	20-30	35,46	3,7-5,6
5,0	13-18	25,33	5,6-8,5
10,0	10-13	18,23	8,5-11,3
15,0	7,5-10	13,18	11,3-14,1
20,0	6,5-9	10,15	14,1-18,4
25,0	5-7,5	7,5-10	18,4-28,3

(Tabla 23-Junta 3) no contiene en la soldadura a gas. La junta respaldadora es una pequeña plancha que se coloca debajo de las dos piezas a soldar y a todo lo largo de las mismas, esto con el fin de mantener su nivelación y al mismo tiempo permite que la soldadura no exceda el límite del material. La junta respaldadora se coloca con cuatro puntos livianos de soldadura, luego de efectuada la operación de soldar, la plancha respaldadora es eliminada, por medio de un cincel.

El ensayo incluye:

1. Inspección radiográfica de las soldaduras
2. Examen de probetas de soldadura
3. Inspección por partículas magnéticas y líquidos fluorescentes penetrantes (ambos métodos detectan discontinuidades en las soldaduras).

## 10.16 Juntas de soldaduras

En esta definición están comprendidos los grupos generales, de procedimientos conocidos por soldadura de arco, soldadura a gas, soldadura por resistencia, soldadura por fluencia.

En la Figura 17 se muestran los tipos básicos de soldadura y se ilustran además las juntas a las cuales se aplican estas soldaduras.

En general estas juntas y soldaduras son adecuadas para su utilización en los procedimientos de soldadura al arco y a gas, aparte de que la tira respaldadora (Tabla 23-Junta 3) no conviene en la soldadura a gas .

Cuando han de soldarse secciones gruesas, conviene depositar el metal para la soldadura en una serie de capas. Luego de depositada la primera capa y antes de aplicar la segunda, deberán quitarse la costra y la escoria.

Las soldaduras depositadas en dos o más capas y las subsiguientes recuecen las precedentes y resultará una junta con estructura mejorada.

Para fines de identificación de las diversas soldaduras al arco y a gas, la A.W.S ha dado símbolos estándares. Dichos símbolos se han aceptado como ASA Z.32.2.1. Para reparaciones y proporciones de las ranuras ver Tabla No. 23.

## 10.17. Esfuerzos admisibles para juntas soldadas

Generalmente en las juntas soldadas existen esfuerzos permanentes como resultado del gran salto de temperatura entre el metal base frío y el metal fundido de la soldadura y como consecuencia del más rápido enfriamiento del material, que va acompañado de diferentes grados de dilatación y contracción en las diversas partes de la soldadura.

Los valores de los esfuerzos de trabajo para el proyecto de juntas soldadas en miembros de acero, varían considerablemente con el tipo de fabricación, condiciones de servicio, etc, así como la clase de acero empleado y con el control de proceso seguido al soldar.

Los códigos estandarizados para soldaduras al arco y de gas permiten para soldaduras de tope, los mismos esfuerzos de trabajo a la tracción, a la compresión y a la cortadura que los admitidos para el acero como metal base. Para las soldaduras de filete, el esfuerzo cortante unitario admisible, sobre la sección que pasa por la garganta del filete de 13.600 lb/pulg<sup>2</sup> o en unidades métricas de 958 kg/cm<sup>2</sup>.

Generalmente se considera que el grueso efectivo de la garganta de una soldadura a tope es el espesor de la más delgada de las dos partes unidas.

TABLA DE VALORES	Kg/cm <sup>2</sup>	lb/pulg. <sup>2</sup>
a. Cortadura sobre la sección que pasa por la garganta de la soldadura filete	956	13 000
b. Cortadura sobre la sección que pasa por la garganta de la soldadura a tope	914	13 000
c. Tracción sobre la sección que pasa por la garganta de la soldadura a tope	1 406	20 000
d. Compresión sobre la sección que pasa por la garganta de la soldadura a tope	1 406	20 000

Se supone que el esfuerzo cortante sobre la sección de la garganta (sección mínima) de una soldadura lateral de filete se distribuye uniformemente a lo largo de la longitud de la soldadura y su valor admisible para el acero estructural es 956 Kg/cm<sup>2</sup> (13 000 lbs./pulg.<sup>2</sup>). Así para una soldadura lateral de filete cuyos catetos fueran de 9mm. de largo, la sección de la garganta por centímetro de longitud de la junta es 0,707 x 0,9 = 0,636 cm<sup>2</sup> (si los catetos son de 3/8" la sección 0,707 x 0,9 = 0,636 cm<sup>2</sup> (si los catetos son de 3/8" la sección x pulg. de longitud es 0,707 x 3/8" = 0,265 pulg.<sup>2</sup>) y la carga cortante admisible por centímetro de junta es: 956 x 0,636 = 608 Kg. (por pulgada de junta, 13 600 x 0,265 = 3 600 lbs.).

De una manera semejante, las fuerzas cortantes admisibles sobre las áreas de las gargantas por centímetro (o por pulgada) de junta para varios tamaños de soldaduras laterales de filete, se han encontrado que son las que figuran en la Tabla 29. (Los valores para otras medidas pueden hallarse por interpolación.

TABLA 29

Cateto del filete en centímetros o pulgadas		Esfuerzo cortante admisible por centímetro lineal (o por pulgada) de junta de filete, en Kgs. (o libras)	
cm	pulgadas	Kg.	lbs.
1,9	3/4	1.290	(7.200)
1,6	5/8	1.070	(6.000)
1,25	1/2	860	(4.800)
0,95	1/8	640	(3.600)
0,65	1/9	430	(2.400)

Además, un filete de soldadura colocado en sentido transversal a la dirección de las cargas (ver Tabla 22 - Junta a SOLAPE) se supone generalmente que soporta la misma carga por unidad de longitud de soldadura que uno lateral, aunque el esfuerzo cortante unitario calculado sobre la sección de la garganta de una soldadura transversal de filete producido por una carga dada  $P$  es considerablemente menor que el producido sobre una lateral de filete del mismo tamaño.

En las partes en que se permiten juntas traslapadas o solapadas se supone que la junta tiene una eficiencia menor .

## 11. EMPAQUES Y EMPAQUETADURAS

### 11.1. Recomendaciones generales

Para que funcionen correctamente los empaques en las turbinas han de tener cierto escape. Se usan para controlar el escape, no para evitarlo.

El escape ligero por el árbol (eje) provee lubricación adecuada para el empaque. Los empaques tienen lubricantes que actúan como sello inicial durante el arranque y estreno de la turbina, el lubricante reduce el rozamiento. Una vez instalada la turbina, es necesario lubricar el empaque desde el exterior para que su operación sea correcta y de mayor duración. Si no se procede así, el lubricante del empaque mermará por acción del calor, causa principal de que fallen los empaques .

### 11.2. Empaques para el sistema del prensaestopas del álabe directriz

Use el tamaño correcto de empaque en espiral para cerciorarse de que el empaque embone y que pueda compensar por el desgaste del árbol (eje), si lo hay. Para determinar el tamaño correcto del empaque en espiral, mida el diámetro del árbol (si es posible en la sección dentro de la caja del prensaestopas), y luego el diámetro interior de la caja prensaestopas (que es el diámetro exterior del empaque), se resta el diámetro del árbol del diámetro exterior y se divide por dos. El resultado es el tamaño requerido.

No puede dejarse de advertir la importancia del correcto empaque en la turbina. Muchas fallas del empaque se deben a su incorrecta instalación, no confíe en que el empaque sirva de cojinete.

Los empaques mecánicos se hacen en incrementos de 1/16 de pulgada (1,6 mm). En la mayoría de las aplicaciones siempre que el tamaño calculado resulte en fracción menor de 1/16 de pulgada (1,6 mm) se recomienda usar el tamaño mayor que sigue, no el menor anterior. Por ejemplo si el árbol (eje) mide  $2\frac{1}{2}$ " (63,5 mm) y el diámetro interior de la caja es  $37/16$ " (87,3 mm) la diferencia dividida por dos es  $15/32$ " (11,9 mm). En tal caso se usaría el empaque de  $\frac{1}{2}$ " (12,7 mm) en vez de  $7/16$ " (11,1 mm).

### 11.3. Cortar, no enrollar

Siempre se debe cortar el empaque en anillos separados. Nunca enrolle el empaque dentro de la caja prensaestopas. Se cortan los anillos con juntas a tope (en escuadra); el trabajo resulta así más fácil y mejor.

El mejor modo de cortar los anillos de empaque es sobre un mandril del mismo diámetro que el árbol en la sección dentro de la caja prensaestopas.

Si el árbol no tiene desgaste, los anillos pueden cortarse sobre el mismo árbol (eje) en la sección que sobresale.

Sujete la empaquetadura firmemente pero sin estirarla demasiado.

Corte el anillo y mídalo dentro de la caja para comprobar que lleva el espacio correctamente, sin separación en el diámetro exterior del anillo.

Corte los otros anillos de la misma forma, o use el primer anillo de patrón para cortar el resto. Si corta los anillos sobre una superficie plana, cerciórese de colocar un canto lateral del anillo patrón y no uno de los diámetros sobre los anillos para cortar; es necesario hacerlo así para reproducir el ligero bisel de las extremidades. Recuerde siempre que la circunferencia exterior es mayor que la circunferencia interior.

#### 11.4. Tipo o modelo de empaque para el prensaestopas del álabe directriz

Use empaque entrelazado tipo Chempac, diseñado especialmente para servicio eficiente y económico en turbinas, bombas, etc. Puede usarse para manipular todo tipo de soluciones ácidas, solventes y aguas, resiste temperaturas de hasta 260°C, es un empaque estable y no se dilata ni contrae con el calor normal o con el ajuste del casquillo.

Este tipo de empaque es blando, combina las excelentes características de sellaje y de resistencia a la temperatura que brinda el asbesto, y la inmunidad del teflón Dupont a la acción de casi todo producto líquido.

#### 11.5. Empaques moldeados

##### 11.5.1. Funcionamiento de los empaques moldeados

Los empaques moldeados son diseñados científicamente para aplicaciones que requieren sello contra presión hidráulica y neumática.

Los empaques moldeados no requieren generalmente presión exterior, como las empaquetaduras y empaques mecánicos, para formar el sello. Están diseñados en forma y dimensiones que les permiten ejercer su propia fuerza de sello contra la superficie de los vástagos y del encaje.

Además, los materiales de los empaques moldeados tienen superficies lisas, y su estructura ligada química y mecánicamente no deja pasar el líquido. Estos factores hacen que los empaques moldeados produzcan presión contra las superficies. Son sellos accionados por presión.

Como elemento de sellar, los empaques moldeados están expuestos a ciertas condiciones:

- a. Tienen que desarrollar su función de sello contra la dirección del movimiento.

- b. Quedan expuestos casi un 100% a la acción química del fluido.
- c. Quedan expuestos a la temperatura del fluido así como al calor de la fricción generada siempre que el material tenga presión contra una superficie en movimiento.
- d. Tienen que resistir tensiones producidas por compresión, tracción y corte.
- e. Tienen que resistir el desgaste de las superficies metálicas que se mueven contra su superficie a sellar.

Los métodos normales para la conservación de empaques mecánicos también son aplicables a los empaques moldeados. Recuérdese que los puntos de mayor importancia son: limpieza, instalación correcta, uso de materiales adecuados, tamaños correctos, lubricación adecuada, todo lo cual asegura buen funcionamiento del equipo.

11.5.2. Diseño del empaque o anillo moldeado a utilizarse en el eje principal, embutido en el retenedor

El empaque o anillo moldeado a usarse en los retenedores de tipo laberinto, serán dos anillos por cada retenedor, en forma individual cada uno (ver Plano 25/34 de detalle) .

Los sellos serán tipo clipper de neopreno cubiertos con teflón, con resorte metálico tipo LPD, también se podrá usar sellos, (Single Endless Ring Hydraulic Packing) de material sintético conformado.

El material será compuesto de:

Material y Construcción	Material Estilo N°	Alcance de Presión	Clasificación del Servicio
Compuesto de Neopreno Durómetro 90 Homogéneo	410	0-105 Kg/cm <sup>2</sup> (0-1500/pc.)	contra aire, agua, aceite o soluciones acuosas.

Estas son NORMAS NORTEAMERICANAS, pueden utilizarse otras equivalentes.

De surgir alguna duda sobre los empaques moldeados a utilizar, se debe dar al proveedor los siguientes datos :

#### A. Fluido Manejado

1. Tipo de agua
2. Presión - mínima, máxima y promedio en operación
3. Temperatura - mínima, máxima y promedio.

#### B. Dimensiones del Metal

1. Diámetro interior-tolerancias, material, acabado, profundidad de la caja de los retenedores
2. Diámetro del árbol, tolerancia, material y acabado
3. Separaciones entre anillos.

#### 11.5.3. Acabados de superficie recomendados

Superficie Metálica	Indice de Aspereza micropulgadas (Ef.)
Arbol o eje en movimiento indicando R.P.M.	8 a 16
Diámetro interior del retenedor	8 a 32

#### 11.5.4. Buenas prácticas de instalación

Todos los modelos de empaques moldeados tienen características especiales que requieren atención especial para que funcionen correctamente. Pero todos los empaques funcionan correctamente si se atiende a las siguientes sugerencias sobre "QUE HACER" y "QUE NO HACER".

##### PARA UNA INSTALACION ADECUADA: "QUE HACER"

1. Use el modelo correcto. Por ejemplo, no emplee butilo para una base de petróleo, ni neopreno para un éter fosfatado.
2. Use el tamaño correcto. En casos de emergencia pueden emplearse otros tamaños por cortos períodos aunque queden "deformados", pero no deben dejarse durante largo tiempo, ni hay que esperar que resulten eficientes.
3. Quite todo el empaque antiguo y limpie la cavidad perfectamente.
4. Si usa anillos divididos, no deje de saltar las juntas.
5. Instale y embone cada anillo individualmente antes de instalar el siguiente. Si el empaque consta de varios anillos (un juego en lugar de un solo elemento), cerciórese de que los anillos no queden deformados .

6. Compruebe que no queda aire atrapado entre los anillos.
7. Use lubricante al instalar los anillos, ello facilita la instalación y ayuda en el período de operación inicial.
8. Verifique que los labios del sello no tengan puntos doblados, ni que vengan deformados. Es fácil hacerlo, especialmente en instalaciones a ciegas. El resultado son escapes prematuros.
9. Cerciórese de que los anillos o sellos quedan en la dirección del medio que se sella, ya sea fluido, aire, etc.
10. Considere la estructura metálica. Muchas veces se culpa al empaque cuando la verdadera causa de los escapes es el metal poroso en el vástago o en la cubierta.
11. Cerciórese de que empaca el juego completo, especialmente cuando el fabricante provee espacio sin ajuste para el empaque. No deje fuera uno o más anillos; la compresión correcta fue determinada por los fabricantes del equipo y del empaque.
12. Tener cuidado de no comprimir la base de la Copilla en U, si usa este tipo de Copilla y un relleno duro, tal como metal.
13. Eliminar el radio del filo del casquillo si el equipo requiere Copillas de Empaque tipo A, y el casquillo tiene radio como para sostener la copilla. Produce falla prematura porque corta el empaque.

#### 11.5.6. "Que no Hacer" para una buena instalación

1. No espere que los empaques moldeados sirvan de COJINETE. Están diseñados para servir de sello contra los fluidos.
2. No use los empaques moldeados para soportar carga o para pasar la carga de un punto a otro. Esa función se hace por medio de piezas metálicas o separadores.
3. No cambie de aceite lubricante arbitrariamente sin considerar el efecto en la pieza moldeada. Especialmente si cambia de aceite de bajo punto de anilina (aceite severo a base de petróleo) por uno de alto punto de anilina (aceite liviano).  
  
Pero es aún más importante si cambia de aceite a base de petróleo a un aceite éter de fosfato. Si tiene duda, consulte a la compañía que suministra el aceite al distribuidor.
4. No emplee destornilladores ni otros elementos o instrumentos filosos para instalar los empaques o sellos. Use una herramienta de madera dura.

5. No comprima el empaque o sello excesivamente. El procedimiento general es: apriete el casquillo lo suficiente para asentar y embonar los anillos correctamente, luego afloje y vuelva a apretar a la presión que puede aplicar con los dedos. Si el escape es excesivo, apriete un poco más. Si no puede eliminar el escape, examine el empaque y el equipo para determinar la anomalía.

## 12. LUBRICACION Y MANTENIMIENTO

### 12.1. Rodamientos

Los rodamientos deben lubricarse para evitar que se produzca contacto metálico entre los elementos rodantes, los caminos de rodadura y las jaulas y para proteger al rodamiento contra la corrosión y el desgaste.

La temperatura de funcionamiento más favorable para un rodamiento se obtiene cuando se usa el mínimo de lubricante necesario para garantizar una lubricación confiable.

No obstante, la cantidad usada depende también de las funciones adicionales que se exijan, por ejemplo, obturación, refrigeración, etc.

12.1.1. Las propiedades de los lubricantes se deterioran como resultado del envejecimiento y de las sollicitaciones mecánicas y además todos los lubricantes llegan a contaminarse en servicio y deben reponerse o cambiarse de vez en cuando.

Los rodamientos pueden lubricarse con grasa o con aceite, y en casos especiales con un lubricante sólido.

Los rodamientos axiales de rodillos a rótula deberán lubricarse con aceite, debido a su diseño, aunque para velocidades lentas y en ciertos casos especiales se puede usar grasa.

12.1.2. La elección del lubricante depende principalmente de las velocidades y del campo de temperatura a que vaya a trabajar el rodamiento, es decir, de las condiciones de funcionamiento.

### 12.2. Lubricación con grasa

12.2.1. En los rodamientos de bolas y de rodillos se usa generalmente lubricación con grasa cuando trabajan a velocidades, temperaturas y condiciones de carga normales. La grasa tiene ciertas ventajas en comparación con el aceite: es más fácil de retener en el alojamiento del rodamiento, particularmente cuando el eje está vertical o inclinado, y contribuye a la obturación para evitar la entrada de humedad y otras impurezas.

En general, el espacio que queda libre en el rodamiento y en el alojamiento deberá llevarse solo parcialmente con grasa (del 30 al 50%). Un exceso de grasa producirá un rápido aumento de la temperatura a velocidades elevadas. El peso de la carga inicial de grasa para los soportes de rodamientos se da en las tablas de soportes y rodamientos comerciales.

En las tablas de rodamientos se dan los valores límites de las velocidades para rodamientos lubricados con grasa, (ver en los manuales comerciales "Límites de Velocidad").

### 12.2.2. Grasas

Las grasas para lubricación de rodamientos son fluidos sintéticos o aceites minerales espesados. La consistencia de una grasa depende principalmente del tipo y de la cantidad del agente espesante usado. Al efectuar la selección de una grasa, los factores más importantes a tener en cuenta son su consistencia, el campo de temperatura y sus propiedades anticorrosivas.

### 12.2.3. Consistencia

La consistencia de una grasa se expresa usualmente en valores de la escala del "National Lubricating Grease Institute".

Las grasas espesadas con jabones metálicos de consistencia 1, 2 o 3, son las normalmente usadas para rodamientos. La consistencia no deberá experimentar cambios excesivos ni con la temperatura ni con las sollicitaciones mecánicas. Las grasas que se reblandecen a elevadas temperaturas pueden escapar del rodamiento o del alojamiento, y las que se endurecen a bajas temperaturas pueden frenar la rotación del rodamiento.

En aplicaciones sometidas a vibraciones, la grasa soporta un duro trabajo ya que continuamente viene devuelta al rodamiento por la vibración. Para tales aplicaciones deberán usarse grasas mecánicamente estables.

### 12.2.4. Propiedades Anticorrosivas

Las grasas de base sódica son solubles en agua, es decir, que absorben agua en cierto grado y forman una emulsión anticorrosiva, sin perjuicio de sus propiedades lubricantes. Con estas grasas, los rodamientos quedarán protegidos suficientemente contra la corrosión, siempre que se impida que entre agua en el rodamiento.

Cuando entra agua, arrastra fácilmente a tales grasas fuera del alojamiento del rodamiento.

Las grasas de base lítica y cálcica son prácticamente insolubles en agua, y por consiguiente no ofrecen protección contra la corrosión. Jamás deberán usarse por tanto esas grasas, a menos que contengan un componente anticorrosivo.

Estas grasas, con aditivos EP (compuestos de plomo principalmente), tienen buenas propiedades anticorrosivas. Estas grasas insolubles en agua, se adhieren bien a las superficies de los rodamientos, por lo que resultan especialmente adecuadas para los casos en que el agua puede penetrar en el rodamiento, por ejemplo en las turbinas hidráulicas, máquinas de papel, etc.

#### 12.2.5. Miscibilidad

Se debe prestar especial atención a la miscibilidad de las grasas cuando, por alguna razón, se hace necesario usar una grasa diferente para relubricar. La mezcla de grasas incompatibles conduce normalmente a una disminución de la consistencia y de la temperatura de trabajo máxima admisible, en comparación con las grasas componentes de la mezcla, lo que puede ser causa de que se produzcan daños en el rodamiento.

Las grasas que tienen el mismo agente espesante y un aceite similar son compatibles; por ejemplo, una grasa de base sódica puede mezclarse con otra grasa de base sódica.

Las grasas de base cálcica y de base lítica pueden mezclarse en algunos casos entre sí, pero no con una grasa de base sódica.

No obstante, es posible que una mezcla de grasas compatibles tengan una consistencia más blanda que la de cualquiera de las grasas componentes, sin que por eso hayan de resultar necesariamente perjudicadas las propiedades lubricantes.

En aquellos casos en los que una menor consistencia de la grasa vaya a dar lugar probablemente a problemas de fugas, los intervalos recomendados entre engrasados deberán acortarse, hasta que la grasa nueva haya reemplazado por completo a la antigua.

#### 12.2.6. Relubricación

La cantidad de grasa necesaria en una relubricación se obtiene de:

$$G = 0,005 DB$$

donde:

G = cantidad de grasa, en gr.

D = diámetro exterior del rodamiento, en mm.

B = anchura del rodamiento, en mm (= H para rodamientos axiales).

Cuando, debido a las condiciones de funcionamiento la relubricación se efectúa con intervalos largos, es suficiente que el alojamiento sea accesible y pueda abrirse fácilmente. Para tener acceso al rodamiento, se quita la parte superior de los soportes partidos, o la tapa lateral de los alojamientos enterizos. Después de quitar la grasa usada, se debe introducir grasa nueva entre los elementos rodantes.

Cuando el intervalo de relubricación es más corto, deberán preverse medidas para efectuar tales relubricaciones; por ejemplo, adaptando un engrasador al soporte.

Entonces puede aplicarse la grasa usando una pistola de engrase.

Para tener la seguridad de que la grasa nueva llega realmente al rodamiento y reemplaza a la grasa antigua, el conducto de lubricación deberá desembocar junto a la cara lateral del aro exterior, o mejor todavía entre los elementos rodantes como, por ejemplo, en los rodamientos de rodillos a rótula con agujeros de lubricación en el aro exterior.

Después de cierto número de relubricaciones deberá abrirse el alojamiento para extraer la grasa usada, la cual será removida por medio de disolventes, antes de añadir grasa nueva. Ver Diagrama 1, intervalos de relubricación.

### 12.3. Lubricación con aceite

12.3.1. Se usa en general la lubricación con aceite cuando las elevadas velocidades o las altas temperaturas de funcionamiento no permiten el uso de la grasa, cuando es necesario evacuar del rodamiento el calor generado por él o de origen externo, o cuando las piezas adyacentes de la máquina, por ejemplo las ruedas dentadas, están lubricadas con aceite. Los límites de velocidad para lubricación con aceite se dan en las tablas de rodamientos de los fabricantes.

#### 12.3.2. Métodos de lubricación con aceite

El método simple es por baño de aceite, pero solamente es adecuado para velocidades bajas. El aceite es recogido por los elementos giratorios del rodamiento, y después de circular a través de éste vuelve a caer al depósito de aceite.

Cuando el rodamiento no gira el aceite deberá tener un nivel ligeramente por debajo del centro de la bola o del rodillo que ocupe la posición más baja.

#### 12.3.3. Temperaturas

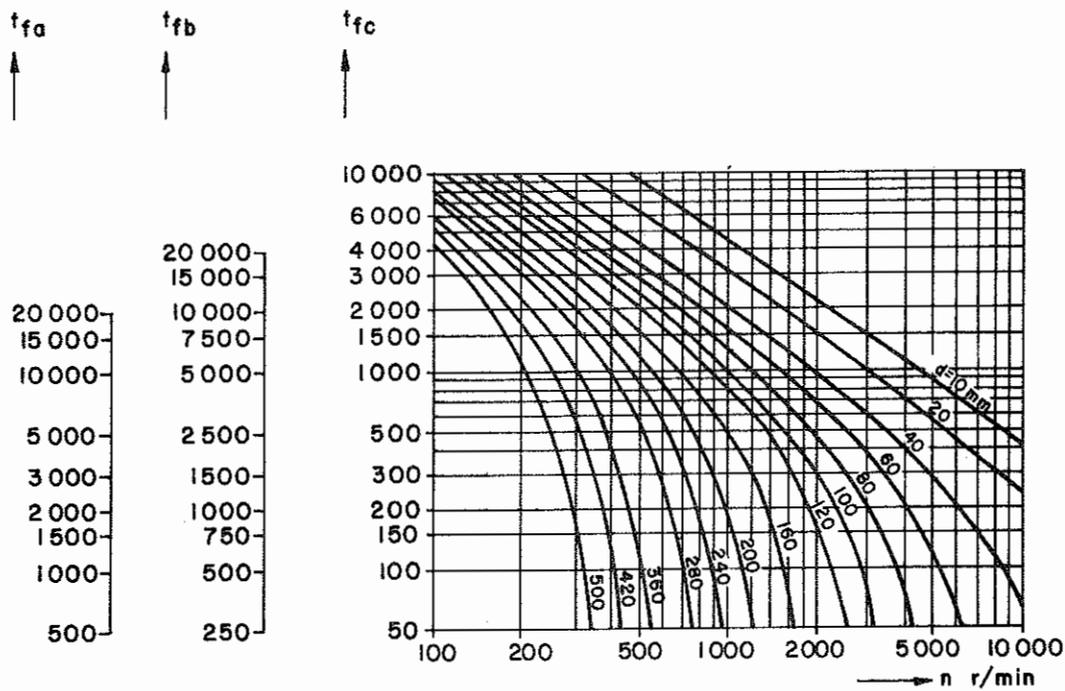
Al aumentar la velocidad, aumenta la temperatura de funcionamiento del rodamiento y se acelera la oxidación del aceite.

Para evitar el tener que cambiar frecuentemente el lubricante, se puede usar un sistema de circulación de aceite. Después de pasar el aceite lubricante a través del rodamiento, se filtra, y en algunos casos se refrigera antes de volver al rodamiento. La refrigeración del aceite puede ser de utilidad para disminuir la temperatura del rodamiento. Normalmente se requiere una bomba para hacer circular el aceite.

#### 12.3.4. Velocidades

Para elevadas velocidades, es importante asegurar la llegada de suficiente cantidad de aceite a los componentes del rodamiento, y también que el aceite sea capaz de disipar el calor generado por rozamiento.

DIAGRAMA I  
INTERVALOS DE RELUBRICACION  
HORAS DE SERVICIO



$t_{fa}$  RODAMIENTOS RADIALES DE BOLAS

$t_{fb}$  RODAMIENTOS DE RODILLOS CILINDRICOS

$t_{fc}$  RODAMIENTOS DE RODILLOS A ROTULA, RODAMIENTOS DE RODILLOS CONICOS,  
RODAMIENTOS DE RODILLOS CILINDRICOS SIN JAULA LLENOS DE RODILLOS ( $0,2t_{fc}$ )  
RODAMIENTOS AXIALES DE BOLAS, RODAMIENTOS AXIALES DE RODILLOS CILIN-  
DRICOS ( $0,5t_{fd}$ )

Los inyectores de chorro de aceite proporcionan un sistema de lubricación muy eficaz, en el cual se inyecta el aceite en el rodamiento por un lado.

La velocidad del chorro de aceite ( $\geq 15$  m/s) deberá ser tal que al menos parte del aceite penetre a través del aire que rodea al rodamiento en régimen turbulento.

#### 12.3.5. Sistemas de lubricación

La lubricación con niebla de aceite consiste en el transporte de gotitas de aceite al rodamiento, por medio de una corriente de aire. La niebla de aceite se produce en un atomizador. Aire comprimido seco, procedente de una conducción, es filtrado en el atomizador, ajustándose su presión a un valor comprendido entre 0,05 y 0,1  $\mu$ Pa. La niebla obtenida se transporta luego a través de tuberías, hasta los rodamientos. Boquillas de condensación montadas en las tuberías, delante mismo de cada rodamiento permiten la llegada del aceite al rodamiento en forma de gotitas.

La corriente de aire que penetra en el alojamiento sirve también para refrigeración del rodamiento y producir una presión ligeramente más alta en el alojamiento, evitando la entrada de impurezas. Este procedimiento permite efectuar la lubricación con pequeñas cantidades de aceite, dosificadas con exactitud, con lo cual resulta despreciable el rozamiento debido al lubricante.

Este método se usa con mucha frecuencia para rodamientos que giran a gran velocidad, por ejemplo en husillos de rectificadoras.

#### 12.4. Inspección y limpieza de rodamientos

##### 12.4.1. Cambio de aceite

La frecuencia con que se debe efectuar el cambio de aceite depende principalmente de las condiciones de funcionamiento y de la cantidad de aceite que se use.

Cuando se emplea lubricación por baño de aceite, normalmente es suficiente cambiar el aceite una vez al año, con tal de que la temperatura del rodamiento no exceda de 50°C y de que no exista contaminación. Para temperaturas más elevadas o para condiciones de funcionamiento más duras, es preciso efectuar los cambios con más frecuencia: por ejemplo, para una temperatura de funcionamiento de 100°C, deberá cambiarse el aceite cada tres meses.

##### 12.4.2. Inspección y limpieza

Como todas las piezas importantes de las turbinas y máquinas, los rodamientos de bolas y de rodillos, como también cojinetes y bujes, deben ser frecuentemente limpiados y examinados. Los intervalos entre tales exámenes dependen por completo de las condiciones de funcionamiento.

Si se puede vigilar el estado del rodamiento, cojinetes y bujes durante el servicio, por ejemplo escuchar el rumor del mismo en funcionamiento por medio de estetoscopios y midiendo la temperatura o examinando el lubricante, normalmente es suficiente con limpiar e inspeccionar a fondo, una o dos veces al año, los aros, la jaula o corona y los elementos rodantes o desplazantes, así como las demás piezas anexas al rodamiento. Si la carga es elevada, deberá aumentarse la frecuencia de las inspecciones, por ejemplo, los rodamientos se suelen examinar cuando se le da mantenimiento a las turbinas.

Después de haber limpiado los componentes del rodamiento, cojinetes y bujes con un disolvente, por ejemplo, petróleo refinado (Wite Spirit), gasolina o benzol, etc., deberán aceitarse o engrasarse inmediatamente, para evitar su oxidación.

#### 12.5. Sistema de lubricación en los empaques de los prensaestopas y cojinetes del eje del álabe directriz

12.5.1. Como se puede apreciar en el Plano 12/34-Sección "A-A", no está diseñado el sistema de lubricación por aceite, que es lo que se requiere para este tipo de mecanismos .

Es aconsejable colocar el conducto de lubricación tanto para la empaquetadura como para el cojinete.

El cojinete de bronce deberá tener las ranuras correspondientes (araña) para que pueda circular el lubricante.

En el empaque del prensaestopa la lubricación deberá ser libre para que de esta forma, los tres anillos de empaques estén siempre lubricados.

#### 12.5.2. Sistema de lubricación

El sistema más recomendable para este tipo de mecanismos es colocar una aceitera fija en la base para soporte del sistema de los bujes laterales, la cual va soldada a la caja de admisión (ver despiece Plano No. 15/34).

Este tipo de aceitera deberá contener la cantidad de  $\frac{1}{2}$  lt. de aceite, y el sistema de descarga será por goteo.

A la descarga de la aceitera, ésta llevará una válvula de 1/4 de vuelta, para de esta forma controlar el goteo de aceite.

#### 12.5.3. Selección del aceite

El lubricante (aceite) para el sistema anteriormente indicado, deberá ser cuidadosamente seleccionado, se aconseja usar: aceites para ejes, densidad relativa = 0,885, temperatura de 16°C a 100°C y con una viscosidad saybolt 68.

La viscosidad varía con la temperatura, y la de los aceites para máquinas es de 100 a 300 veces mayor que la del agua, a las temperaturas ambiente ordinarias.

Ante cualquier duda en la selección de estos aceites lubricantes se recomienda al fabricante asesorarse con un proveedor de aceites de marca reconocida.

## 12.6. Sistema de engrase para rodamientos del eje principal

### 12.6.1. Soporte de rodamientos

Casi todos los soportes comerciales, para los rodamientos indicados, traen su propio orificio para conexión de las graseras, las cuales son alimentadas por medio de una pistola manual, como se indican en el Capítulo 12.2.6.

12.6.2. La grasa a ser utilizada para lubricación de los rodamientos se especifica en los manuales de rodamientos comerciales, y el fabricante deberá ceñirse a las normas que se especifican en dichos manuales.

### 13. PRESCRIPCIONES ESPECIALES PARA GALVANIZACION

#### 13.1. Antes de galvanizar, la superficie se prepara de acuerdo a lo especificado en 6.3.1.

El galvanizado cumplirá las normas ASTM - A 123 y ASTM - A 153 . La capa será adherente, lisa y sin imperfecciones ni discontinuidades tales como burbujas, porosidades, grietas o cualquier otro tipo de irregularidades que puedan afectar su resistencia aún después del transporte y montaje.

Luego de la inmersión en el baño de zinc, las superficies protegidas no serán sometidas a ningún proceso de rasqueteado o soldado que pueda afectar la uniformidad o el espesor de la capa protectora.

#### 13.2. Aplicaciones

##### a) Galvanización por inmersión en baño caliente

El zinc se alea fácilmente con el hierro. Por lo tanto, los artículos de acero, limpiados debidamente, serán mojados por el zinc fundido y adquieren revestimientos uniformes de zinc, variando el grosor con el tiempo, temperatura y velocidad de extracción. Tales revestimientos son continuos y razonablemente dúctiles. La ductilidad se mejora considerablemente mediante la restricción del tiempo de inmersión y mediante la adición de pequeñas cantidades de aluminio al baño galvanizante. Estos últimos medios son empleados para mayor ventaja en la galvanización en línea continua de las hojas de acero. Anualmente se protegen por medio de zinc millones de toneladas de productos de acero.

La duración de la iniciación de la corrosión en el hierro o acero está en razón directa del espesor del revestimiento de zinc, el cual está sujeto a control dependiendo del producto y del proceso. Existe una escala de revestimientos desde muy finos en algunos productos, hasta espesores de 0,20 mm en ciertos aceros de baja aleación, para así lograr revestimientos adecuados .

La utilidad del zinc como material de revestimiento es debida a su doble capacidad de proteger primero como tal de larga duración y luego sacrificándose cuando el revestimiento es finalmente perforado.

##### b. Electrogalvanización

El zinc puede ser depositado electrolíticamente sobre todos los productos de hierro y acero. El alambre y la banda se tratan comúnmente de la misma forma que muchas piezas fabricadas. Los revestimientos electrodepositados son dúctiles y uniformes , pero son normalmente más finos y encuentran por ello aplicaciones en servicios menos rigurosos . El alambre Bethanized es una excepción, tiene normalmente revestimientos gruesos y se emplea en todos los servicios apropiados .

### c. Metalización

Mediante un método de recubrimiento de uso creciente o polvo de zinc es fundido y pulverizado sobre superficies de acero adecuadamente limpiadas por chorro de granalla. Sus virtudes son flexibilidad en la aplicación y obtención de espesores gruesos. El método es especialmente útil para la renovación de revestimientos pesados en áreas expuestas a condiciones corrosivas particularmente críticas y para el revestimiento de piezas demasiado grandes para inmersión en baño caliente. Aunque los revestimientos metalizados pueden ser algo porosos, la naturaleza de sacrificio del zinc los hace protectores a pesar de todo. Pueden emplearse sellantes adecuados para los poros como parte de un sistema de metalización.

### d. Cincado por sublimación

El polvo de zinc se coloca suelto alrededor de las piezas limpias que han de cincarse en un recipiente estanco. Una vez sellado, se calienta hasta una temperatura cerca del punto de fusión del zinc, pero por debajo de él, luego se gira lentamente, formando las aleaciones de zinc con el acero un revestimiento protector delgado, resistente a la abrasión y uniforme. El cincamiento se emplea comunmente para revestir objetos pequeños tales como tuercas, pernos y tornillos; el conducto tubular eléctrico es una excepción. Los revestimientos cincados admiten el barniz, las pinturas y las lacas particularmente bien.

### e. Pinturas pigmentadas con zinc

Se ha observado y demostrado que las pinturas fuertemente pigmentadas con polvo de zinc realizan el mismo efecto que los revestimientos de zinc aplicados de otra forma. Tiene que existir contacto eléctrico entre el acero y las partículas de polvo de zinc; consiguientemente han de emplearse vehículos especiales y la superficie del acero ha de estar limpia.

### f. Anodos de zinc

El zinc de alta pureza, normalmente aleado con pequeñas adiciones de aluminio, con o sin cambio, se funde o se lamina en forma de ánodos, los cuales, al ser unidos eléctricamente a acero desnudo o recubierto con pintura, protegerá grandes áreas del ataque corrosivo en ambientes tales como el del agua de mar. Las ventajas del zinc en estas aplicaciones incluyen la autorregulación (no se genera más corriente de la que se requiere) un mínimo de generación de hidrógeno y larga vida. Esta es una aplicación creciente para la protección de cascos de barco, tanques de carga en lastre, atracaderos, pilotajes, cascos de turbinas, etc.

Se puede verificar el espesor de la capa de zinc y la calidad del proceso de galvanizado mediante ensayos que se realizarán en presencia del ingeniero inspector y del personal técnico del fabricante. El fabricante pondrá a disposición del ingeniero inspector el equipo necesario para realizar estos ensayos.

## 14. TRATAMIENTO DE SUPERFICIE Y PINTURA

### 14.1. Prescripciones generales

14.1.1. En el área que se designe en el taller para aplicación de pintura, se deberán remover antes de pintar o proteger durante la aplicación de la pintura, todos los materiales, accesorios, láminas y artículos similares que se encuentren en el sitio, esto siempre y cuando el taller no tenga el sitio apropiado para la aplicación de la pintura.

Es recomendable que el taller tenga un sitio apropiado y retirado, de ser posible cerrado, pero con buena ventilación dentro del área designada para el efecto.

14.1.2. Las pinturas y productos de pintura serán de tipo normalizado, de alta calidad y de marca reconocida.

El fabricante o taller deberá presentar a los ingenieros inspectores, para su aprobación, una lista de referencia de los trabajos anteriores realizados en plantas hidroeléctricas similares.

El inspector será responsable de la correcta aplicación de la pintura y de los instructivos de los procesos de aplicación.

En lo posible, todas las pinturas utilizadas deberán ser producidas por el mismo fabricante de pintura; sin embargo, el fabricante será el responsable de que las pinturas seleccionadas sean compatibles.

### 14.2 . Equipos de pintura

14.2.1. La mayoría de los acabados industriales se hacen con pistolas de pulverización. En el pulverizado electrostático, la pulverización está cargada y es atraída por el objeto que se pinta, el cual está puesto a tierra; se elimina en gran parte la pulverización excesiva. Otros métodos consisten en la aplicación por inmersión, por circulación, en tambores o barriles y por esparcido.

La pintura que se hace por pulverizado requiere hasta un 25% más de pintura que el pintado por brocha, pero la ventaja de su rapidez y acabados lo recompensa.

El equipo principal del sistema de pintado consiste en un compresor de aire, tipo centrífugo, de capacidad  $0,75 \text{ m}^3/\text{min}$ . con un rendimiento del 86%.

Deberá ser del tipo seco, con filtro incorporado, también se puede usar el compresor de aire del taller para no encarecer los costos de fabricación. La pistola y mangueras son de uso convencional.

### 14.3. Preparación de las superficies por pintarse

14.3.1. Las superficies metálicas que corresponda pintar, deben limpiarse previamente para remover herrumbre, óxido, escorias de soldaduras e incrustaciones de cualquier tipo.

Para remover incrustaciones o herrumbre debe elegirse el método más apropiado, de acuerdo a la profundidad del ataque y al espesor de la costra.

Los métodos pueden incluir tela esmeril, cepillado a mano o con cepillos de alambre rotatorios o rasqueteado. En casos extremos, en que la oxidación es muy profunda, puede usarse el arenado. Si es necesario pueden aplicarse varios de estos métodos sucesivamente.

Independiente del sistema adoptado, debe eliminarse de las superficies cualquier resto de polvo y secarlas con chorro de aire comprimido.

Las superficies cubiertas de grasa o aceite deben limpiarse con un disolvente o detergente, luego secarse con aire comprimido .

Cuando no es posible limpiar las superficies por medios mecánicos se pueden utilizar métodos químicos, tales como quitapinturas o limpiadores.

14.3.2. A las superficies maquinadas que por cualquier eventualidad tengan defectos superficiales o imperfecciones se les aplicará material de relleno hasta que queden completamente lisos y rectos.

Luego de pintadas las piezas no deben apreciarse imperfecciones en la superficie. Todas las superficies metálicas trabajadas y las superficies que no requieran ser pintadas deberán cubrirse con una capa protectora de cera, vaselina o aceite. Los pernos y partes que aún no son ensamblados irán lubricados y envueltos en papel kraft resistente a la humedad y cubiertos con plástico grueso o protegidos por otros métodos apropiados .

Otros métodos de protección, consisten en baño de parafina, baño de PVC, o baño de celulosa, otra forma de aplicación de estos componentes, puede ser manual tipo artesanal .

14.3.3. Terminantemente no se podrá pintar a la intemperie, en presencia de lluvia, humedad, niebla, rocío o cualquier otro factor que provoque humedad sobre las superficies a pintar.

El intervalo entre manos sucesivas de pintura permitirá que la primera capa seque completamente antes de aplicar la segunda.

El color de las sucesivas manos de pintura diferirá lo suficiente como para permitir una clara identificación de la secuencia de pintado, a efectos de control.

La capa de pintura debe ser perfectamente adherente a la superficie.

#### 14.4. Pinturas en metales

##### 14.4.1. Pintado del acero

Se relacionan estrechamente la preparación del material de acero para ser pintado, el tipo de pintura y el medio a que ha de quedar expuesto. Los procedimientos de preparación, dispuestos en orden creciente son:

1. Quitado del aceite con disolvente
2. Separación de la suciedad de la herrumbre floja y de la cascarilla suelta de laminado con un rascador o un cepillo de alambre
3. Limpieza a la llama
4. Tratado con chorro de arena
5. Limpieza con baño químico
6. Fosfatación

Los medios a que ha de quedar expuesto el metal, dispuestos en su orden de gravedad son:

- a. Interiores secos o regiones áridas
- b. Zonas rurales o de industrias ligeras
- c. Continuamente húmedas
- d. Productos químicos corrosivos

Para el medio los sistemas de pintado consisten a menudo en una simple capa de pintura de bajo costo. Para otros medios los sistemas comprenden una o dos capas de imprimación inhibitoria de la herrumbre y una ó más capas de acabado, seleccionadas de acuerdo con la severidad de las condiciones.

El imprimador contiene uno o más pigmentos de la herrumbre, seleccionados principalmente entre minio, amarillo de zinc o polvo de zinc. También pueden contener óxido de zinc, óxido de hierro y pigmentos de extensión.

La pintura del acero estructural se seca normalmente al aire. Grandes porcentajes de los acabados del acero hecho en fábricas se cierran por catálisis o bien son cocidos.

##### 14.4.2. Pintado del hierro galvanizado

El hierro galvanizado nuevo, es recomendable dejarlo a la intemperie por un período de 6 meses. Si no se dispone de tiempo suficiente se le debe tratar con una solución ácida adecuada para

limpiar metales. En la primera mano de imprimado, sin tratamiento previo, debe usarse una pintura que contenga una cantidad sustancial de polvo de zinc.

Si el hierro galvanizado ha sido expuesto a la intemperie, también son buenas las imprimaciones corrientes para el acero.

#### 14.4.3. Pintado del cobre (Bronce)

La única preparación necesaria del cobre es limpiar la grasa y volver áspera la superficie, si está pulida. No es necesario imprimaciones especiales, píntese o barnícese todo el cobre para impedir que sus productos de corrosión manchen la pintura adyacente. El barniz puede ser oleorresinoso o alcohólico.

#### 14.4.4. Pintado de aluminio

La superficie debe estar limpia de grasa. La lámina de alto grado de pulimento debe tratarse con ácido fosfórico o con ácido crónico.

Los imprimadores de amarillo de zinc dan la mejor protección contra la corrosión.

En caso de que no se disponga de los productos anteriormente mencionados para el tratamiento de pintado en el aluminio, se recomienda como alternativa, limpiar muy bien el metal y darle un baño de plastificante, el cual se adhiere muy bien y es resistente a la corrosión.

#### 14.5. Número de capas de pintura a aplicar

14.5.1. Las pinturas usadas en el proceso, serán aplicadas de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Se aplicará un número de capas de pintura de acuerdo al siguiente detalle:

Superficies de acero:

- a. Dos capas de pintura antióxido
- b. Dos capas de pintura de terminación

Superficies en contacto con agua:

- a. Tres capas de imprimación inhibitoria del herrumbre
- b. Tres manos de pintura de base fenólica o equivalente

#### 14.6. Retoque en sitio de la pintura aplicada en fábrica

Las superficies pintadas en fábrica que se dañen durante el viaje o el montaje, así como las uniones atornilladas o soldadas que se puedan realizar en el sitio, serán retocadas con extremo cuidado, hasta adquirir el aspecto y la calidad original. El fabricante deberá incluir en el suministro la cantidad de pintura necesaria

para llevar a cabo esta operación.

#### 14.7. Espesor de las capas aplicadas

El espesor completo de la capa de pintura deberá ser superior a los siguientes valores:

Para aplicación de 3 o 4 manos:

sobre superficies arenadas	0,8 mm.
sobre superficies cepilladas	0,9 mm.

Para aplicación de 2 manos:

sobre superficies arenadas	0,5 mm.
sobre superficies cepilladas	0,55 mm.

Estos espesores se exigen tanto sobre bordes y aristas, como sobre superficies planas. Se debe reservar el derecho de controlar el espesor, realizando ensayos junto con el personal del fabricante.

La última mano aplicada a las partes a ser pintadas y la pintura de retoque serán del mismo color.

#### 14.8. Especificación de inhibidores

El imprimador contiene uno o más pigmentos inhibitivos de la herrumbre, seleccionados principalmente entre minio, amarillo de zinc y polvo de zinc. También puede contener óxido de zinc, óxido de hierro y pigmentos de extensión. De igual importancia es el aglutinante, particularmente en las manos de acabado. Para superficies por encima del agua, dan buen servicio el aceite de linaza y el barniz de alquida; para superficies bajo agua son mejores otros aglutinantes, como las resinas fenólica y vinílica. Los aglutinantes resistentes a los productos químicos son los compuestos epoxi, los de caucho sintético, de caucho dorado, de vinilo y de neopreno.

La pintura de acero estructural se seca normalmente al aire. Grandes porcentajes de los acabados del acero se cierran por catálisis o bien son cocidos, éstos más bien se realizan en las industrias fabricantes de aceros.

## 15. PROTECCION CATODICA

- a. La corrosión es un ataque destructivo de los metales. En el caso de las turbinas, la mayoría de los fenómenos que comprenden la corrosión de metales que contienen agua, o están sumergidos en ella, o su corrosión en la atmósfera por películas de humedad, son de naturaleza electroquímica.
- b. La corrosión atmosférica es estimulada por una "atmósfera muy húmeda", ya que ésta mantiene una película de agua sobre el metal, una condición esencial para la corrosión. Otros factores son el oxígeno (aire) disuelto en esta película de agua.
- c. Bajo condiciones similares, el hierro y el acero se corroen prácticamente con la misma rapidez, pero la distribución de la corrosión puede ser diferente en los dos. La escoria esparcida en el hierro dulce puede dar por resultado bajo la corrosión atmosférica un ataque distribuido de una manera general más bien que un ataque fuertemente localizado (pica-dura). En la corrosión subterránea y en la causada por sumersión continua de agua, los ensayos efectuados no han demostrado mucha diferencia entre los dos materiales.
- d. La parte más expuesta a la corrosión de las turbinas, es la carcasa donde se ubica el rodete, la carcasa de descarga, en menor grado la corrosión también afecta en la caja de regulación de levas y los brazos de regulación.

### 15.1. Recomendaciones

#### 15.1.1 La corrosión puede aminorarse por:

- a. Baño de galvanizado .
- b. La producción de óxido, fosfato o recubrimientos semejantes sobre las superficies de hierro y de acero .
- c. La aplicación de pinturas protectoras (epoxi)
- d. La transformación al estado pasivo de la superficie del metal. Dependiendo del sitio donde se ubique la sala de máquinas, de los análisis del agua, para ver su grado de corrosión, el responsable de la obra deberá tomar la decisión del método a emplearse para evitar la corrosión en las turbinas.

15.1.2 El método idóneo para protección de la corrosión es la protección catódica, (todo depende del grado de corrosión existente en la zona).

Es recomendable que los electrodos estén en las partes señaladas en el punto d.

## 16. PROTECCION, EMBALAJE Y TRANSPORTE

### 16.1 Protección

16.1.1 Todos los equipos y materiales suministrados de acuerdo a las presentes especificaciones técnicas serán apropiados para ser transportados, depositados y operados bajo condiciones adversas como:

1. Alta temperatura ambiental
2. Humedad
3. Lluvias abundantes
4. Viento con polvo

El proceso de protección se realizará cubriendo el equipo con papel absorbente de la humedad, esta envoltura será cubierta de ser posible con plástico autoadhesivo tratando de minimizar la capacidad de aire que pueda quedar encerrado en la envoltura. Se aplicará flejes de plástico en las zonas de la maquinaria para evitar la entrada de aire y humedad.

16.1.2. El hierro y el acero en general se tratará de acuerdo con lo previsto en el capítulo 6.

Las piezas pequeñas de hierro y acero (que no sean de acero inoxidable), serán tratadas para impedir la oxidación. Aquellos elementos que no puedan ser tratados tendrán las partes expuestas cuidadosamente limpias y cubiertas completamente con esmalte, laca o compound.

16.1.3 Cuando sea preciso utilizar metales distintos en contacto, éstos deben elegirse en lo posible de forma tal que la diferencia de potencial entre ellos, en la serie electroquímica no provoque corrosión galvánica.

16.1.4 Cuando sea posible, las superficies en contacto de uno o ambos metales serán electrochapeados o tratados de manera de reducir la diferencia de potencial, o si es posible, los dos metales deben aislarse entre sí, con un material aislante apropiado o una capa de barniz aislante.

16.1.5 Se deberá tratar adecuadamente con fungicidas apropiados, las telas, corchos, papel y otros materiales que no estén lo suficientemente protegidos por medio de impregnación. No se deberán utilizar ni forros, ni telas que contengan un barnizado de aceite de linaza .

16.1.6 Se deberá escoger especialmente los adhesivos para garantizar el empleo de aquellos que sean impermeables, resistentes al crecimiento del moho y que no corran el riesgo de ser destruidos por insectos

16.1.7 Los tornillos, las tuercas, pasadores, etc. serán basados con cadmio, zinc, cromo o si esto no es posible por limitaciones de tolerancias, se protegerán en forma adecuada con parafina,

cera, laca, etc.

## 16.2 Embalaje

16.2.1 El fabricante preparará, embalará y cargará los equipos y materiales para el transporte y será el responsable por cualquier daño que resulte de un embalaje inapropiado hasta la recepción.

16.2.2 Se embalarán las piezas en cajas con las eslingas a las piezas saliendo de la caja, cuando sea peligroso amarrar las eslingas directamente a la caja.

Se deberá proteger adecuadamente todas aquellas piezas que permanezcan en el sitio, almacenados a la intemperie durante cierto tiempo.

16.2.3 Cuando resulte necesario, las partes pesadas irán montadas sobre trineos o encajonados y los materiales que puedan perderse deben ir en cajones o en paquetes armados con flejes.

16.2.4 Las cajas que deban permanecer paradas se marcarán con flechas, señalando en lado que debe quedar hacia arriba.

16.2.5 Las partes mecánicas delicadas, que puedan sufrir daños por la humedad, se embalarán en envolturas selladas plásticas o de otro material apropiado, dentro de sus respectivos cajones.

16.2.6 Cada bulto se marcará claramente con el nombre de la instalación a la cual está destinado. Los cajones estarán claramente marcados y el contenido a la cual está destinado.

## 16.3. Transporte

### 16.3.1 Preparación para traslados

Todas las superficies del equipo deberán ser preparadas para el embarque (aéreo, marítimo o terrestre cuando corresponda).

En particular, las superficies metálicas maquinadas que no se pinten, serán cubiertas con capa protectora. Esta capa resistirá la exposición en especial al aire marino o la humedad ambiente y podrá retirarse a la llegada del material a destino.

ANEXO 1

EJEMPLO PRACTICO DE DISEÑO Y CALCULO  
DE UNA TURBINA MICHELL BANKI

El presente anexo tiene por objeto ilustrar, a través de un ejemplo, el proceso de diseño y cálculo de una Turbina Michell Banki para un proyecto específico de una pequeña central hidroeléctrica.

En el proyecto hidroeléctrico seleccionado se realizó un estudio de evaluación de recursos, donde se indica que el salto que puede aprovechar la central es de 40 metros y que el caudal mínimo anual que puede captar la central es de 1,5 m<sup>3</sup>/seg, de acuerdo a una variación de caudal similar a la indicada en la figura No. 1A.

El estudio de evaluación de demanda determinó un crecimiento de la misma similar a la indicada en la figura No. 2A, siendo la demanda máxima diaria inicial de 80 kW y alcanzando una potencia máxima diaria de 400 kW a los 25 años. Además se ha considerado que el diagrama de carga posee un factor de carga igual a 0,43.

Con estos datos se determinó que en la central convenía instalar dos unidades, debido a que la potencia máxima diaria inicial (80 kW) era un 20% de la potencia máxima final de la central (400).

La selección del tipo de turbina se realizó primeramente con el auxilio de la Figura No. 1 considerando un salto de 40 metros y caudal de 1,5 m<sup>3</sup>/seg, resultando posible el uso de turbinas Michell Banki o Francis. Posteriormente con el auxilio de los diagramas de carga para la central completa y para una unidad de 200 kW que se muestran en la figura 3A, y de la Figura No. 2 se determinó que la turbina Michell Banki posee mejor eficiencia media que la obtenida con Turbina Francis como se indica en la figura 4A. Con este análisis y considerando que la Turbina Michell Banki se fabrica con un menor costo que la Turbina Francis, se seleccionaron para este proyectos dos unidades de Turbinas Michell Banki.

Con estos parámetros se inició el diseño de la Turbina Michell Banki determinando su potencia al freno, para lo cual se utilizó la formula:

$$P_T = \frac{P_g}{\eta_g \eta_{tr}}$$

en donde:

$P_g$  es la potencia máxima que el generador entrega al sistema eléctrico, o sea 300 kW.

$\eta_g$  es la eficiencia de un generador de 200 kW, igual a 93%.

$\eta_{tr}$  es la eficiencia de transmisión, considerando un sistema de bandas, o sea 95%.

Reemplazando valores se obtuvo una potencia al freno de la turbina de 226,4 kW.

CAUDAL

VARIACION ANUAL DEL CAUDAL

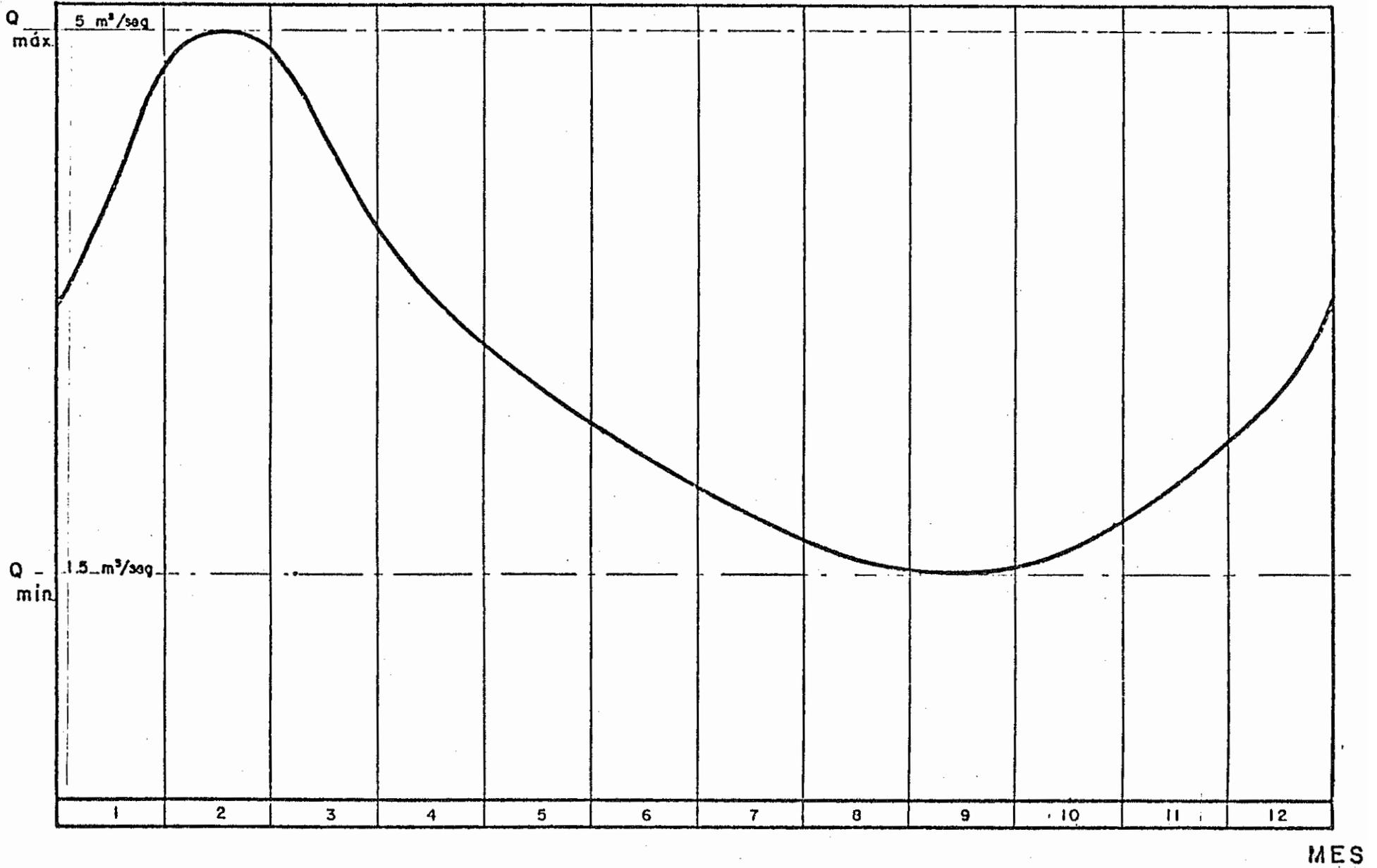
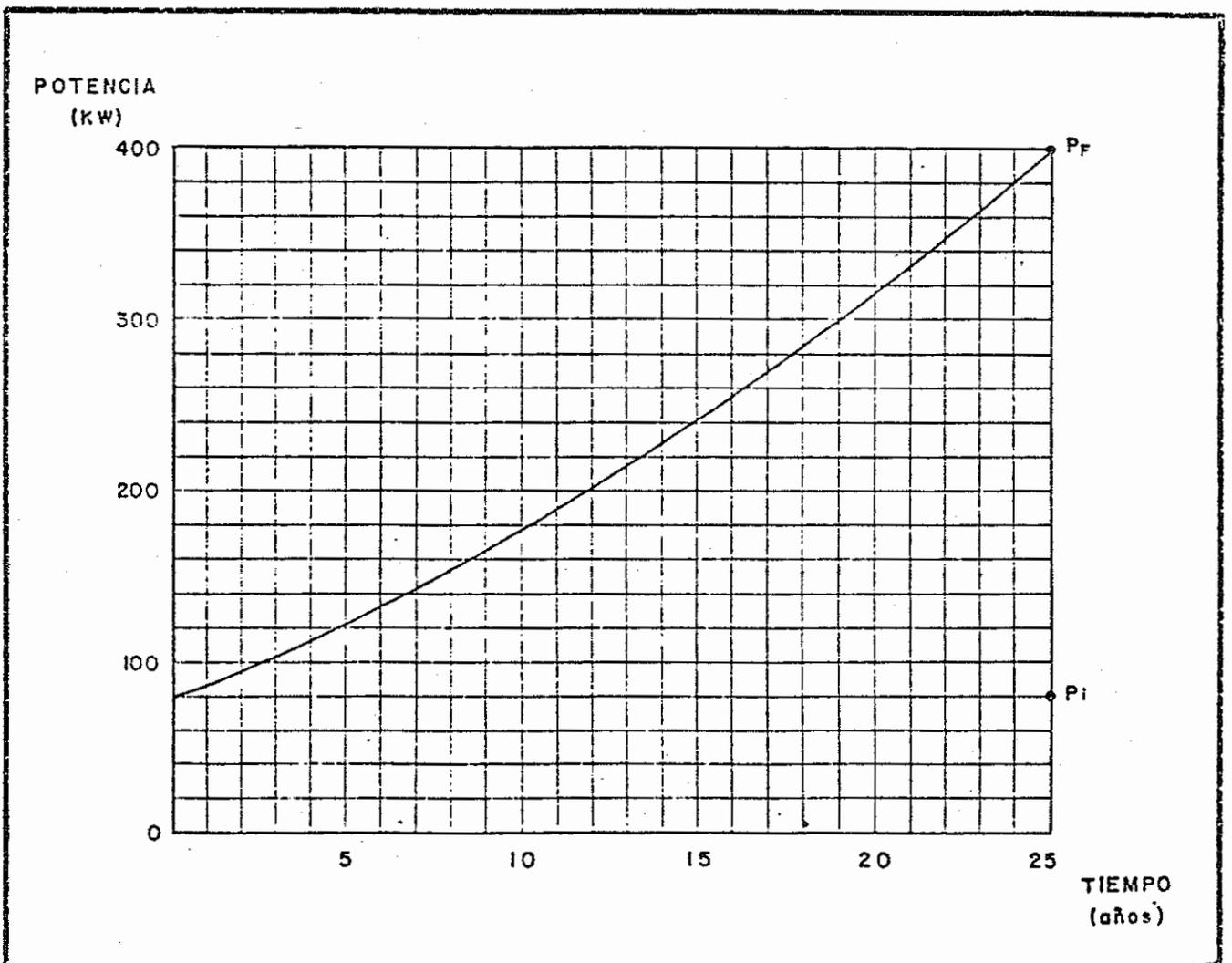


FIGURA Nº 1A



PROYECCION DE LA DEMANDA

FIGURA Nº 2A

# DIAGRAMA DE CARGA

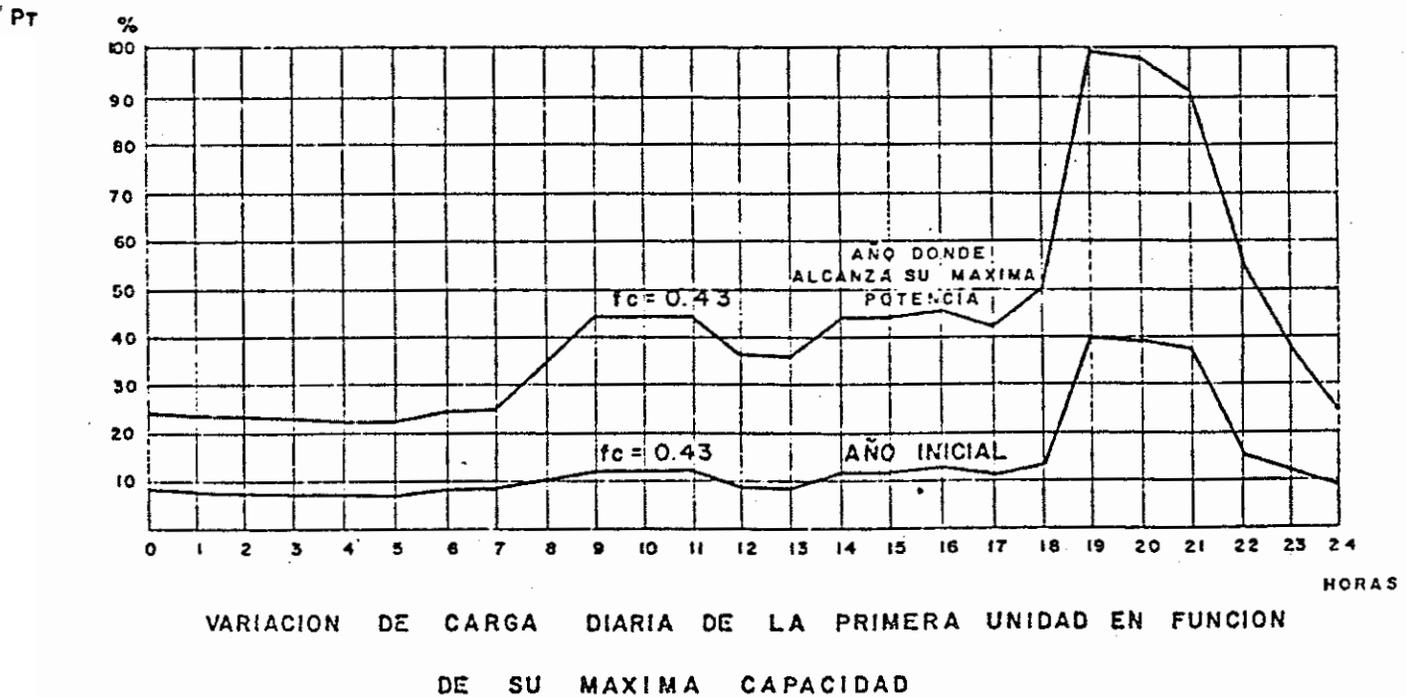
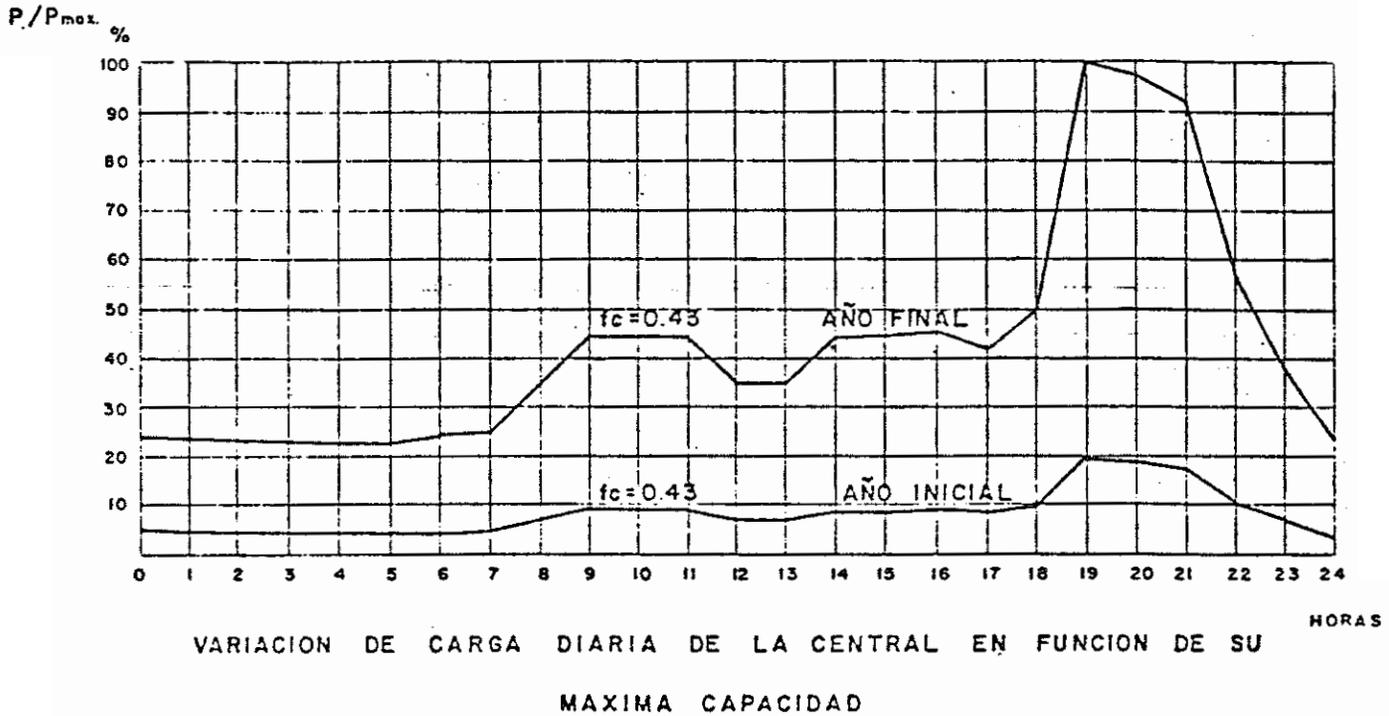
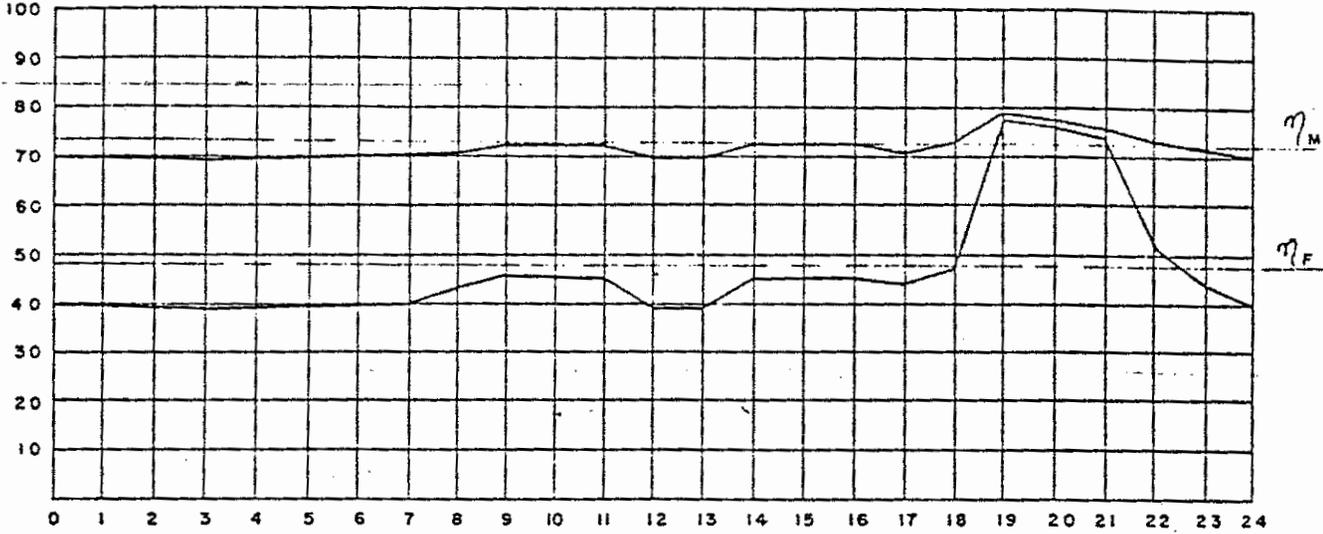


FIGURA N° 3A

EFICIENCIA

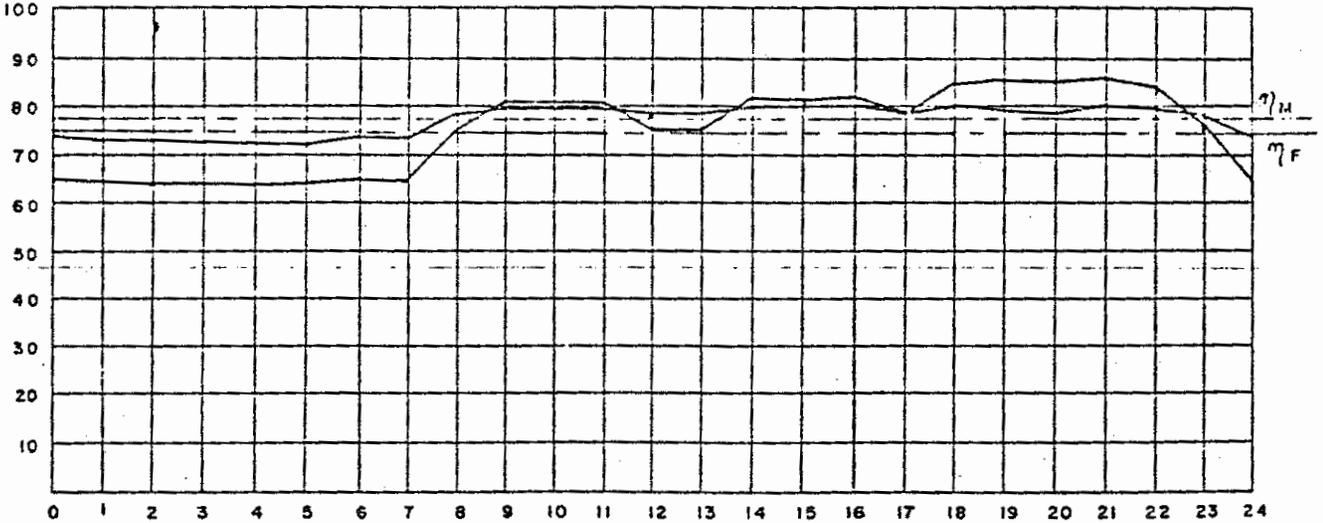
$\eta$  %



HORAS

EFICIENCIA

$\eta$  %



HORA

EFICIENCIA DE LAS TURBINAS MICHELL BANKI Y FRANCIS EN  
FUNCION DEL DIAGRAMA DE CARGA PARA LA PRIMERA UNIDAD

FIGURA N° 4A

Con esta potencia se determina el caudal de diseño, el que se obtiene con la fórmula:

$$Q = \frac{P_T}{9,807 H \eta_T}$$

Sustituyendo el valor del salto  $H = 40$  metros; la eficiencia a plena carga de la turbina 78% y la potencia al freno, se obtuvo un caudal máximo de  $0,740 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

El número óptimo de revoluciones con que debe girar la turbina, se determinó aplicando la fórmula:

$$N = \frac{39,85 H^{1/2}}{D_e}$$

En este caso se asume un diámetro de rodete de  $0,3$  metros y reemplazando valores en la fórmula, se obtiene un número óptimo de revoluciones de  $840 \text{ RPM}$ .

Realizando una comprobación de la aplicación de la Turbina Mitchell Banki, se calcula el número específico de revoluciones.

$$Nq = N \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

Resultando  $Nq = 26$ , valor que está comprendido dentro del rango de aplicación de la Turbina Mitchell Banki.

Con el valor del diámetro de rodete supuesto, se determina la geometría del rodete e inyector, para lo cual es necesario determinar el ancho del inyector con la fórmula práctica.

$$B = \frac{0,96 Q}{D_e \sqrt{H}}$$

Resultado un ancho de inyector de  $0,375$  metros.

Considerando para el diseño de la turbina un inyector con dos compartimentos, donde uno de ellos posea un ancho igual a la mitad del otro, se obtiene que uno de los compartimentos tendría una dimensión de  $125 \text{ mm}$  y el otro de  $250 \text{ mm}$ .

Para comprobar si el eje del álabe directriz soporta los esfuerzos que se presenten en el compartimento más ancho, se procede a calcular el torque máximo requerido para la regulación de caudal. Para lo cual se utiliza la fórmula:

$$T = 31 D_e Q \sqrt{H}$$

En este caso el caudal Q corresponde al caudal que fluye por el compartimento más ancho, o sea:

$$Q = 2/3 (0,740) = 0,493 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

luego el torque máximo de accionamiento sería igual a 29 kg-m

Calculado el torque máximo de accionamiento del álabe directriz se procede a verificar los esfuerzos mecánicos a los que estarán sometidos el eje del álabe directriz. Para esto se tomó como material bronce al aluminio con esfuerzo de fluencia  $S_y = 30 \text{ kg/mm}^2$  según tabla No. 3) y se tomó como diámetro de eje (0,038 metros) que es el máximo permitido para un inyector con diámetro de rodete de 0,3 metros.

Luego el esfuerzo que se presenta en el eje S se determina:

$$S = \frac{16 T}{\pi d_i^3}$$

Reemplazando datos tenemos:

$$S = \frac{(16) (29)}{\pi (0,038)^3} = 2,7 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$$

Luego:

$$S = 2,7 \text{ kg/mm}^2$$

El esfuerzo de diseño del material sería

$$S_d = 0,2 S_y = 6 \text{ kg/mm}^2 > S \text{ lo cual es correcto.}$$

Con esta comprobación quedó definido el diámetro de rodete y los anchos de los compartimentos del inyector. El resto de las dimensiones se obtienen de la tabla No. 2 y de las figuras 8a y 8b del volumen.

Con ayuda del Plano No. 12/34 del diseño de detalle de la turbina mostrada en el Anexo 2, se determina el ancho del rodete, resultando un valor de  $Br = 0,47$  metros.

Para el rodete se supuso un espesor de álabe igual a 0,003 metros, con lo cual se procedió a determinar el esfuerzo máximo al que estará sometido, utilizando la fórmula.

$$\sigma_{\max} = \frac{F Br c}{12 I_{gx}}$$

donde:

$$F = 46,5 Q \sqrt{H}$$

en este caso Q es el caudal máximo que fluye por la turbina. Luego la fuerza F tiene un valor de 217,6 kg.

De la tabla No. 4 se obtiene los valores del centro de giro y el momento de inercia I<sub>gx</sub>, con lo cual se obtiene un esfuerzo máximo de 2,245 kg/cm<sup>2</sup> o sea 22,45 kg/mm<sup>2</sup> que es superior al esfuerzo de fluencia del material (21 kg/mm<sup>2</sup>). En este caso será conveniente colocar un disco intermedio en el rodete a fin de disminuir este esfuerzo, con lo cual el ancho del rodete se divide en dos compartimentos siendo el ancho máximo del compartimento mayor, de 0,270 metros y en este caso el esfuerzo máximo sería de 12,91 kg/mm<sup>2</sup>.

El esfuerzo de diseño del material considerando flexión sería:

$$S_d = 0,66 S_y = (0,66) (21) = 13,86 \text{ kg/mm}^2$$

lo cual indica que el material está en condiciones de soportar el esfuerzo máximo de los álabes.

El siguiente paso consistió en calcular el diámetro del eje principal de la turbina, para lo cual se aplicó la fórmula de la ASME.

$$d^3 = \frac{16}{\pi S_d} \sqrt{(K_m M_{\max})^2 + (K_t T_{\max})^2}$$

donde:

$$M_{\max} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

siendo:

$$M_x = \frac{F_r \cdot a}{2}$$

$$M_y = \frac{P_r \cdot a}{2}$$

P<sub>r</sub> es el peso del rodete estimado en 20 kg

F<sub>r</sub> es la fuerza tangencial del rodete calculada por

$$F_r = \frac{1948 P}{N D_e}$$

resultando F<sub>r</sub> = 3063 kg.

En el caso de la turbina del ejemplo, se determinó "a" del diseño de detalle, siendo su valor de 0,15 metros.

Reemplazando datos, se obtiene un momento Mmax de 230 kg-m

El torque máximo se determinó con la fórmula:

$$T = \frac{974 P_T}{N}$$

resultando  $T = 459 \text{ kg-m}$

Con este valor se obtiene el diámetro del eje asumiendo un material con esfuerzo de fluencia SY igual a  $21 \text{ kg/mm}^2$ , con lo cual su esfuerzo de diseño sería:

$$S = 0,2 S_y = 4,2 \text{ kg/mm}^2$$

El diámetro del eje obtenido fue de aproximadamente 0,089 metros, escogiéndose el diámetro de 90 mm en la parte del rodamiento.

El escalonamiento del eje se realiza considerando el montaje del rodete y que la parte del eje que atraviesa el rodete posea una dimensión menor que

$$d = 0,328 D_e = 0,098 \text{ metros.}$$

Realizando un chequeo del eje por velocidad crítica se obtiene

$$N_{\text{crit}} = \frac{29,88}{y^{1/2}}$$

determinándose el valor de y con la fórmula:

$$y = \frac{W a^2}{6 EI} (3 l_0 - 4a)$$

de donde  $W = \sqrt{P_r^2 + F_r^2} = 3063 \text{ kgr}$

$$E = 2,1 \times 10^9 \text{ kg/m}^2$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi (0,090)^4}{64} = 3,2 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

resultando  $y = 6,098 \times 10^{-4} \text{ metros}$

Obteniendo una velocidad crítica de aproximadamente 1210 RPM lo cual es imposible de alcanzar con esta turbina. Esto demuestra que la dimensión del eje es correcta.

El siguiente paso consistió en la selección de los rodamientos, para lo cual se determinó la capacidad de base dinámica, C, con la fórmula:

$$C = (XFr + Fa) \left| \frac{60 N Lh}{10^6} \right|^p$$

En donde X se consideró igual a 1, la fuerza axial nula y el exponente p, igual a 3/10 por considerarse un rodamiento de rodillos.

La duración nominal de horas de funcionamiento se consideró en 200 000 horas.

La fuerza radial F se determinó en 1535 kg, con lo cual la capacidad de base dinámica C del rodamiento posee un valor de 20620 kg con lo cual en catálogos se obtiene SKF No. 23220 de rodillos a rótula.

Finalmente para concluir con el diseño mecánico de la turbina se determinó que la fuerza que actúa sobre la leva de regulación posee un valor de 285 kg, con lo cual se selecciona el rodamiento que rodará en las levas, SKF No. 6205 rígido de bolas.

El eje de levas se calcula con la fórmula:

$$d = \frac{16 a F}{\pi Sd}$$

En este caso, del diseño de detalle resulta  $a = 0,1$  metros, con lo cual el diámetro del eje tiene un valor de  $0,033$  metros, redondeándose a  $35$  mm para un eje con material cuyo esfuerzo de fluencia  $S_y = 21$  kg/mm<sup>2</sup>.

La etapa posterior a estos cálculos fue la de afinar el diseño de detalle de cada pieza de la turbina en base a los datos obtenidos.

Con lo cual se puede considerar concluido el proceso de cálculo y diseño de la Turbina Michell Bankí.

ANEXO 2

PLANOS DE DETALLE DE UNA TURBINA MICHELL BANKI

Este Anexo tiene como objeto mostrar los planos de detalle que conforma la Turbina Michell Banki, cuyo rango de aplicación se muestra en la Figura No. 15-1 de este Volumen.

El diseño de estas turbinas puede sufrir variaciones de acuerdo a los criterios del o los ingenieros y técnicos que diseñan la turbina. De igual forma la ingeniería de detalle podría ser modificada en base a las experiencias particulares que se tengan y también en base a la selección de una mejor alternativa de fabricación de cada pieza de la turbina.

De los Planos Nos. 1 al 34 se muestra una turbina de un solo álabe directriz y para una sola entrada. En estos planos se indica el subensamblaje y la ingeniería de detalle.

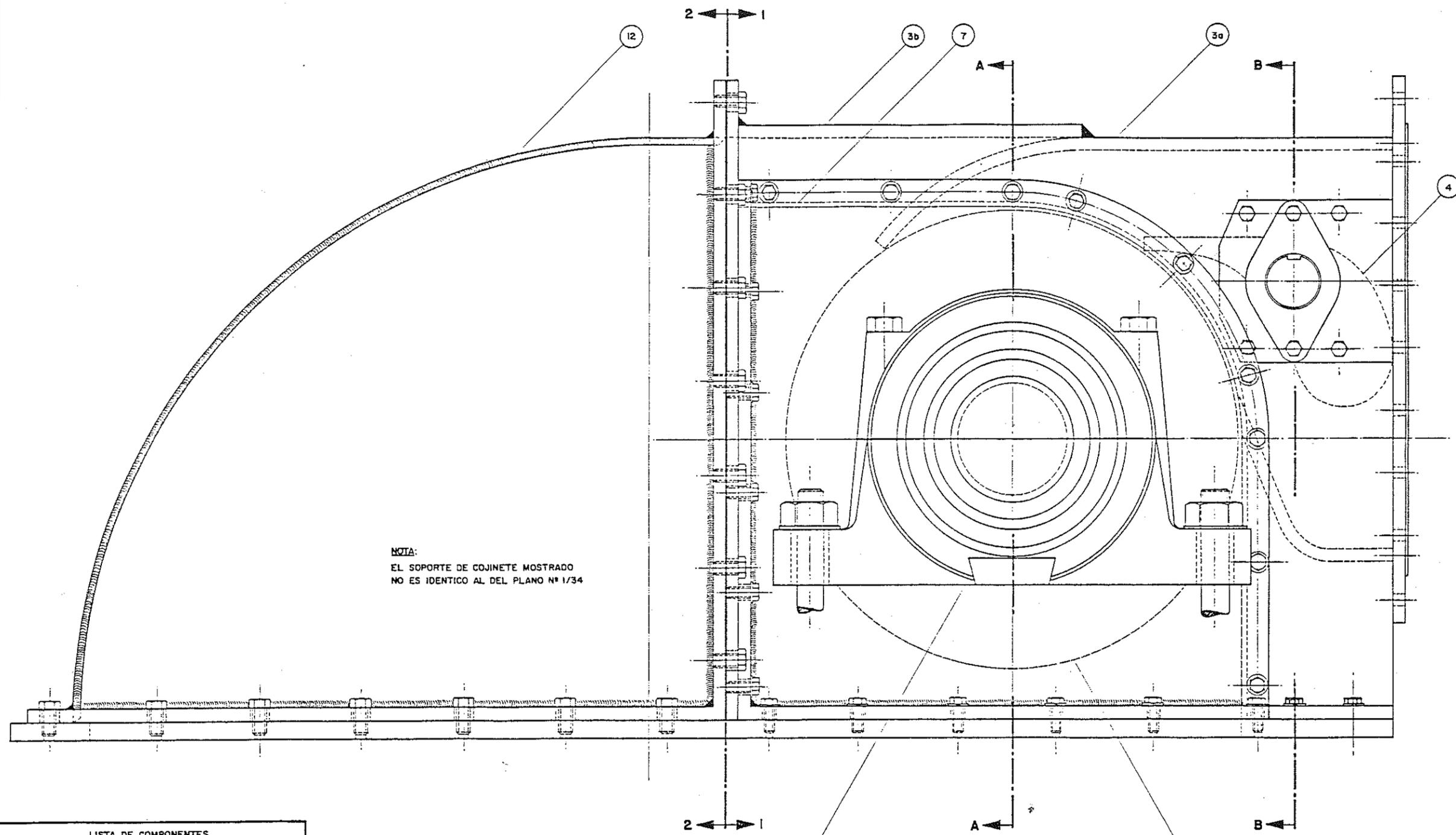
En los Planos Nos. 35 al 44 se indican el sistema del mecanismo de regulación de levas, para turbinas de doble álabe directriz, con doble entrada. Se muestra el ensamblaje, subensamblaje y la ingeniería de detalle.

**ANEXO 3**  
**CRONOGRAMA ESTIMATIVO**

En este anexo se presenta el cronograma estimativo en h.hombre del tiempo utilizado para la fabricación de una Turbina Michell Banki de doble entrada.





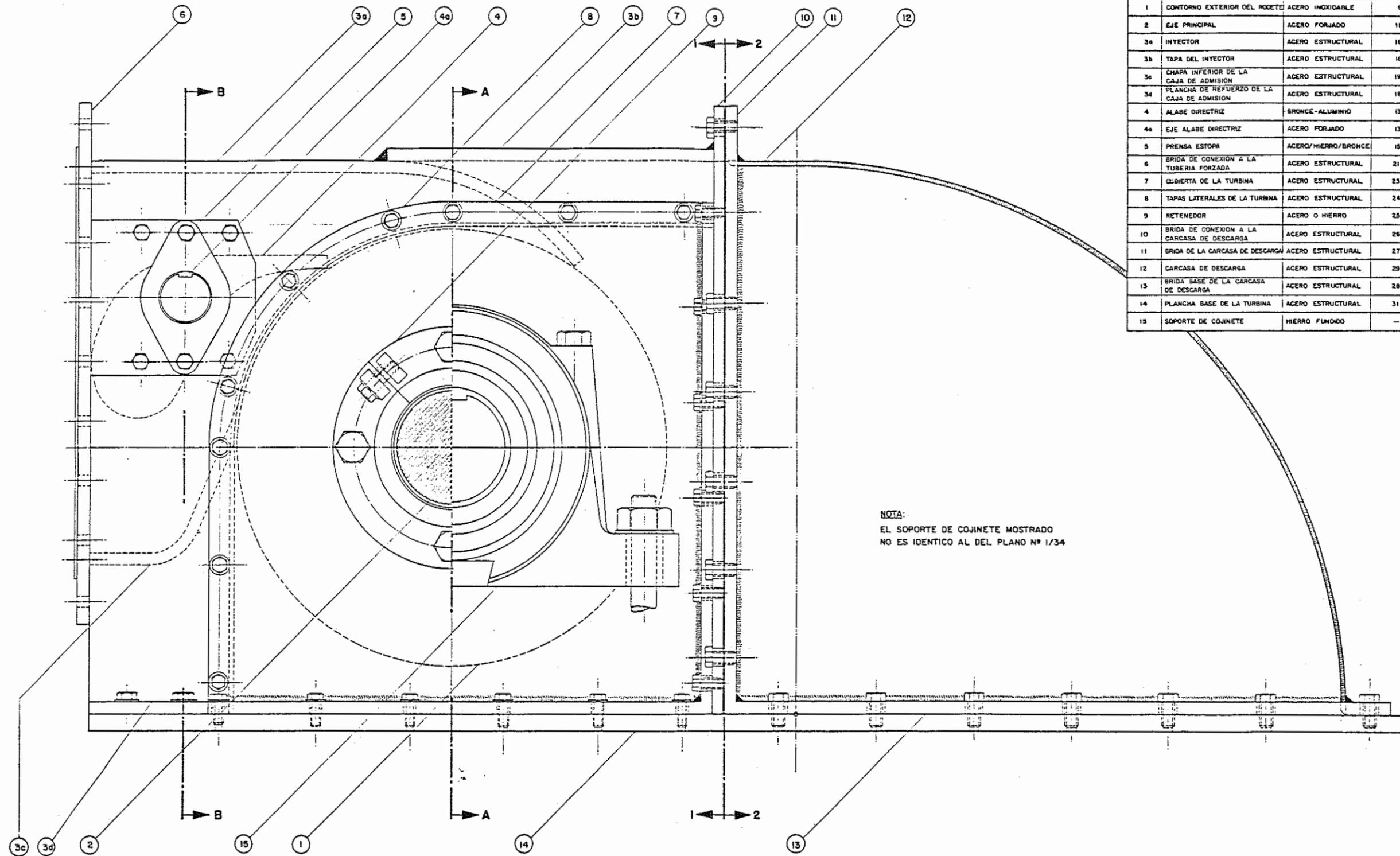


NOTA:  
EL SOPORTE DE COJINETE MOSTRADO  
NO ES IDENTICO AL DEL PLANO N° 1/34

**ENSAMBLAJE FINAL DE LA TURBINA  
ELEVACION LATERAL IZQUIERDA**

LISTA DE COMPONENTES			
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	VER PLANO N°
1	CONTORNO DEL RODETE	ACERO INOXIDABLE	6
3a	INYECTOR	ACERO ESTRUCTURAL	16
3b	TAPA DEL INYECTOR	ACERO ESTRUCTURAL	16
4	ALABE DIRECTRIZ	BRONCE-ALUMINIO	13
7	CUBIERTA DE LA TURBINA	ACERO ESTRUCTURAL	23
12	CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	29
15	SOPORTE DE COJINETE	HIERRO FUNDIDO	-

				ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA QUITO _____ ECUADOR		
FECHA	MODIFICACION T/O CORRECCION	REVISION	APROBACION	PLANO DE: <b>ENSAMBLAJE FINAL DE LA TURBINA ELEVACION LATERAL IZQUIERDA</b>		
SECRETARIA PERMANENTE DEPARTAMENTO TECNICO				DISEÑO: _____ ING. RAFAEL PRADO      HERMOGENES BAJANA      LEOJAN AMBUSTO TAMAZO		
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO				TECNICO: _____ TEC. DANIEL MESTRON      ING. RAFAEL PRADO      FECHA: _____ ESCALA: _____      APROBADO: _____      PLANO N°		
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO				2/34		



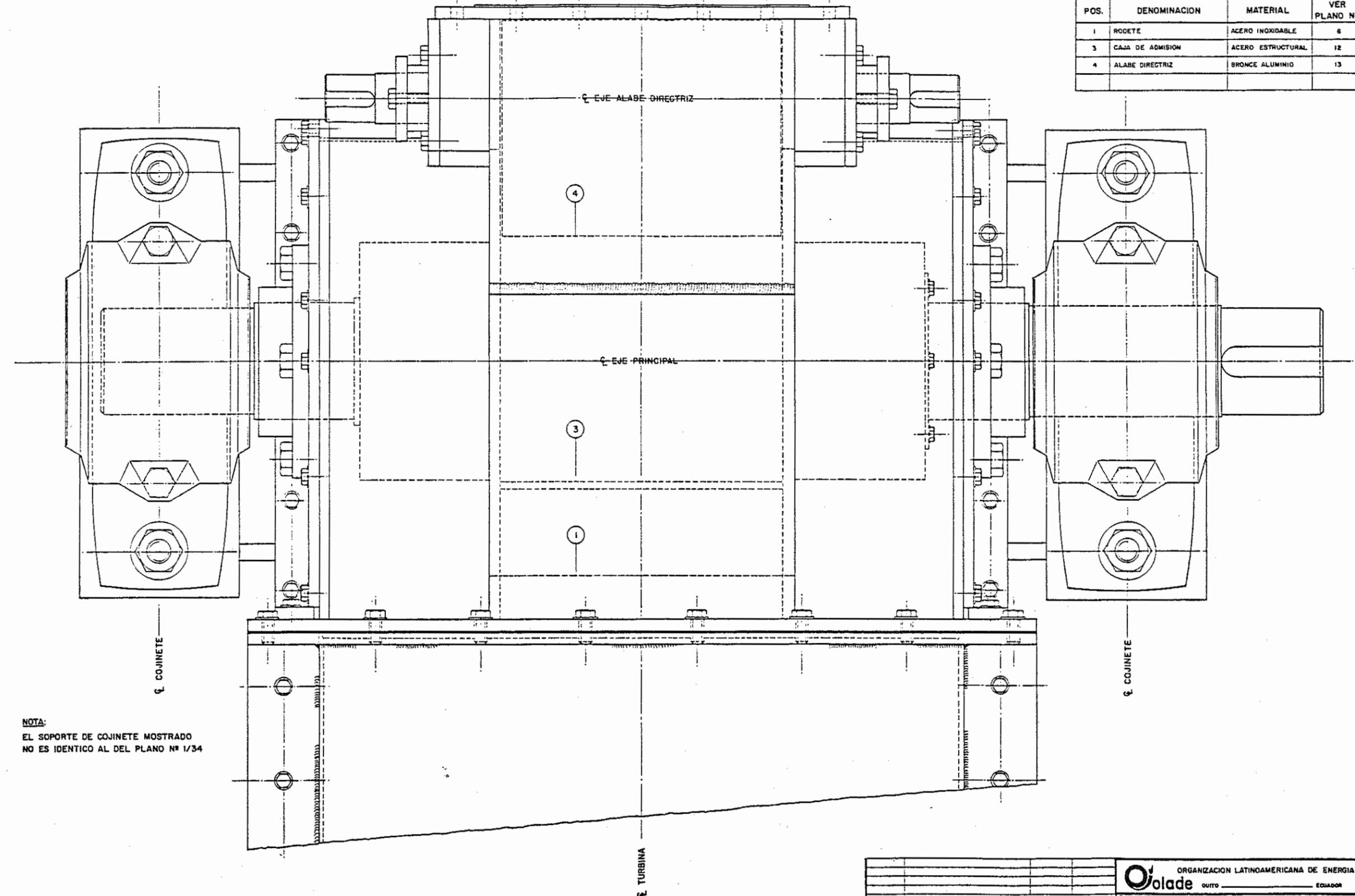
LISTA DE COMPONENTES			
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	VER PLANO N°
1	CONTORNO EXTERIOR DEL ROLETE	ACERO INOXIDABLE	6
2	EJE PRINCIPAL	ACERO FORJADO	11
3a	INYECTOR	ACERO ESTRUCTURAL	16
3b	TAPA DEL INYECTOR	ACERO ESTRUCTURAL	16
3c	CHAPA INFERIOR DE LA CAJA DE ADMISION	ACERO ESTRUCTURAL	19
3d	PLANCHA DE REFUERZO DE LA CAJA DE ADMISION	ACERO ESTRUCTURAL	18
4	ALABE DIRECTRIZ	BRONCE-ALUMINIO	13
4a	EJE ALABE DIRECTRIZ	ACERO FORJADO	13
5	PRESA ESTOPA	ACERO/HIERRO/BRONCE	15
6	BRIDA DE CONEXION A LA TUBERIA FORZADA	ACERO ESTRUCTURAL	21
7	CUBIERTA DE LA TURBINA	ACERO ESTRUCTURAL	23
8	TAPAS LATERALES DE LA TURBINA	ACERO ESTRUCTURAL	24
9	RETENEDOR	ACERO O HIERRO	25
10	BRIDA DE CONEXION A LA CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	26
11	BRIDA DE LA CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	27
12	CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	29
13	BRIDA BASE DE LA CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	28
14	PLANCHA BASE DE LA TURBINA	ACERO ESTRUCTURAL	31
15	SOPORTE DE COJINETE	HIERRO FUNDIDO	-

NOTA:  
EL SOPORTE DE COJINETE MOSTRADO  
NO ES IDENTICO AL DEL PLANO N° 1/34

**ENSAMBLAJE FINAL DE LA TURBINA  
ELEVACION LATERAL DERECHA**

SECRETARIA PERMANENTE		ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA	
DEPARTAMENTO TECNICO		QUITO - ECUADOR	
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO		PLANO DE: ENSAMBLAJE FINAL DE LA TURBINA	
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO		ELEVACION LATERAL DERECHA	
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION
DISEÑO: ING. RAFAEL PERDO	DIBUJO: HERNANDEZ BARRA	APROBADO: LGDO. AUGUSTO TANDAZO	
PROYECTO MECANICO	REVISADO:	FECHA:	
TEC. RAHIERI MESTRONI	ING. RAFAEL PERDO	PLANO N°	
ESCALA:	APROBADO:		
	ING. ROLANDO BARRA		3/34

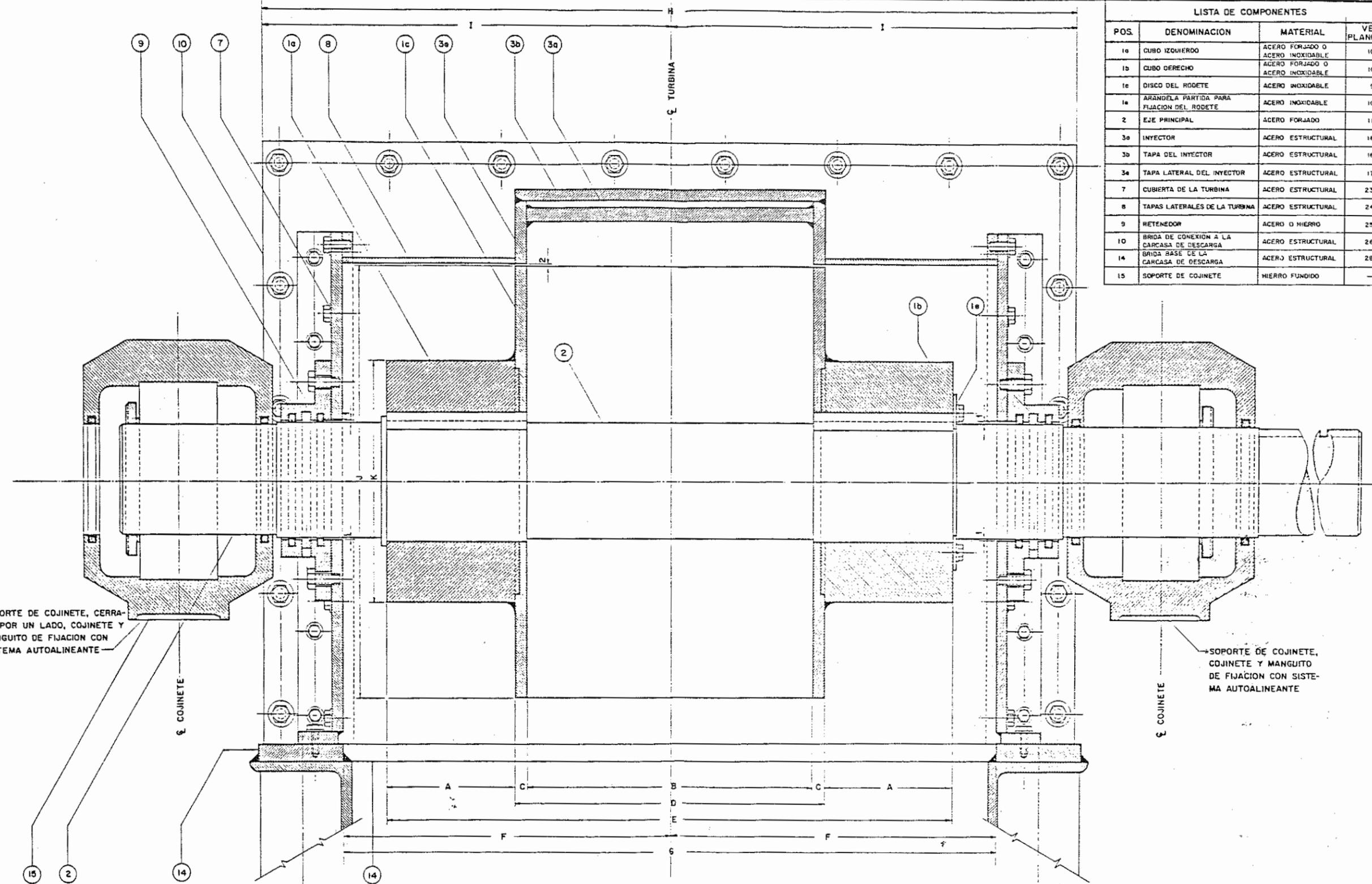
LISTA DE COMPONENTES			
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	VER PLANO Nº
1	RODETE	ACERO INOXIDABLE	6
3	CAJA DE ADMISION	ACERO ESTRUCTURAL	12
4	ALABE DIRECTRIZ	BRONCE ALUMINIO	13



NOTA:  
EL SOPORTE DE COJINETE MOSTRADO  
NO ES IDENTICO AL DEL PLANO Nº 1/34

**ENSAMBLAJE FINAL DE LA TURBINA  
VISTA DE PLANTA**

SECRETARIA PERMANENTE		ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA	
DEPARTAMENTO TECNICO		QUITO _____ ECUADOR	
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO		PLANO DE: ENSAMBLAJE FINAL DE LA TURBINA	
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO		VISTA DE PLANTA	
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION
DISEÑO	PROYECTO	REVISADO	APROBADO
ING. RAFAEL PARDO	ING. RAFAEL PARDO	ING. RAFAEL PARDO	LCDR. ANIBERTO TINOCO
TEC. RAMÓN WESTROM	ING. RAFAEL PARDO		PLANO Nº
ESCALA			4/34
		ING. ROLANDO SIBAO	



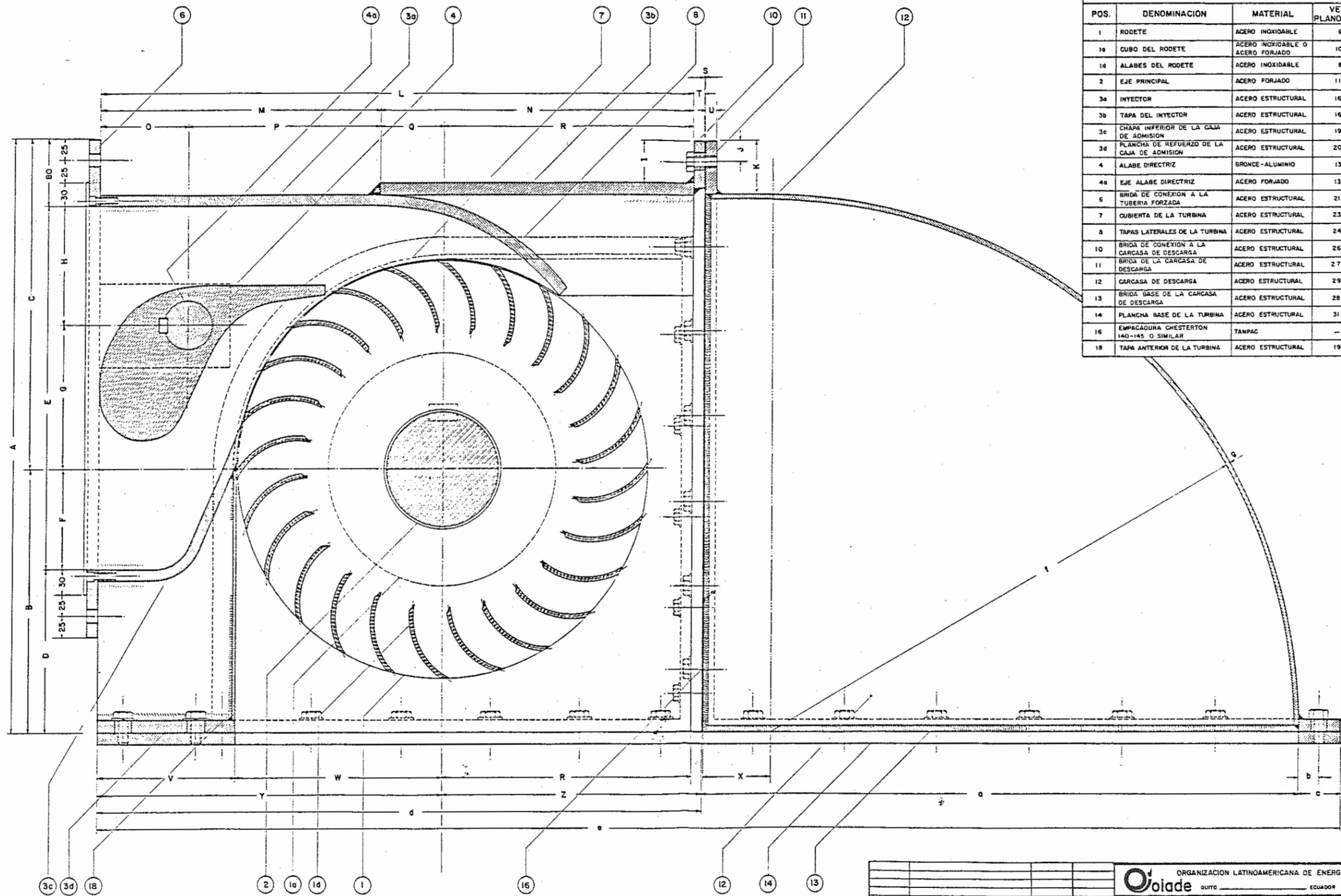
LISTA DE COMPONENTES			
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	VER PLANO N°
1a	CUBO IZQUIERDO	ACERO FORJADO O ACERO INOXIDABLE	10
1b	CUBO DERECHO	ACERO FORJADO O ACERO INOXIDABLE	10
1c	DISCO DEL RODETE	ACERO INOXIDABLE	9
1d	ARANDELA PARTIDA PARA FIJACION DEL RODETE	ACERO INOXIDABLE	10
2	EJE PRINCIPAL	ACERO FORJADO	11
3a	INYECTOR	ACERO ESTRUCTURAL	16
3b	TAPA DEL INYECTOR	ACERO ESTRUCTURAL	16
3c	TAPA LATERAL DEL INYECTOR	ACERO ESTRUCTURAL	17
7	CUBIERTA DE LA TURBINA	ACERO ESTRUCTURAL	23
8	TAPAS LATERALES DE LA TURBINA	ACERO ESTRUCTURAL	24
9	RETENEDOR	ACERO O HIERRO	25
10	BRIDA DE CONEXION A LA CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	26
14	BRIDA BASE DE LA CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	28
15	SOPORTE DE COJINETE	HIERRO FUNDIDO	-

SOPORTE DE COJINETE, CERRADO POR UN LADO, COJINETE Y MANGUITO DE FIJACION CON SISTEMA AUTOALINEANTE

SOPORTE DE COJINETE, COJINETE Y MANGUITO DE FIJACION CON SISTEMA AUTOALINEANTE

SECCION "A-A" - VISTA DEL RODETE, EJE PRINCIPAL, RETENEDOR Y CARCASA

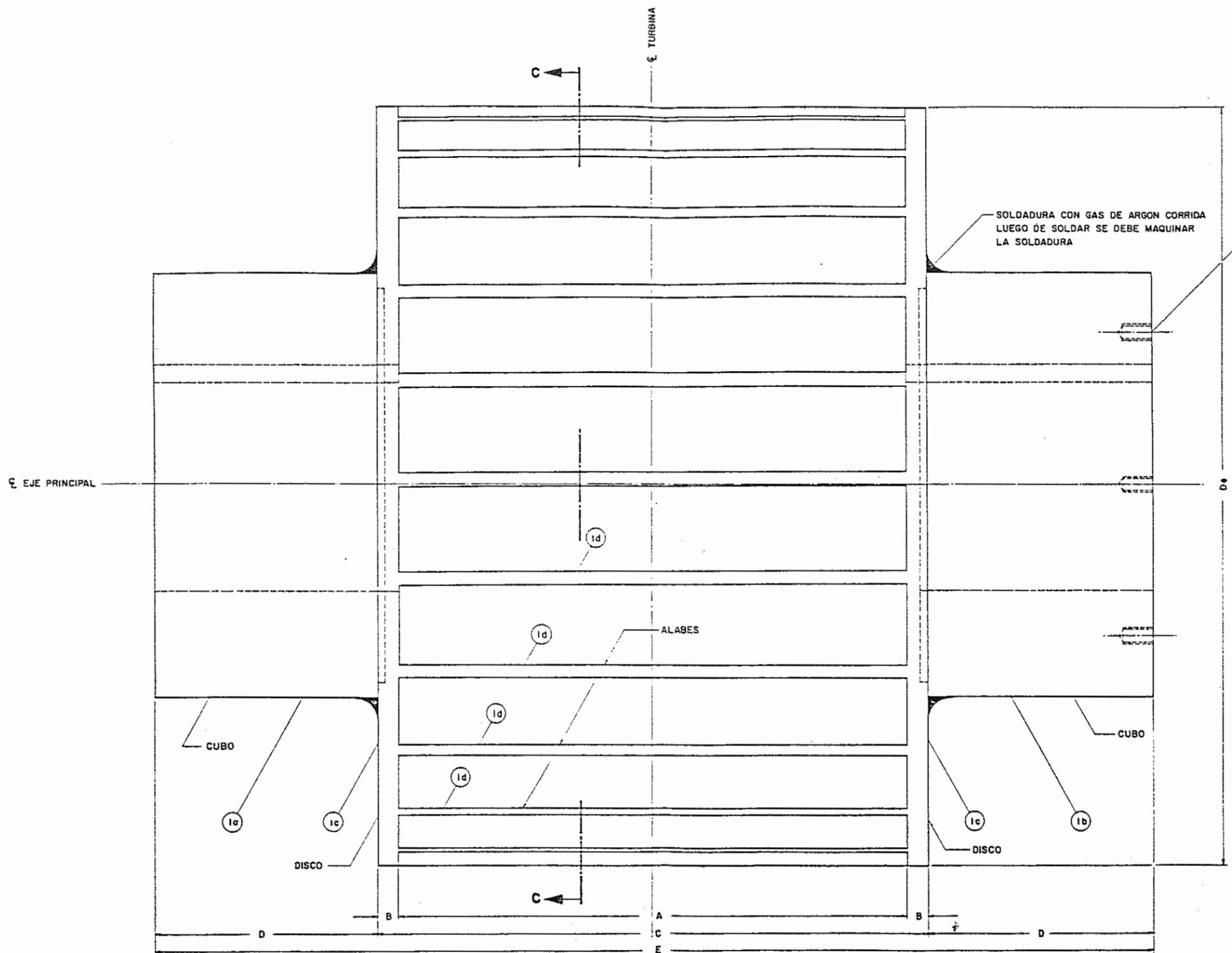
ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA QUITO, ECUADOR			
PLANO DE: SECCION "A-A" - VISTA DEL RODETE, EJE PRINCIPAL, RETENEDOR Y CARCASA			
SECRETARIA PERMANENTE DEPARTAMENTO TECNICO	INGENIERO: ING. RAFAEL PARDO	DISEÑADOR: HERMOGENES BALMA	APROBADO: LEO ANIBERTO YANGAZO
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO	INGENIERO MECANICO: ING. RAFAEL PARDO	INGENIERO: ING. RAFAEL PARDO	FECHA:
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO	ESCALA:	APROBADO:	PLANO N°:



LISTA DE MATERIALES			
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	VER PLANO N°
1	RODETE	ACERO INOXIDABLE	6
10	CUBO DEL RODETE	ACERO INOXIDABLE O ACERO FORJADO	10
14	ALABES DEL RODETE	ACERO INOXIDABLE	8
2	EJE PRINCIPAL	ACERO FORJADO	11
3a	INYECTOR	ACERO ESTRUCTURAL	16
3b	TAPA DEL INYECTOR	ACERO ESTRUCTURAL	16
3c	CHAPA INFERIOR DE LA CAJA DE ADMISION	ACERO ESTRUCTURAL	19
3d	PLANCHA DE REFUERZO DE LA CAJA DE ADMISION	ACERO ESTRUCTURAL	20
4	ALABE DIRECTRIZ	BRONCE-ALUMINIO	13
4a	EJE ALABE DIRECTRIZ	ACERO FORJADO	13
6	BRIDA DE CONEXION A LA TUBERIA FORZADA	ACERO ESTRUCTURAL	21
7	CUBIERTA DE LA TURBINA	ACERO ESTRUCTURAL	23
8	TAPAS LATERALES DE LA TURBINA	ACERO ESTRUCTURAL	24
10	BRIDA DE CONEXION A LA CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	26
11	BRIDA DE LA CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	27
12	CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	29
13	BRIDA BASE DE LA CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	28
14	PLANCHA BASE DE LA TURBINA	ACERO ESTRUCTURAL	31
16	EMPAQUADURA CHESTERTON 140-145 O SIMILAR	TANPAC	-
18	TAPA ANTERIOR DE LA TURBINA	ACERO ESTRUCTURAL	19

ENSAMBLAJE FINAL DE LA TURBINA  
SECCION LONGITUDINAL

				ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA QUITO ECUADOR	
SECRETARIA PERMANENTE DEPARTAMENTO TECNICO				PLANO DE: ENSAMBLAJE FINAL DE LA TURBINA SECCION LONGITUDINAL	
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO				DISEÑO: ING. RAFAEL PARDO REVISADO: HERMOGENES BAJANA APROBADO: LDO. ANASTO TANGAZO	
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO				FECHA: _____ ESCALA: 3/4 6/34	

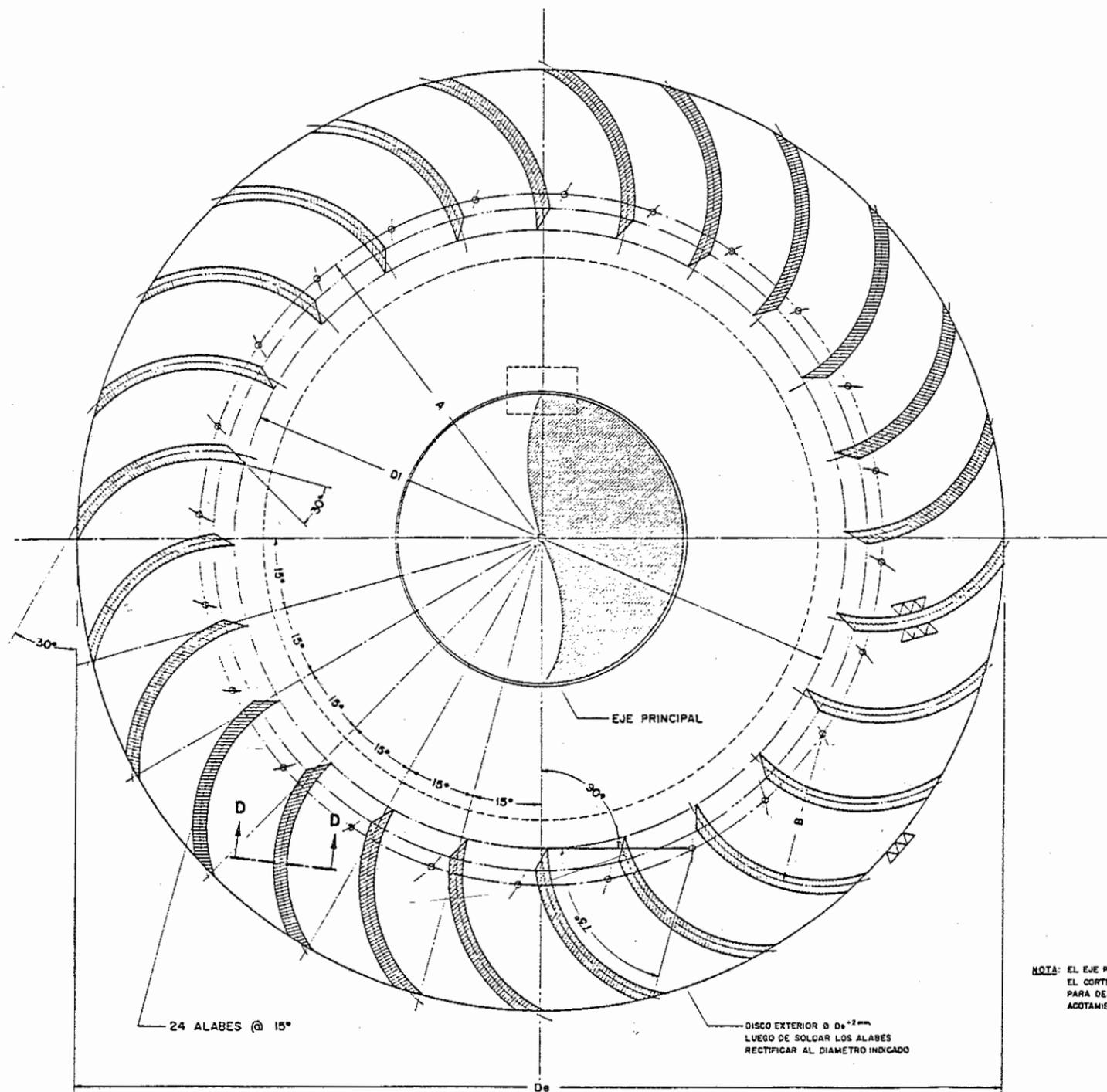


4 AGUJEROS ROSCADOS PARA FIJACION DE LA ARANDELA PARTIDA. VER UBICACION EN LA SECCION TRANSVERSAL "A-A" - PLANO N° 5 PARA DETALLE DE FABRICACION VER PLANO N° 10 DETALLE N° 1e

NOTA:  
DESPUES DE FABRICADO EL RODETE, SE DEBE BALANCEAR ESTATICA Y DINAMICAMENTE

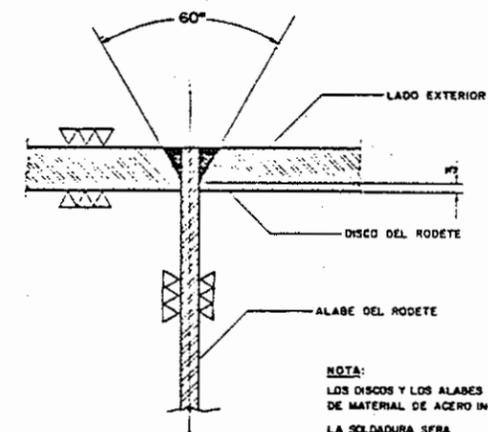
PIEZA N° 1 - SUB-ENSAMBLAJE DEL RODETE - ELEVACION FRONTAL

				ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA	
				OLADE	
				QUITO - ECUADOR	
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION	PLANO DE: PIEZA N° 1 - SUB-ENSAMBLAJE: RODETE - ELEVACION FRONTAL	
SECRETARIA PERMANENTE DEPARTAMENTO TECNICO				ING. RAFAEL PARDO	
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO				ING. RAFAEL PARDO	
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO				ING. RAFAEL PARDO	
				7/34	



**SECCION "C-C" - CORTE TRANSVERSAL DEL RODETE**  
 MATERIAL: ACERO INOXIDABLE

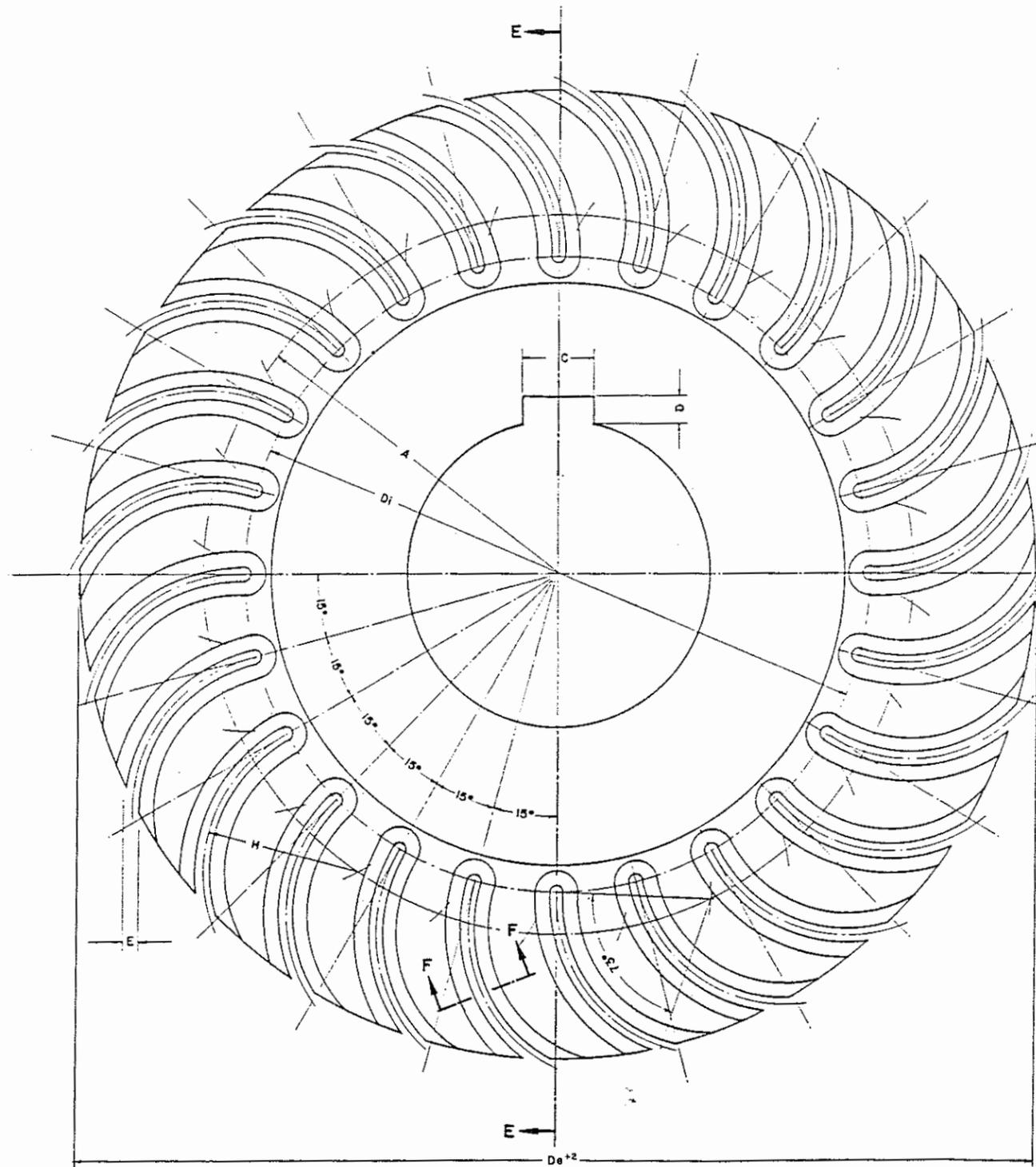
NOTA: EL EJE PRINCIPAL SE INDICA EL CORTE EN FORMA PARCIAL, PARA DEJAR LUGAR A LOS ACOTAMIENTOS.



**SECCION "D-D"**

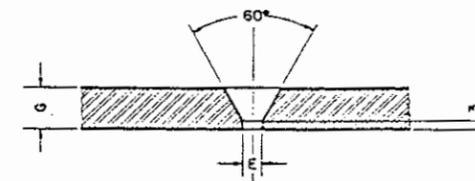
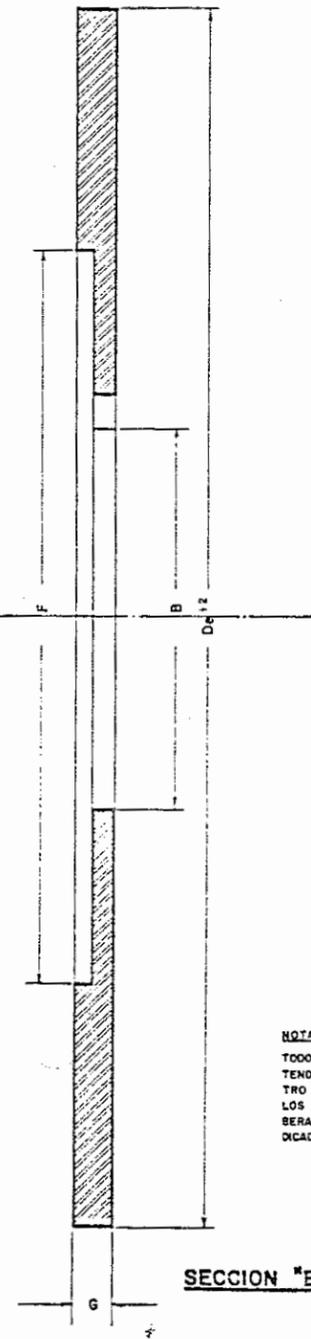
NOTA:  
 LOS DISCOS Y LOS ALABES SERAN DE MATERIAL DE ACERO INOXIDABLE.  
 LA SOLDADURA SERA PREFERIBLEMENTE DE GAS DE ARGON  
 LOS 3mm. INDICADOS SERVIRAN DE GUIA PARA LA COLOCACION DE ALABES, LA DIMENSION RESTANTE SE MARA CON UNA PRESA A 60°, LO CUAL SERVIRA PARA LA SOLDADURA.  
 EL ACABADO DE LOS ALABES Y DE LOS DISCOS SERA PULIDO.

				ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA	
				<b>Olade</b> QUITO _____ ECUADOR	
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION	PLANO DE: SECCION "C-C"	
SECRETARIA PERMANENTE DEPARTAMENTO TECNICO				CORTE TRANSVERSAL DEL RODETE	
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO				ING. RAFAEL PARDO	ING. RAFAEL PARDO
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO				ING. RAMIERI MESTRONI	ING. RAMIERI MESTRONI
				ING. ROLANDO GIRARD	ING. ROLANDO GIRARD
				3/E	8/34



**PIEZA Nº 1c-DETALLE DEL DISCO DEL RODETE-VISTA EXTERIOR**

CANTIDAD: 2 PIEZAS (1 DERECHA-IZQUIERDA)  
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE



**SECCION "F-F"**

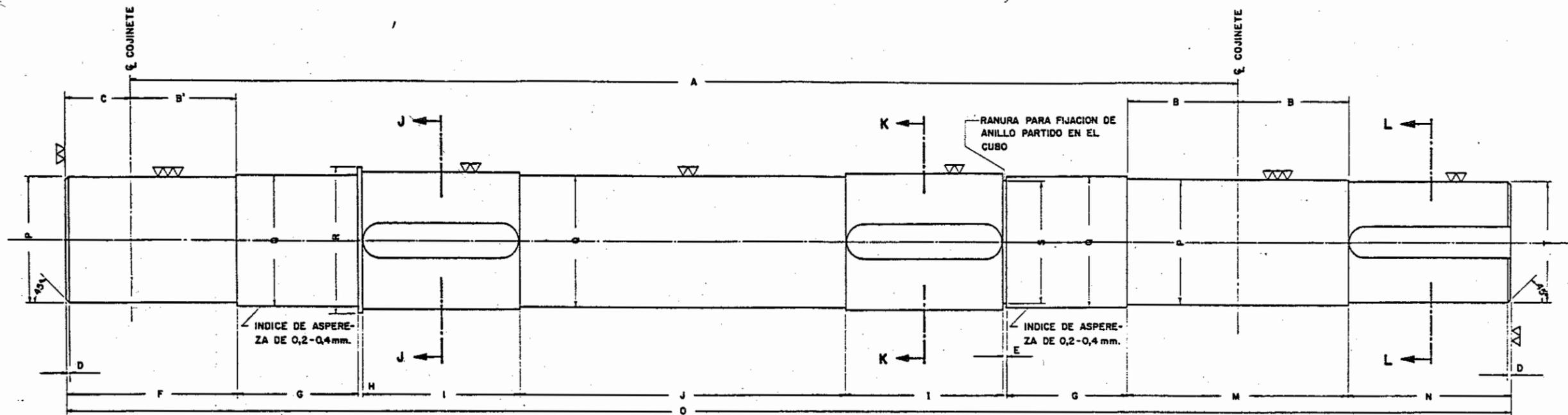
**NOTA:**  
LOS DISCOS Y LOS ALABES SERAN DE MATERIAL DE ACERO INOXIDABLE.  
LAS SOLDADURAS PARA ACERO INOXIDABLE SERAN PREFERIBLEMENTE DE GAS DE ARGON. LOS 3 mm. INDICADOS SIRVEN DE GUIA PARA LA COLOCACION DE LOS ALABES, EL RESTO SERA PARA SOLDADURA. HACER LA RANURA CON FRESA CONICA RECTA.  
DESPUES DE SOLDADOS LOS 24 ALABES, SE REFRENTARA EN EL TORNO AMBOS DISCOS TENIENDO CUIDADO QUE AMBOS ESPESORES SEAN IGUALES.  
EL ACABADO DE LOS DISCOS Y DE LOS ALABES SERA PULIDO.  
DESPUES DE TERMINADO EL RODETE DEBE SER BALANCEADO ESTATICA Y DINAMICAMENTE.

**NOTA:**  
TODOS LOS DISCOS DE LOS RODETES TENDRAN UN EXCESO EN EL DIAMETRO + 2 mm. LUEGO DE SOLDADOS LOS CUBOS Y LOS ALABES SE DEBERA RECTIFICAR AL DIAMETRO INDICADO.

**SECCION "E-E"**

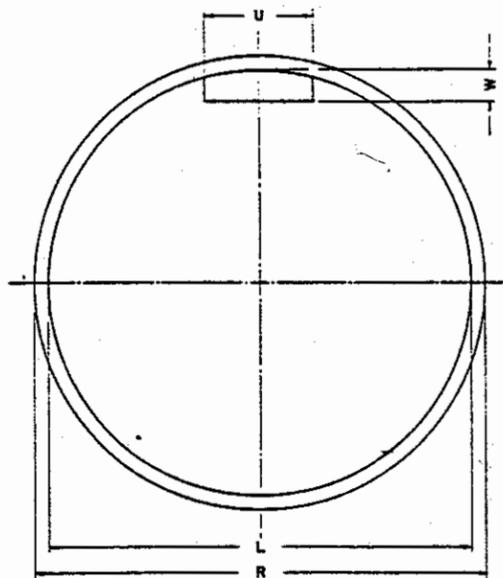
				ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA	
				<b>Olade</b> QUITO _____ ECUADOR	
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION	PLANO DE: PIEZA Nº 1c	
SECRETARIA PERMANENTE DEPARTAMENTO TECNICO				DETALLE DEL DISCO DEL RODETE-VISTA EXTERIOR	
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO				DISEÑO MECANICO: ING. RAFAEL PARDO	DISEÑO: HERMOGENES BAJAÑA
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO				PROYECTO MECANICO: TEC. RAMIERI MESTRON	APROBACION: ING. RAFAEL PARDO
				ESCALA: 5/E	FECHA: PLANO Nº 9/34



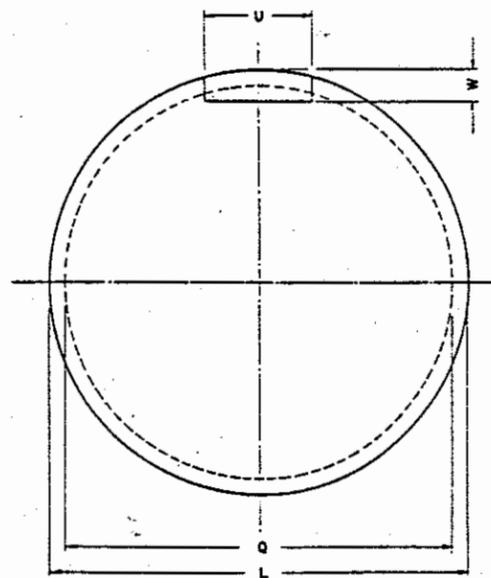


**PIEZA Nº 2-**  
**VISTA LONGITUDINAL DEL EJE PRINCIPAL**  
 MATERIAL: ACERO FORJADO.

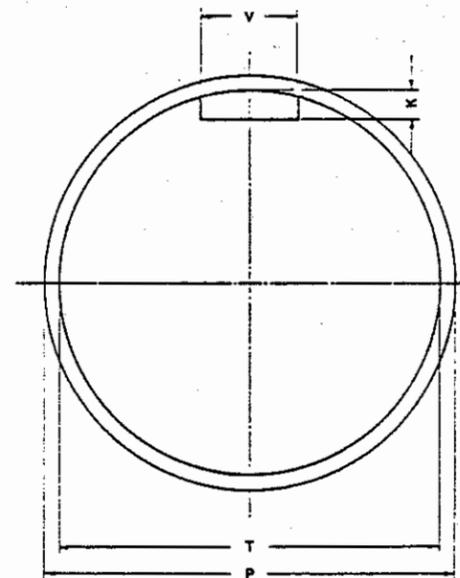
**NOTA:**  
 LAS DIMENSIONES F y M CORRESPONDEN AL COJINETE TIPO "FAG" OSCILANTES DE BOLAS, CON MANGUITO DE MONTAJE; SI SE TOMA OTRO TIPO, ENTONCES VARIAN F, M, A, B, B', C y D.



**SECCION "J-J"**

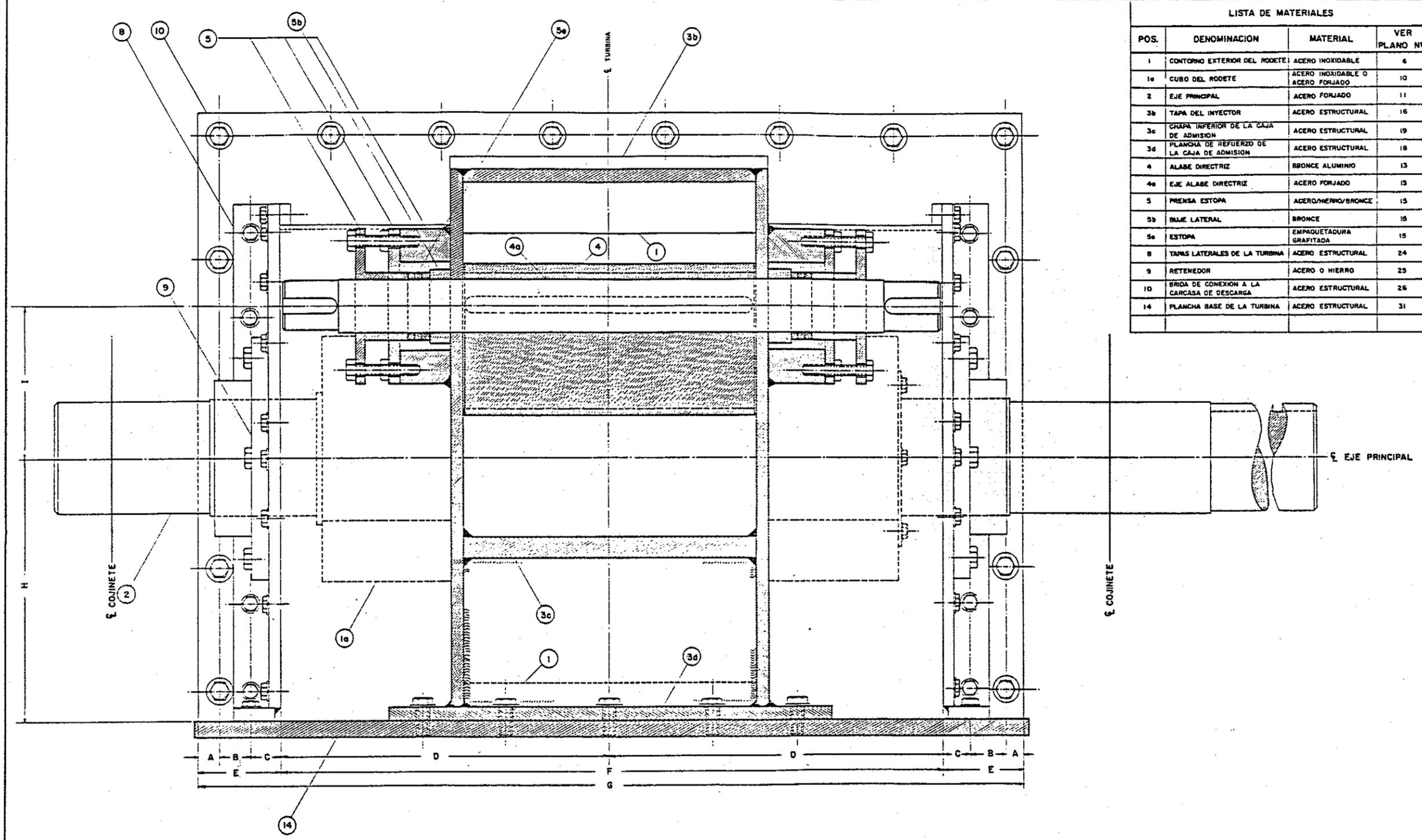


**SECCION "K-K"**



**SECCION "L-L"**

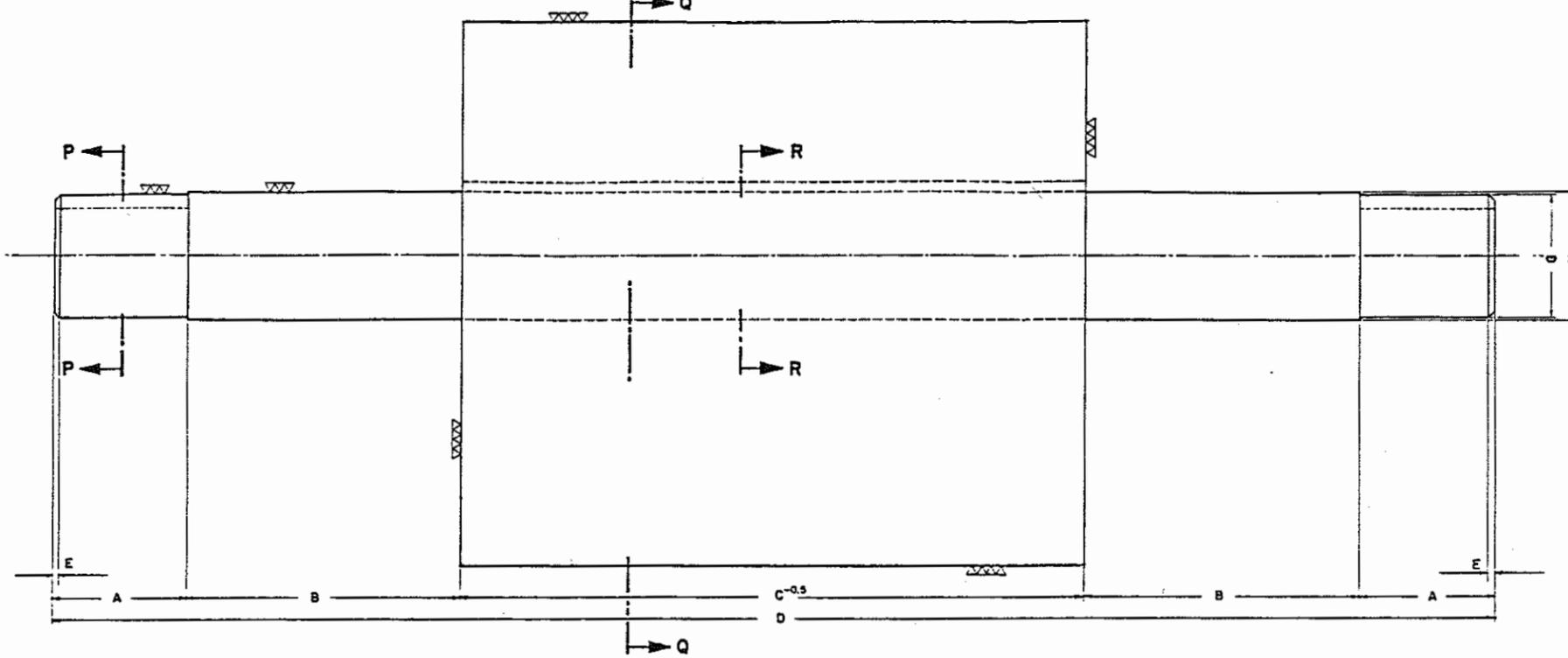
				ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA	
				QUITO _____ EQUADOR	
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION	PLANO DE: <b>PIEZA Nº 2-EJE PRINCIPAL</b>	
SECRETARIA PERMANENTE					
DEPARTAMENTO TECNICO					
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO					
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO					
DISEÑO	ING. RAFAEL PARDO	DISEÑO	ING. RAFAEL PARDO	APROBADO	ING. RAFAEL PARDO
PROYECTO	ING. RAFAEL PARDO	REVISADO	ING. RAFAEL PARDO	FECHA	
REVISADO	ING. RAFAEL PARDO	ELABORADO	ING. RAFAEL PARDO	PLANO Nº	
ESCALA	3/4	ELABORADO	ING. HOLLANDO BARRA		11/34



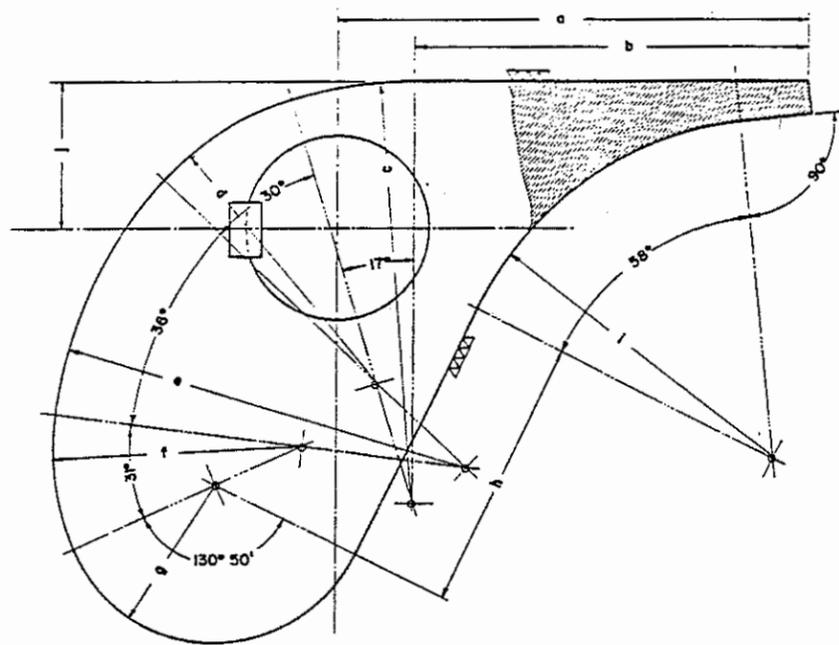
LISTA DE MATERIALES			
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	VER PLANO N°
1	CONTORNO EXTERIOR DEL RODETE	ACERO INOXIDABLE	6
1a	CUBO DEL RODETE	ACERO INOXIDABLE O ACERO FORJADO	10
2	EJE PRINCIPAL	ACERO FORJADO	11
3a	TAPA DEL INYECTOR	ACERO ESTRUCTURAL	16
3c	CHAPA INFERIOR DE LA CAJA DE ADMISION	ACERO ESTRUCTURAL	19
3d	PLANCHA DE REFUERZO DE LA CAJA DE ADMISION	ACERO ESTRUCTURAL	18
4	ALABE DIRECTRIZ	BRONCE ALUMINIO	13
4a	EJE ALABE DIRECTRIZ	ACERO FORJADO	13
5	PRENSA ESTOPA	ACERO/HIERRO/BRONCE	15
5a	BAJE LATERAL	BRONCE	15
5b	ESTOPA	EMPAQUETADURA GRAFITADA	15
8	TAPAS LATERALES DE LA TURBINA	ACERO ESTRUCTURAL	24
9	RETENEDOR	ACERO O HIERRO	23
10	BRIDA DE CONEXION A LA CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	26
14	PLANCHA BASE DE LA TURBINA	ACERO ESTRUCTURAL	31

**SECCION "B-B" - VISTA DEL ALABE DIRECTRIZ-SISTEMA DE BUJES-  
PRENSA ESTOPA Y CAJA DE ADMISION**

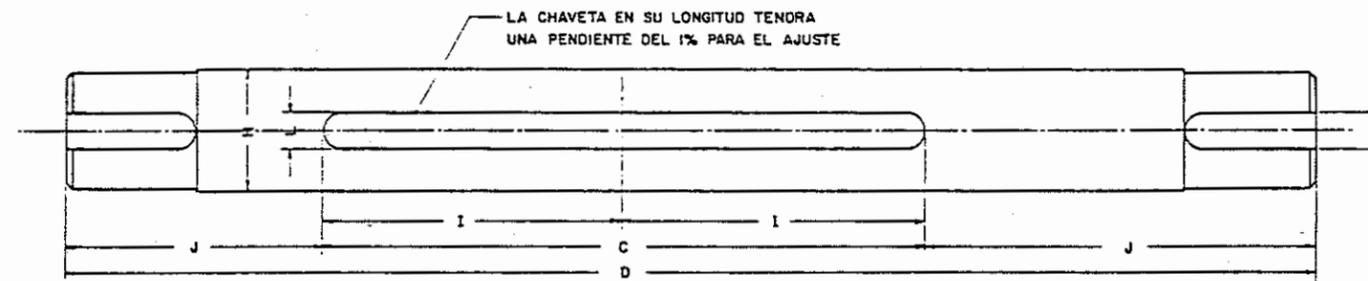
				ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA QUITO - ECUADOR	
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION	PLANO DE: <b>SECCION "B-B"</b>	
SECRETARIA PERMANENTE DEPARTAMENTO TECNICO				INGENIERO RESPONSABLE: <b>ING. RAFAEL PARDO</b> INGENIERO ENCARGADO: <b>ING. RAFAEL PARDO</b> TECNICO: <b>TEC. RAMIRO MESTRICH</b> ESCALA: <b>3/E</b>	
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO <b>TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO</b>				APROBADO: <b>ING. ALBERTO TANGAZO</b> FECHA: <b>12/34</b> PLANO N°:	



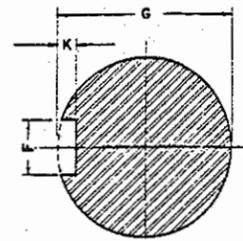
PIEZA N° 4 - ALABE DIRECTRIZ - VISTA DE PLANTA



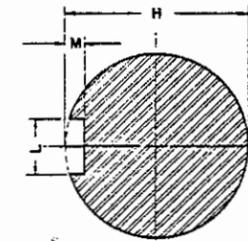
PIEZA N° 4 - SECCION "Q-Q" - GEOMETRIA DEL ALABE DIRECTRIZ  
MATERIAL: BRONCE-ALUMINIO



PIEZA N° 4a - VISTA-EJE ALABE DIRECTRIZ  
MATERIAL: ACERO FORJADO



SECCION "P-P"

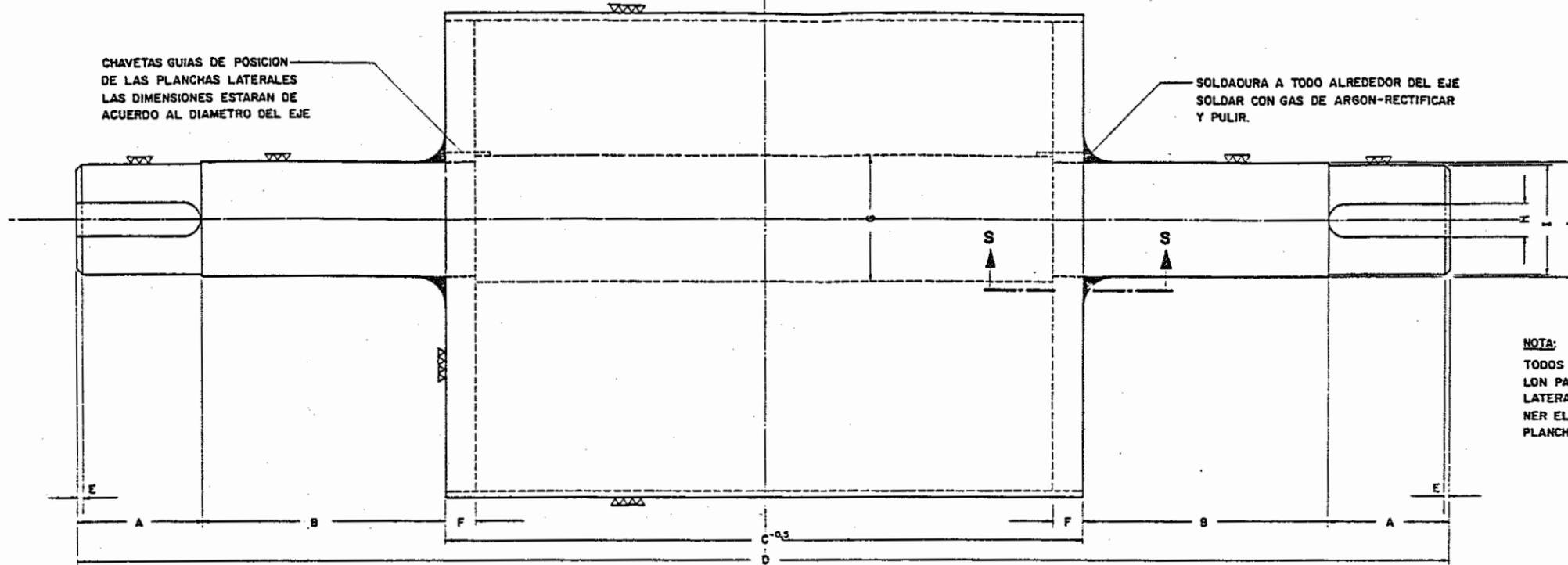


SECCION "R-R"

				ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA	
				OLADE QUITO ECUADOR	
				PLANO DE: PIEZA N° 4 ALABE DIRECTRIZ - DESPIECE	
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION	DISEÑADO: ING. RAFAEL PARDO	REVISADO: HENRIQUEZ BARRERA
				PROYECTO EJECUTIVO: TEC. RAMIRO MESTRONI	
				APROBADO: ING. RAFAEL PARDO	
				TITULO: TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO	
				S/E. ING. ROLANDO GIRARD	
				13/34	

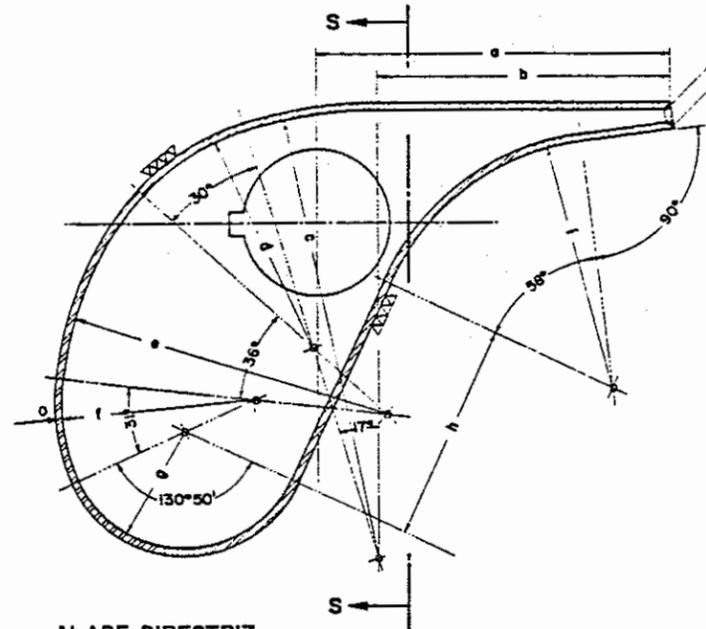
CHAVETAS GUIAS DE POSICION DE LAS PLANCHAS LATERALES LAS DIMENSIONES ESTARAN DE ACUERDO AL DIAMETRO DEL EJE

SOLDADURA A TODO ALREDEDOR DEL EJE SOLDAR CON GAS DE ARGON-RECTIFICAR Y PULIR.



NOTA:  
TODOS LOS EJES TENDRAN UN ESCALON PARA APOYO DE LAS PLANCHAS LATERALES, DE ESTA FORMA MANTENER EL PARALELISMO ENTRE AMBAS PLANCHAS.

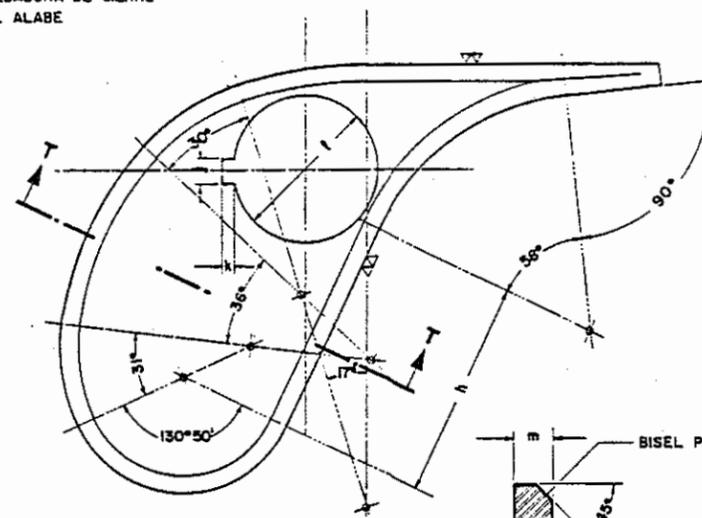
ALABE DIRECTRIZ - VISTA DE PLANTA



ALABE DIRECTRIZ

FABRICADO EN CHAPA DE ACERO INOXIDABLE. PARA EL CIERRE SOLDAR CON GAS DE ARGON EN EL SECTOR INDICADO EN EL DIBUJO.

SOLDADURA DE CIERRE DEL ALABE



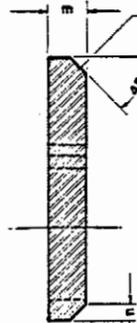
PLANCHA LATERAL

I DERECHA - I IZQUIERDA  
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE  
PLANCHA LATERAL PREFORMADA CON BISEL PARA SOLDADURA DEL LADO EXTERIOR DONDE SE SOLDARA EL ALABE DIRECTRIZ FABRICADO EN CHAPA.

NOTA: SE RECOMIENDA QUE LA SOLDADURA ENTRE AMBAS PIEZAS SEA CON GAS DE ARGON.

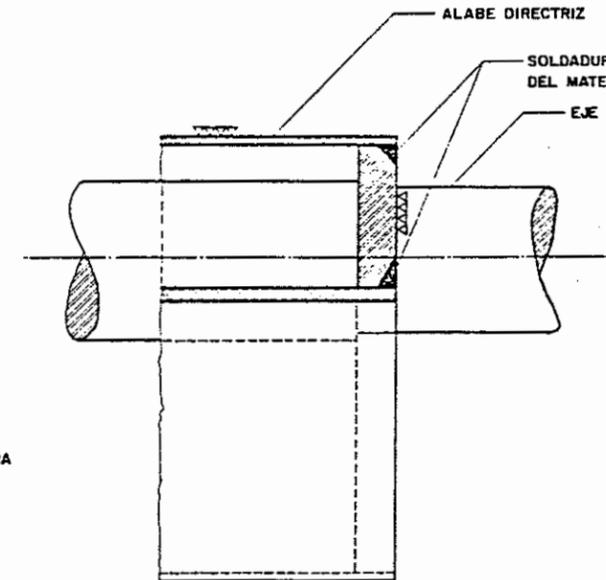
IMPORTANTE: PARA EL ALABE DIRECTRIZ DE 300 mm. DE LARGO O MAYOR SE DEBERA COLOCAR INTERNAMENTE PLANCHAS PREFORMADAS PARA MAYOR RESISTENCIA DEL ALABE.

BISEL PARA SOLDADURA



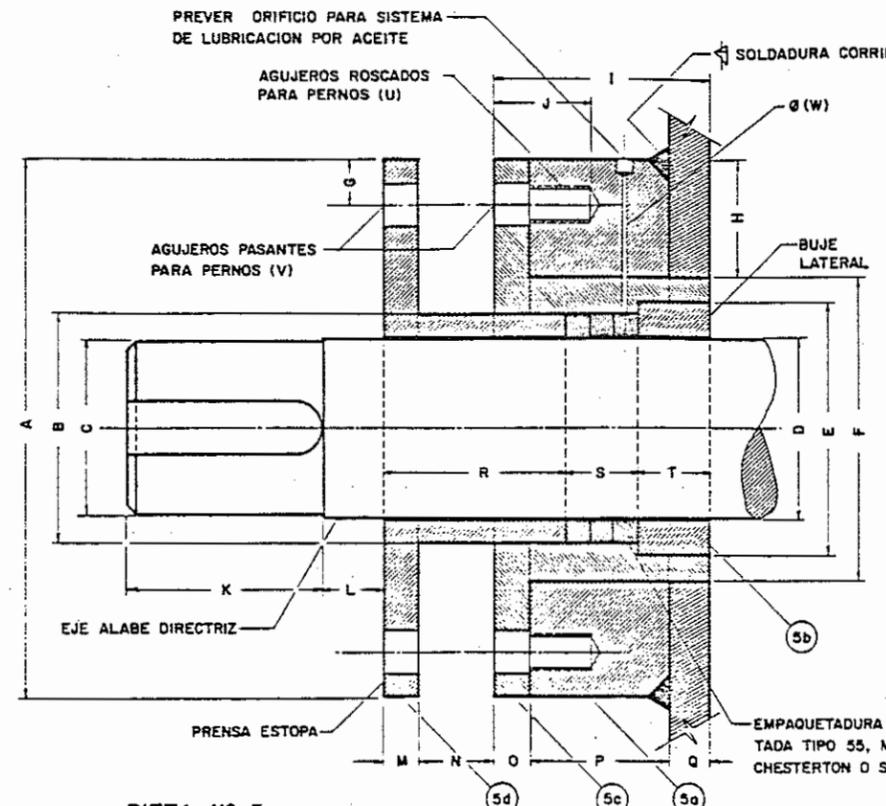
SECCION "T-T"

ALABE DIRECTRIZ  
SOLDADURA-ESMERILAR A RAS DEL MATERIAL Y LUEGO PULIR

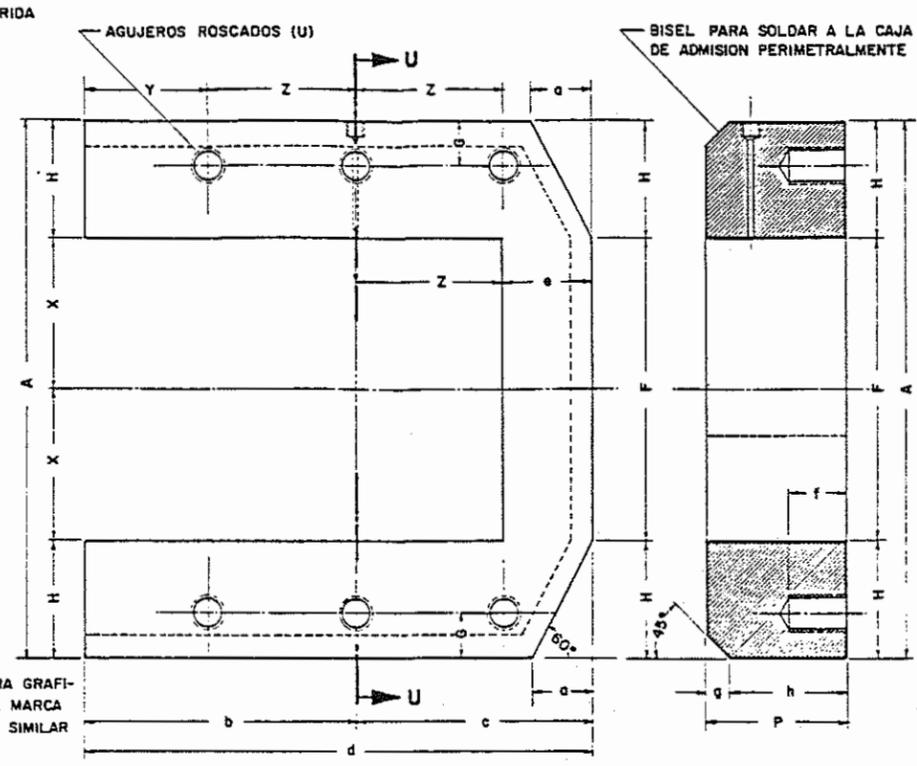


SECCION "S-S" - DETALLE DEL MONTAJE Y LA SOLDADURA

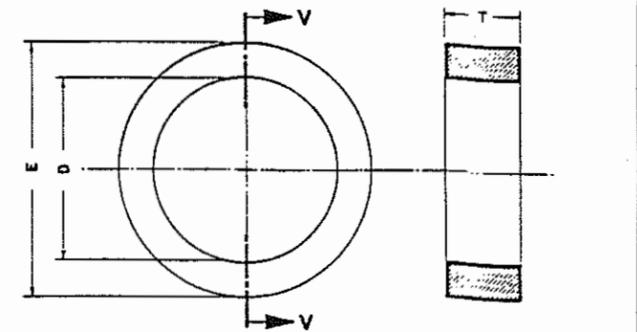
				ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA	
				OLADE QUITO ECUADOR	
FECHA	MODIFICACION	T/O CORRECCION	REVISION	APROBACION	PLANO DE: ALTERNATIVA PARA FABRICACION DEL ALABE DIRECTRIZ
					SECRETARIA PERMANENTE
					DEPARTAMENTO TECNICO
					PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO
					TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO
				ING. RAFAEL PARRO	
				ING. HERMOGENES SAJARA	
				ING. RAMON MESTROM	
				ING. RAFAEL PARRO	
				S/E. ING. ROLANDO SHARO	
				LEDO. AGUSTO TANGAZO	
				PLANO N°	
				14 / 34	



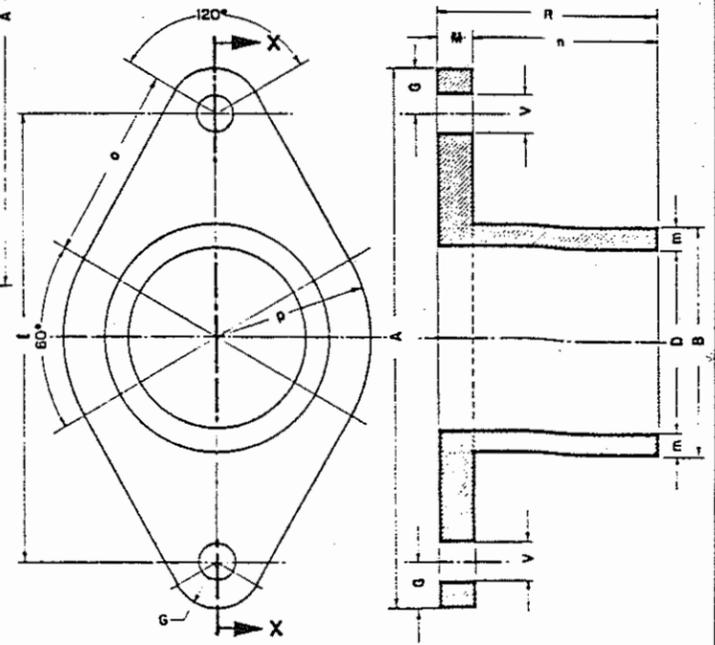
**PIEZA Nº 5**  
**PRENSA ESTOPA Y BUJE - SECCION TIPICA**



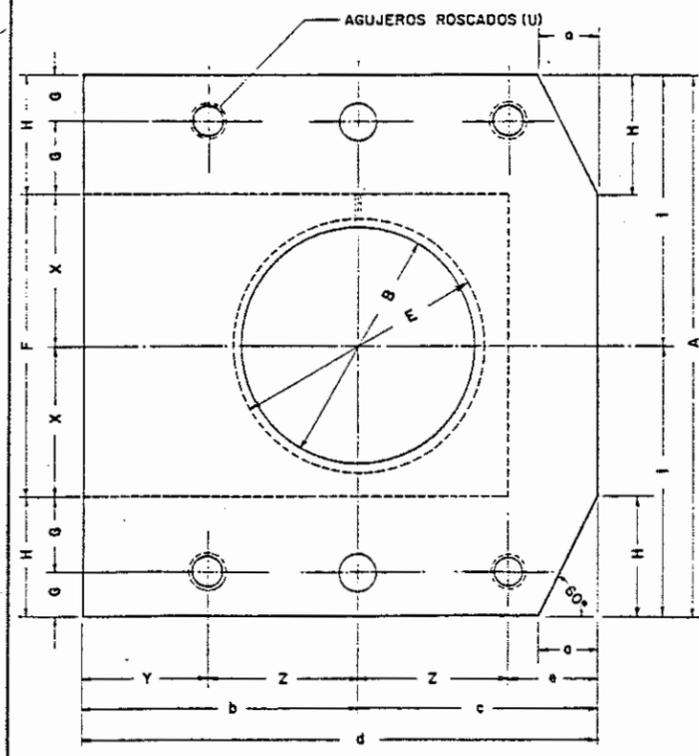
**PIEZA Nº 5a - BASE PARA SOPORTE DEL**  
**PRENSA ESTOPA**  
CANTIDAD: 2 PIEZAS (1 DERECHA, 1 IZQUIERDA)  
MATERIAL: ACERO



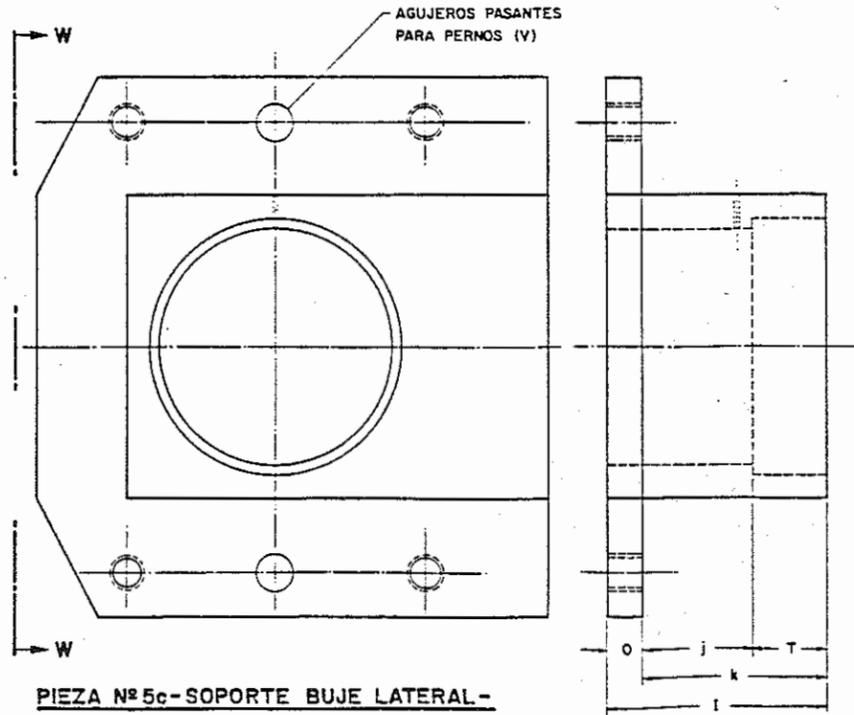
**PIEZA Nº 5b - BUJE LATERAL** SECCION "V-V"  
CANTIDAD: 2 PIEZAS - MATERIAL: BRONCE



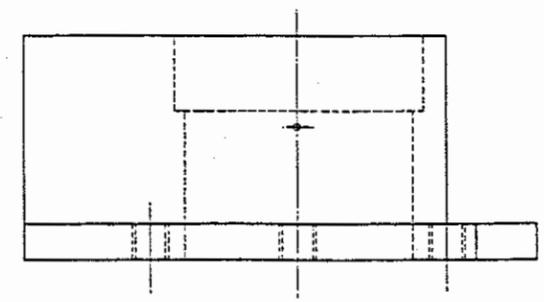
**PIEZA Nº 5d - PRENSA ESTOPA** SECCION "X-X"  
CANTIDAD: 2 PIEZAS, MATERIAL: ACERO



**PIEZA Nº 5c - ELEVACION FRONTAL**  
MATERIAL: ACERO

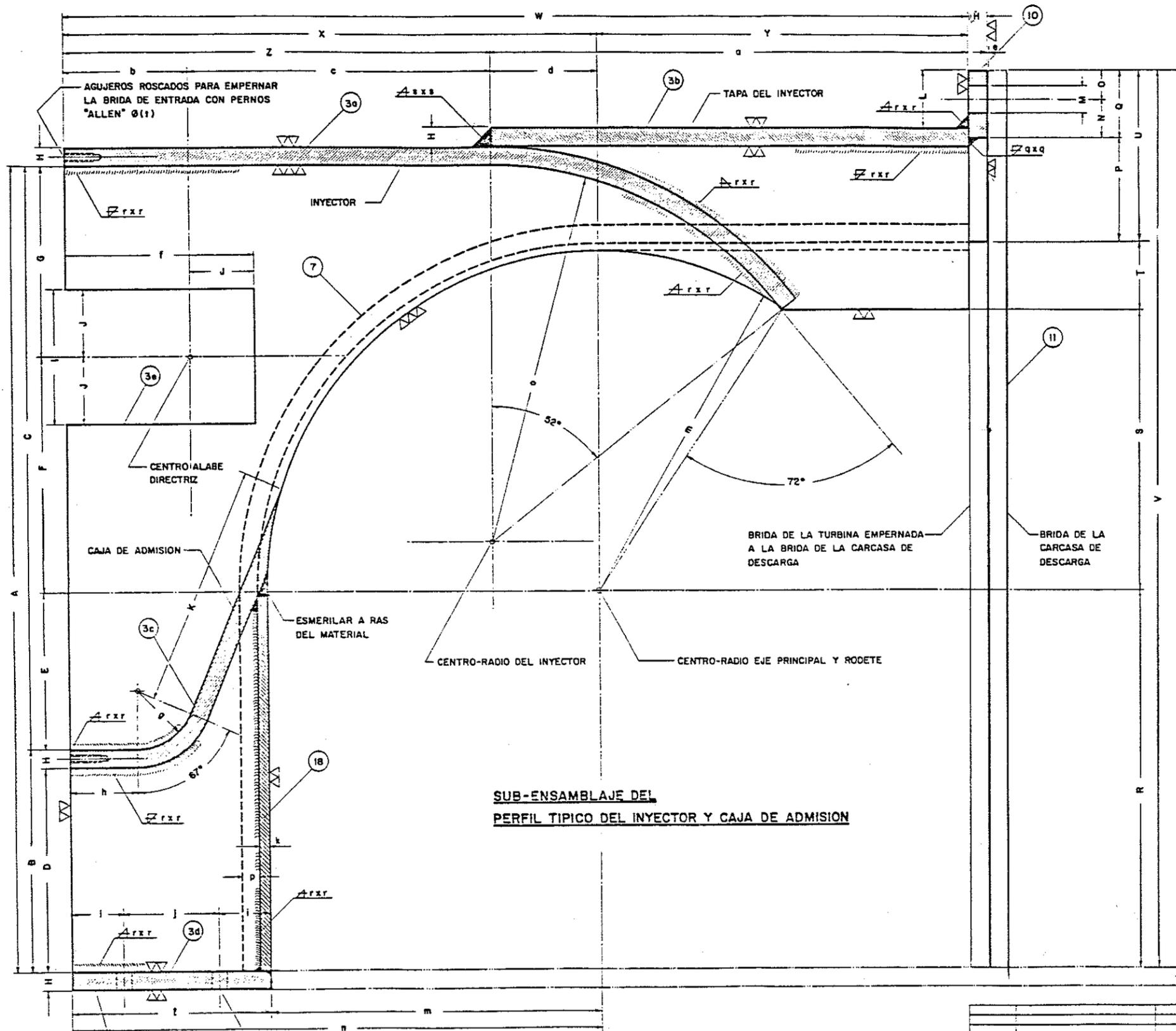


**PIEZA Nº 5c - SOPORTE BUJE LATERAL -**  
**ELEVACION POSTERIOR**  
CANTIDAD: 2 PIEZAS (1 DERECHA, 1 IZQUIERDA)  
MATERIAL: ACERO



**VISTA DE PLANTA**

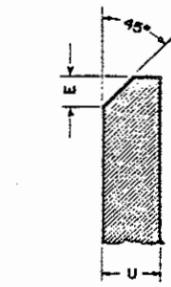
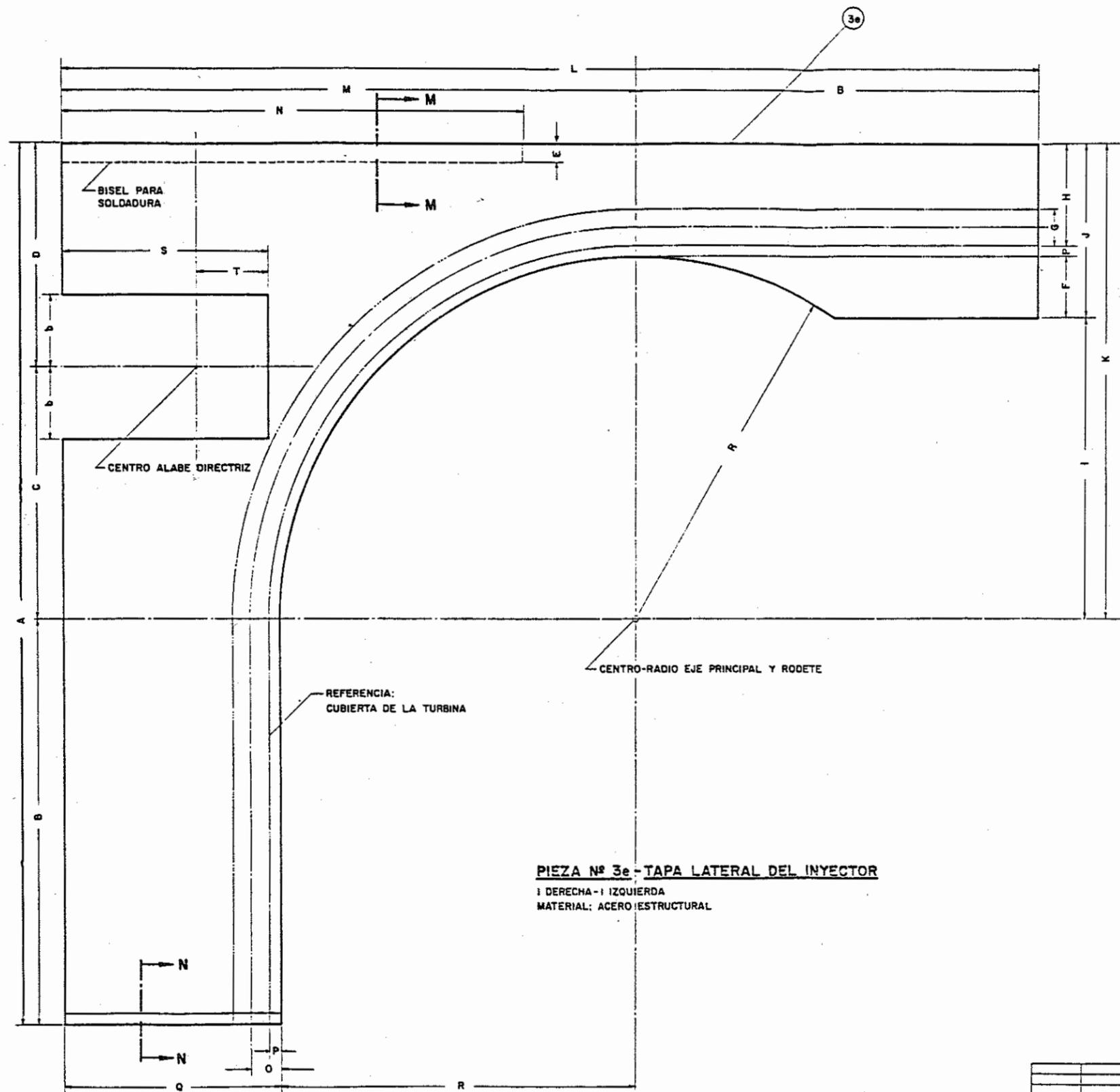
				ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA	
				Quito ECUADOR	
				PLANO DE: <b>PIEZA Nº 5 - PRENSA ESTOPA - DESPIECE</b>	
SECRETARIA PERMANENTE DEPARTAMENTO TECNICO				DISEÑO: ING. RAFAEL PANDO PROYECTO MECANICO: TEC. RAFAEL MESTRERO REVISADO: ING. RAFAEL PANDO APROBADO: ING. ROLANDO GIRARD	
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO				FECHA: _____ PLANO Nº: _____	
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO				15/34	



**SUB-ENSAMBLAJE DEL  
PERFIL TIPICO DEL INYECTOR Y CAJA DE ADMISION**

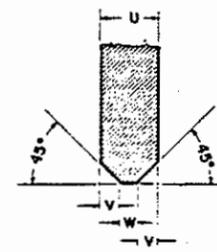
PLANCHA DE REFUERZO DE LA CAJA DE ADMISION  
AGUJEROS PASANTES (u) PARA EMPERNAR EN LA PLANCHA BASE

ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA		QUITO		ECUADOR	
SECRETARIA PERMANENTE		PLANO DE SUB-ENSAMBLAJE DEL PERFIL TIPICO DEL INYECTOR Y CAJA DE ADMISION			
DEPARTAMENTO TECNICO		ING. RAFAEL PARDO	ING. HERMOGENES SALAZAR	ING. LODO AUGUSTO TANGAZO	
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO		PROYECTO MECANICO	REVISADO	FECHA	
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO		TEC. RAMERI MESTRONI	ING. RAFAEL PARDO	PLANO Nº	
		ETCALA	APROBADO	16/34	
			ING. ROLANDO GIRARD		



ESMERILAR O CEPILLAR  
EL MATERIAL PARA SOLDADURA

SECCION "M-M"



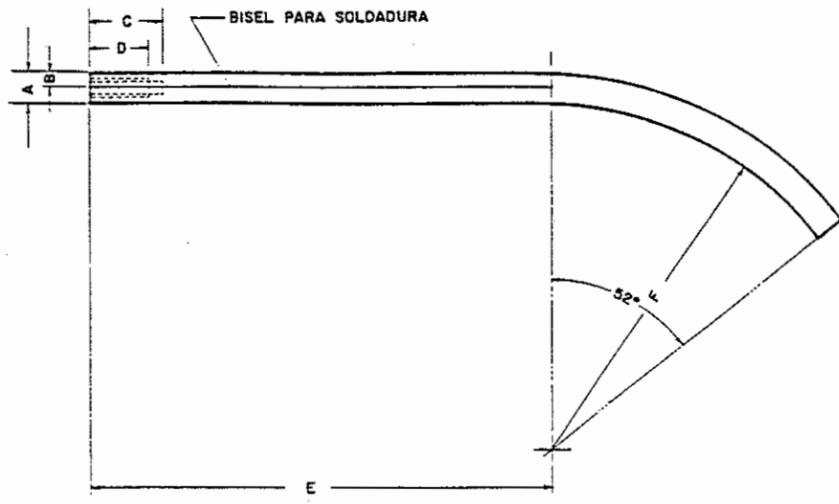
ESMERILAR O CEPILLAR  
EL MATERIAL PARA SOLDADURA

SECCION "N-N"

**PIEZA Nº 3e - TAPA LATERAL DEL INYECTOR**

I DERECHA - I IZQUIERDA  
MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL

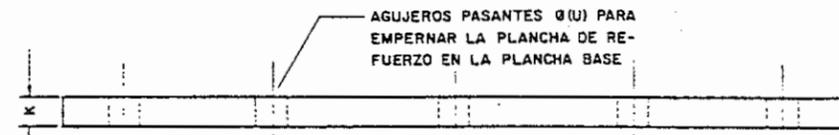
				ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA	
				QUITO - ECUADOR	
SECRETARIA PERMANENTE DEPARTAMENTO TECNICO PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO				PLANO DE: PIEZA Nº 3e - TAPA LATERAL DEL INYECTOR	
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION	DISEÑO: ING. RAFAEL PARDO PROYECTO MECANICO: TEC. RANIERI MESTRONI ESCALA: S/E.	DIBUJO: INGENIERO'S BALAZA REVISADO: ING. RAFAEL PARDO APROBADO: ING. ROLANDO GIRARD
				APROBADO: LICDO. AUBERTO TANGATO FECHA: 17/34	



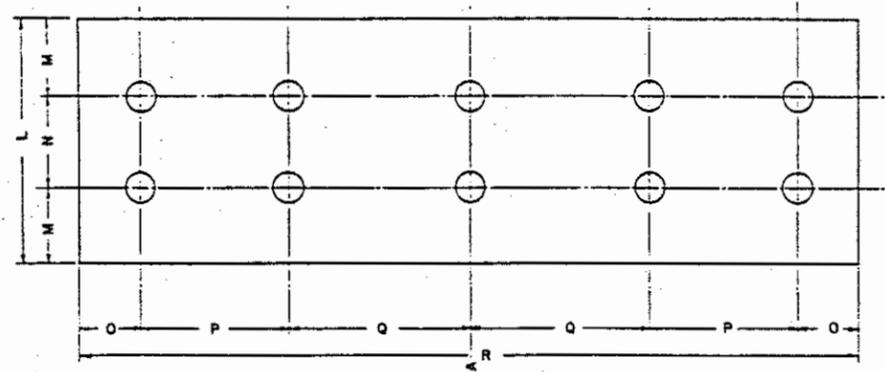
VISTA LATERAL

**PIEZA Nº 3a-INYECTOR**

MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL



VISTA FRONTAL



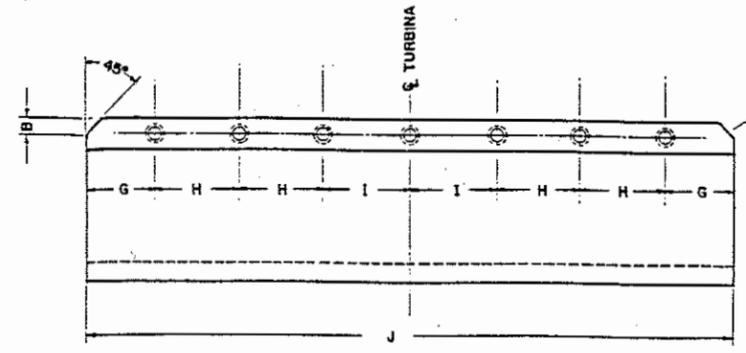
PLANTA

**PIEZA 3d-PLANCHA DE REFUERZO DE LA CAJA DE ADMISION**

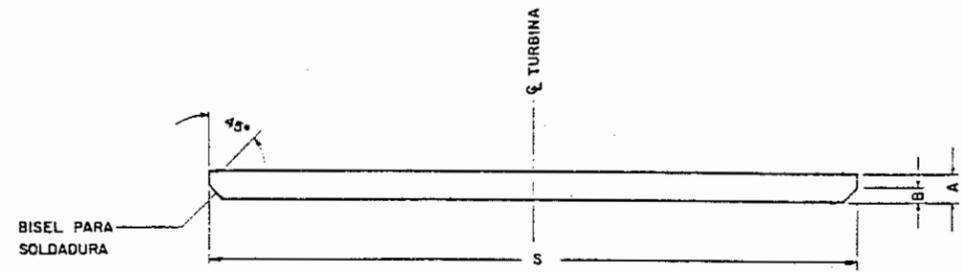
MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL

NOTA:

EN LAS TURBINAS DE Ø 200.Y Ø 300 SE COLOCAN PERNOS EN EL CENTRO DE LA PLANCHA, EN EL RESTO DE LAS TURBINAS SE COLOCARA COMO SE INDICA EN EL DETALLE.

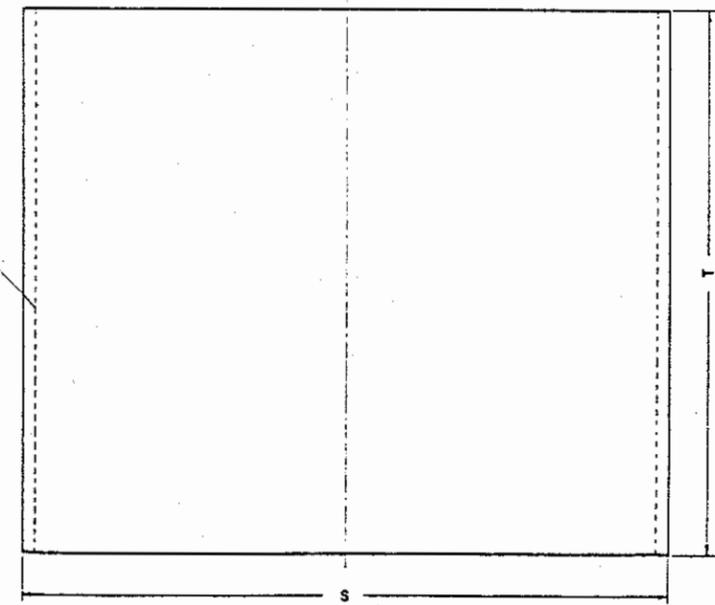


VISTA FRONTAL



VISTA FRONTAL

BISEL PARA SOLDADURA SOLDAR A LA PIEZA Nº 3a-TAPA LATERAL DE LA CAJA DE ADMISION

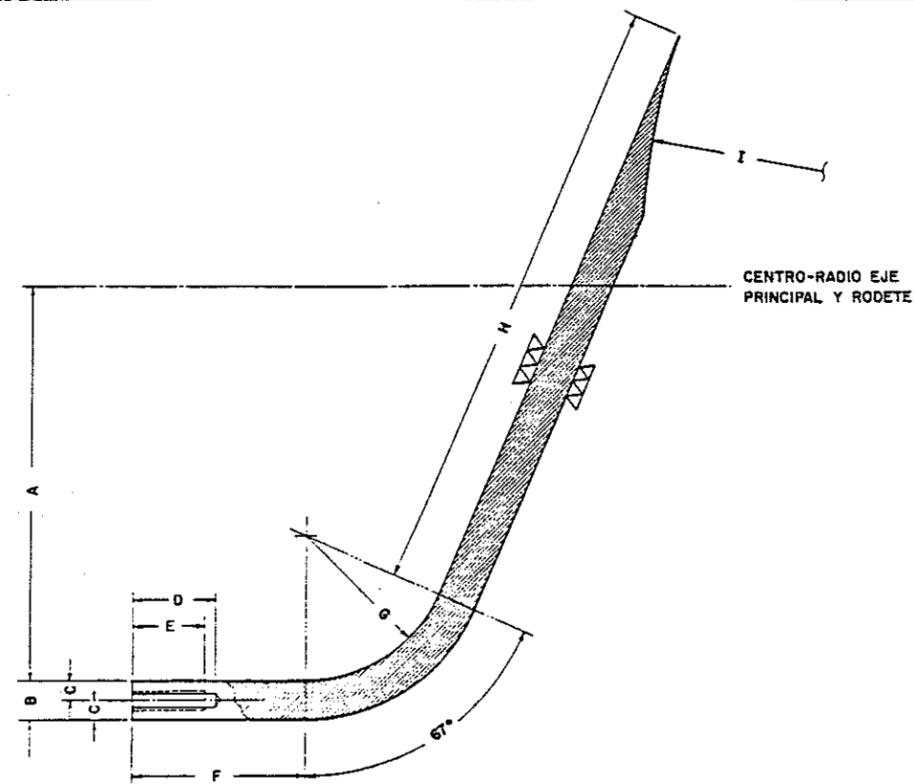


PLANTA

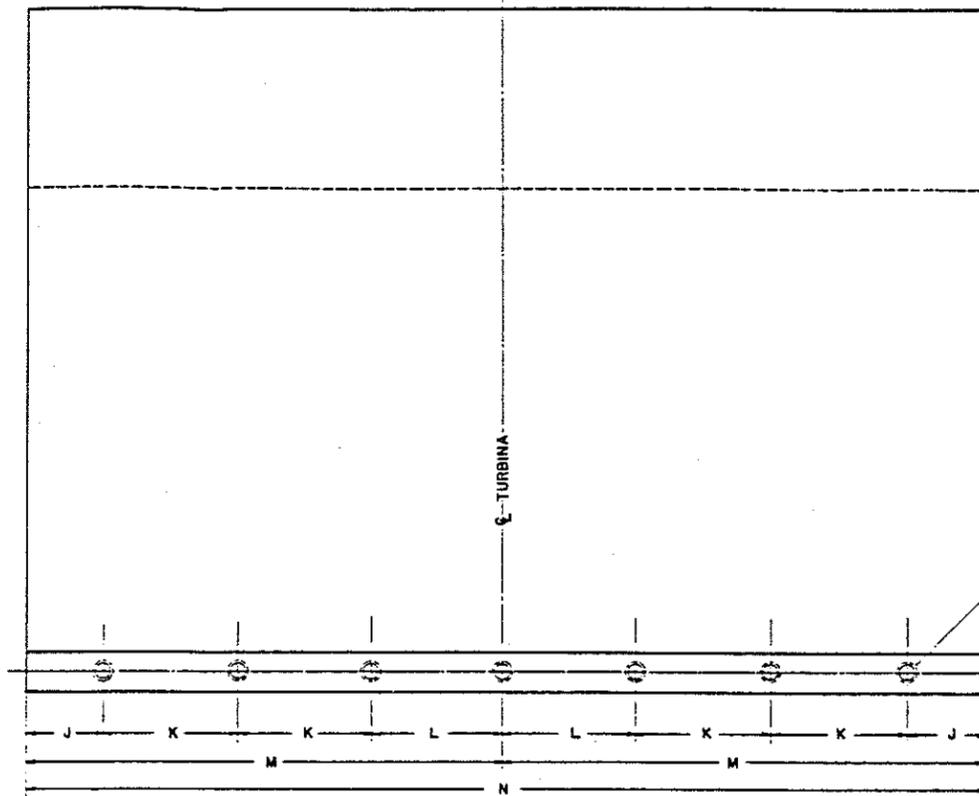
**PIEZA Nº 3b-TAPA DEL INYECTOR**

MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL

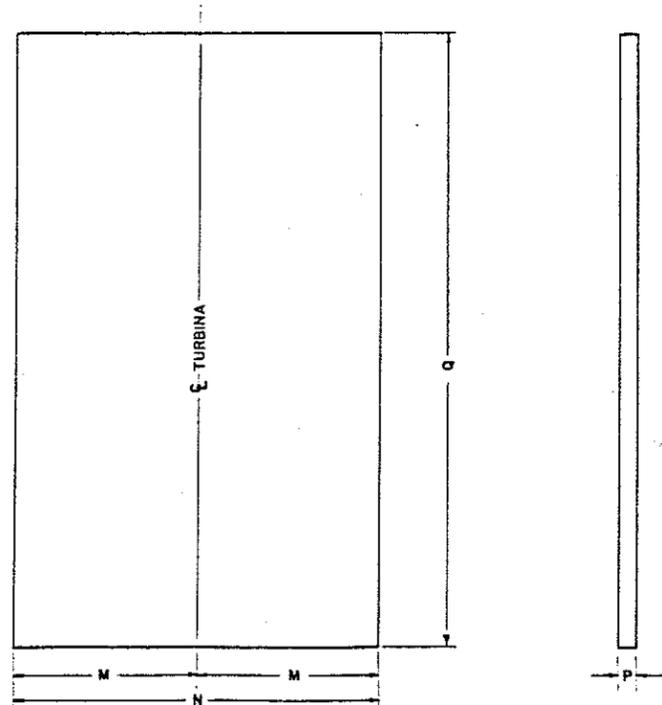
				ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA QUITO EQUADOR	
FECHA	MODIFICACION T/O CORRECCION	REVISION	APROBACION	PLANO DE: DESPIECE DEL INYECTOR Y CAJA DE ADMISION - PIEZAS Nº 3a, 3b Y 3d.	
SECRETARIA PERMANENTE				DISEÑO: ING. RAFAEL PARDO REVISADO: HERNANDES BAJANA APROBADO: LDO. AMBUSTO TANGAZO	
DEPARTAMENTO TECNICO				PROYECTO EJECUTIVO FECHA:	
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO				TEC. HANSEN WESTROM ING. RAFAEL PARDO PLANO Nº:	
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO				ESCALA: S/E. ING. POLANDO GIRARD	



PIEZA Nº 3c - CHAPA INFERIOR DE LA CAJA DE ADMISION  
VISTA LATERAL EN CORTE



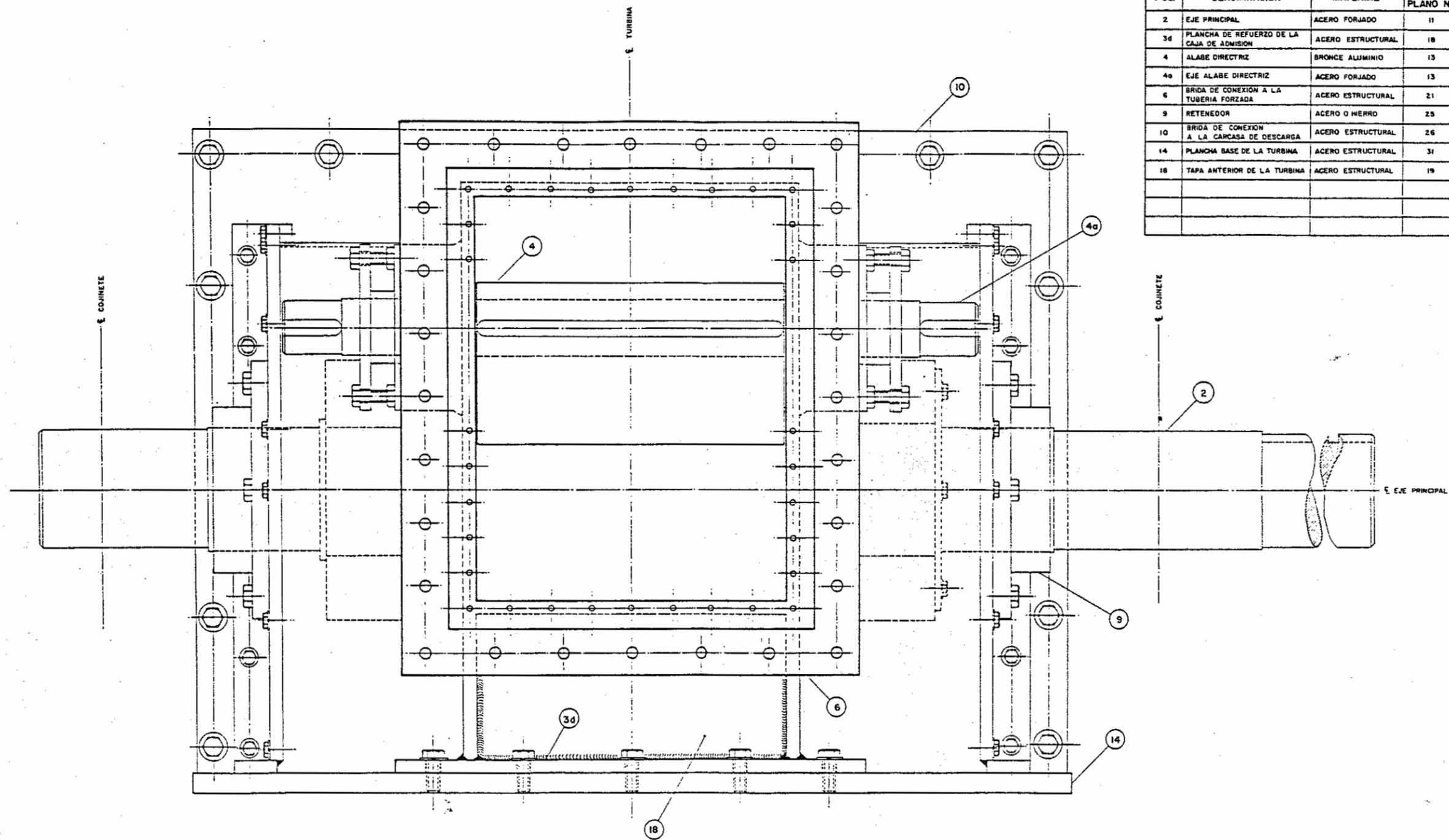
VISTA FRONTAL



PIEZA Nº 18 - TAPA ANTERIOR DE LA TURBINA

VISTA LATERAL

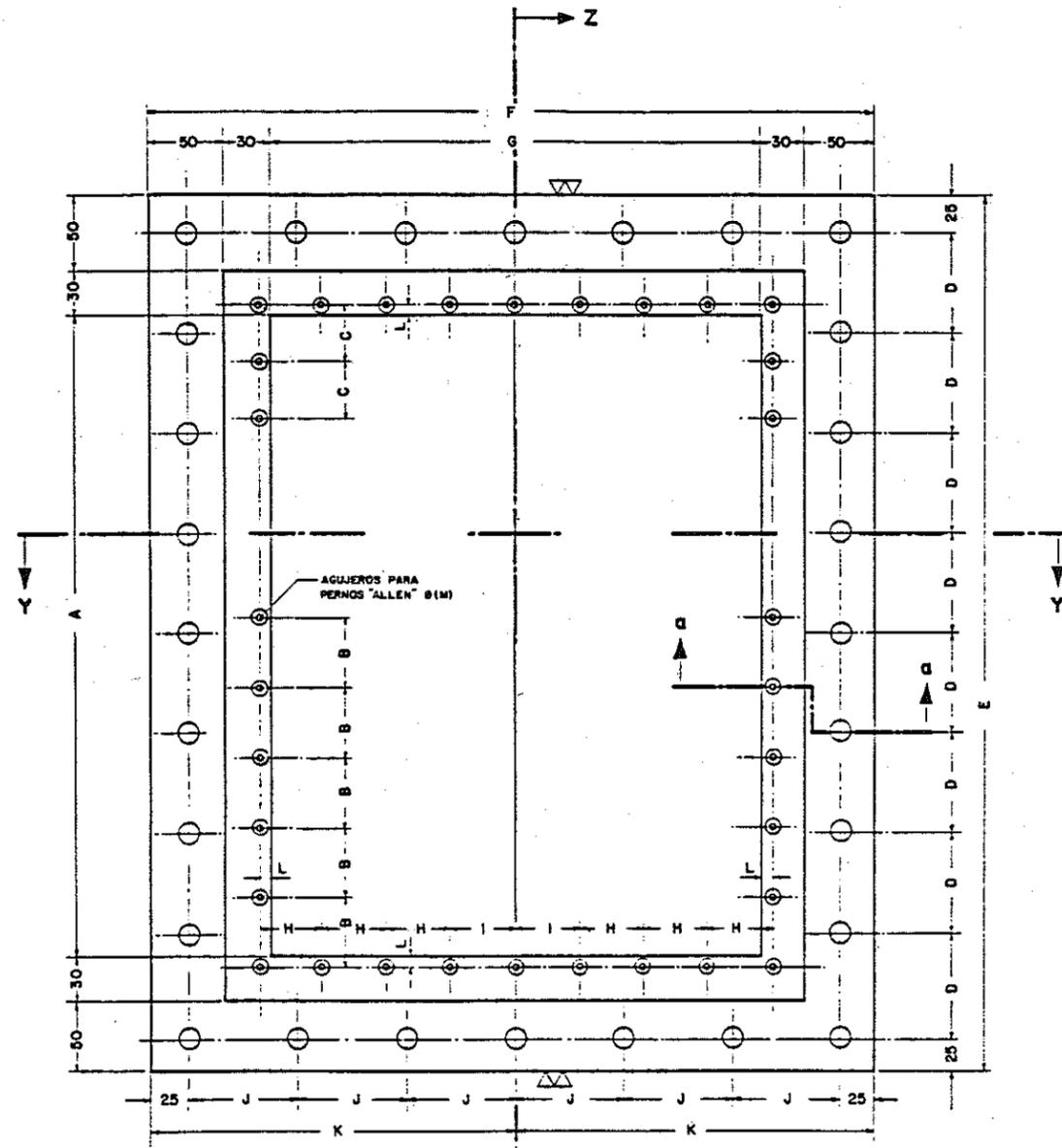
				ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA	
				<b>Olade</b> QUITO _____ ECUADOR	
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION	PLANO DE: <b>PIEZAS Nº 3c y 18</b>	
SECRETARIA PERMANENTE DEPARTAMENTO TECNICO				ING. RAFAEL PARDO	ING. ROSENDO BARRA
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO				ING. RAFAEL PARDO	ING. ROSENDO BARRA
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO				ING. RAFAEL PARDO	ING. ROSENDO BARRA
				19/34	



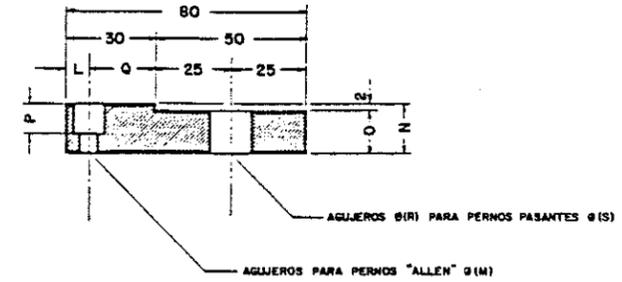
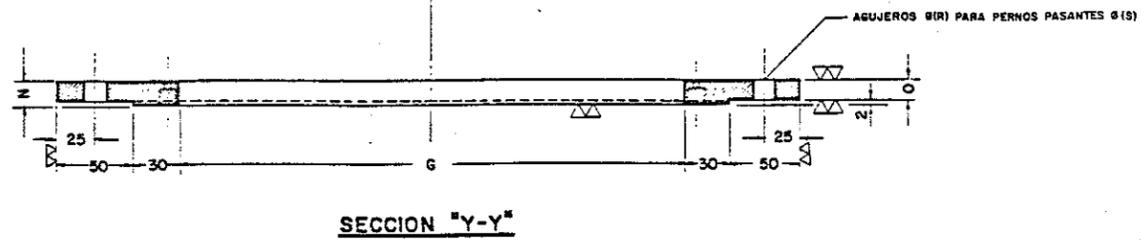
LISTA DE MATERIALES			
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	VER PLANO N°
2	EJE PRINCIPAL	ACERO FORJADO	11
3d	PLANCHA DE REFUERZO DE LA CAJA DE ADMISION	ACERO ESTRUCTURAL	18
4	ALABE DIRECTRIZ	BRONCE ALUMINIO	13
4a	EJE ALABE DIRECTRIZ	ACERO FORJADO	13
6	BRIDA DE CONEXION A LA TUBERIA FORZADA	ACERO ESTRUCTURAL	21
9	RETENEDOR	ACERO O HIERRO	25
10	BRIDA DE CONEXION A LA CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	26
14	PLANCHA BASE DE LA TURBINA	ACERO ESTRUCTURAL	31
18	TAPA ANTERIOR DE LA TURBINA	ACERO ESTRUCTURAL	19

**SUB-ENSAMBLAJE DE LA BRIDA DE ENTRADA A LA TURBINA - ELEVACION FRONTAL**

SECRETARIA PERMANENTE		ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA	
DEPARTAMENTO TECNICO		QUITO - ECUADOR	
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO		PLANO DE SUB-ENSAMBLAJE: BRIDA DE ENTRADA A LA TURBINA - ELEVACION FRONTAL	
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO		Escala: 3/4"	
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION
ING. RAFAEL PARDO	ING. HERNANDEZ BARRERA	ING. LEON ARIAS	ING. LEON ARIAS
PROYECTO	REVISADO	APROBADO	PLANO N°
TEC. ANIBAL MESTRE	ING. RAFAEL PARDO		20/34
ESCALA	APROBADO	ING. RICARDO TORRES	



**PIEZA Nº 6- BRIDA DE CONEXION A LA TUBERIA FORZADA**  
 EMPERNADA A LA ENTRADA DE LA TURBINA



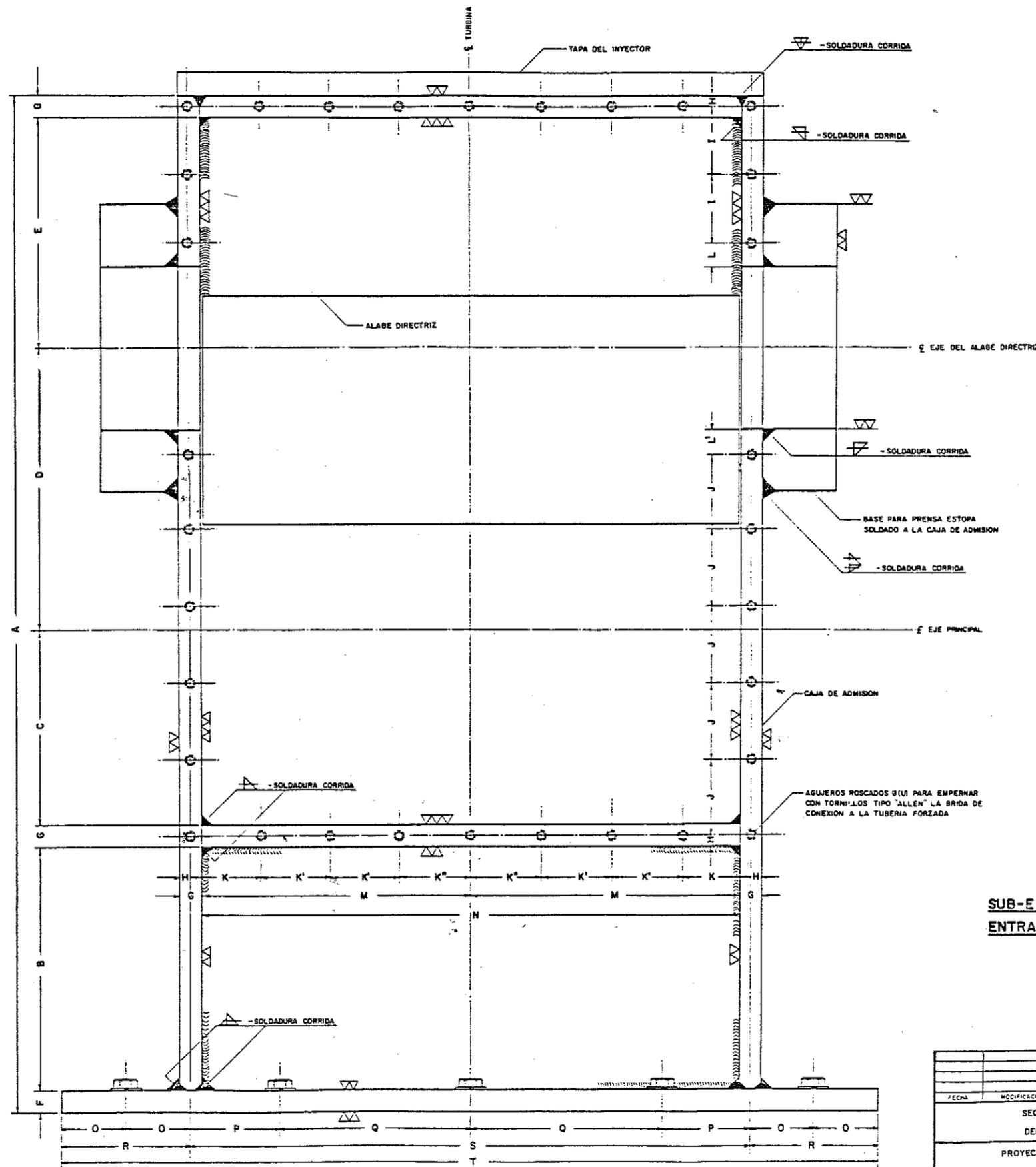
**SECCION "a-a"**

ASIENTO DE LA BRIDA  
 ANTES DE CONECTAR LA BRIDA A LA TUBERIA FORZADA,  
 COLOCAR EMPACADURA "CHESTERTON TIPO TAMPAC"  
 140/145 O SIMILAR, DE ESPESOR 6,4 (1/4") A TODO  
 ALREDEDOR DE LA BRIDA, ANCHO 50 mm PERIMETRAL  
 Y FABRICARLA EN UNA SOLA PIEZA

NOTA:  
 PARA DETALLE DE CONEXION A LA TURBINA  
 VER PLANOS Nº 3 Y 20  
 UNA VEZ FABRICADA LA BRIDA DEBERA SER GALVANIZADA

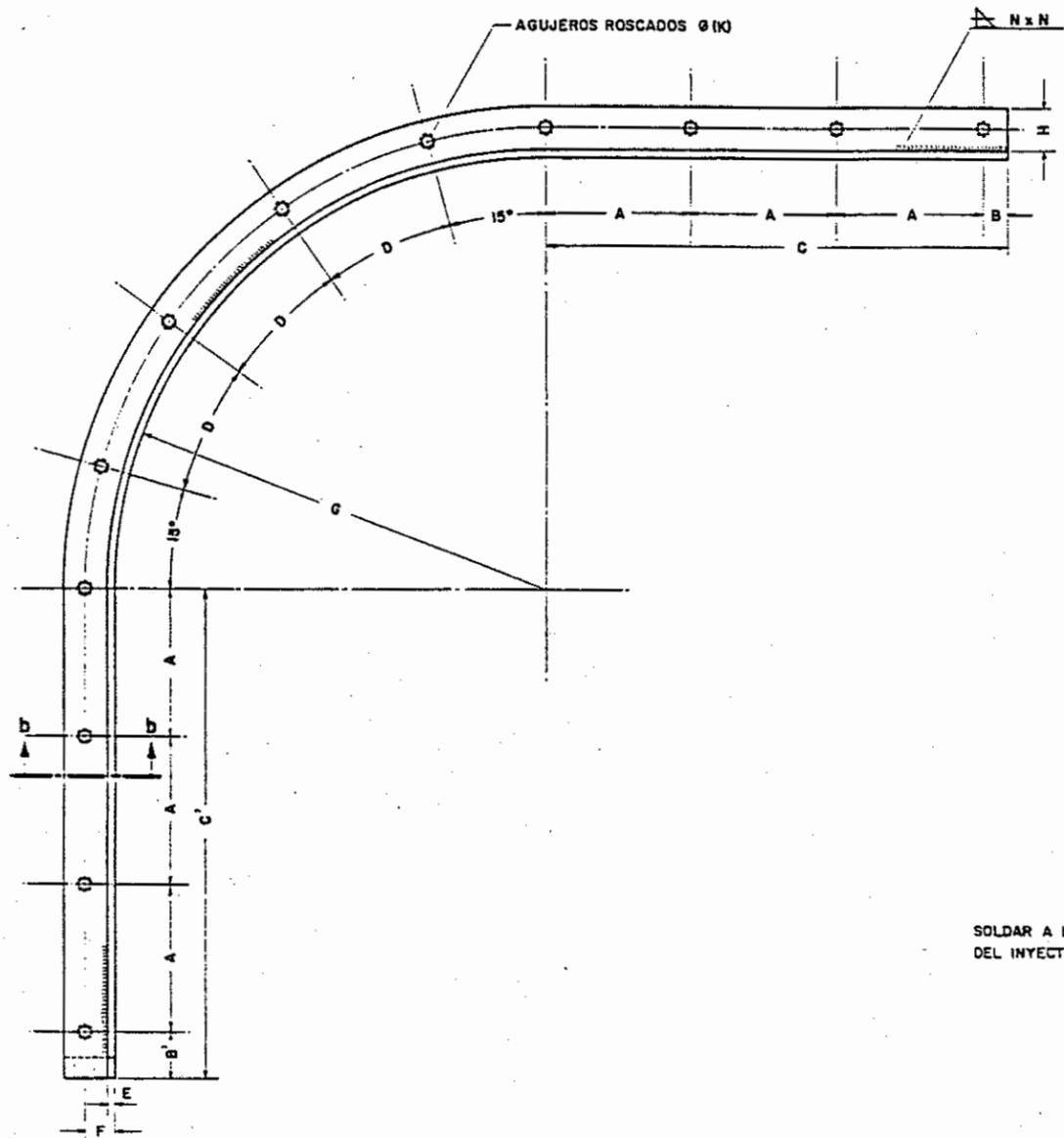
**SECCION "Z-Z"**

FECHA		MODIFICACION Y/O CORRECCION		REVISION	APROBACION	ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA OLADE	
SECRETARIA PERMANENTE						QUITO, ECUADOR	
DEPARTAMENTO TECNICO						PLANO DE: PIEZA Nº 6- BRIDA DE CONEXION A LA TUBERIA FORZADA	
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO						ING. RAFAEL PARDO	ING. HERMOGENES BALARA
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO						ING. RAFAEL PARDO	ING. POLANDO GIRANO
						1/2	21/34

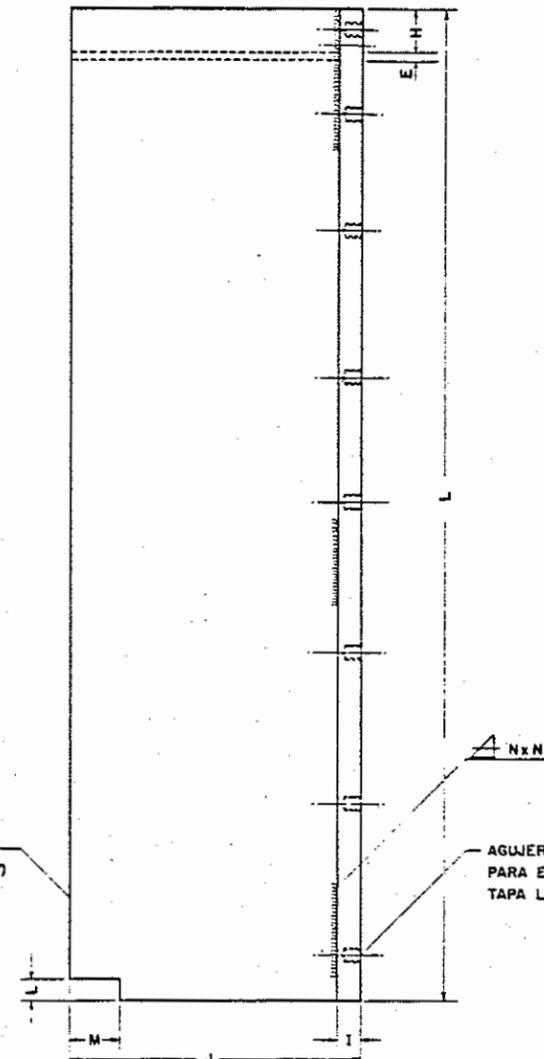


**SUB-ENSAMBLAJE DE LA  
ENTRADA CAJA DE ADMISION - VISTA FRONTAL**

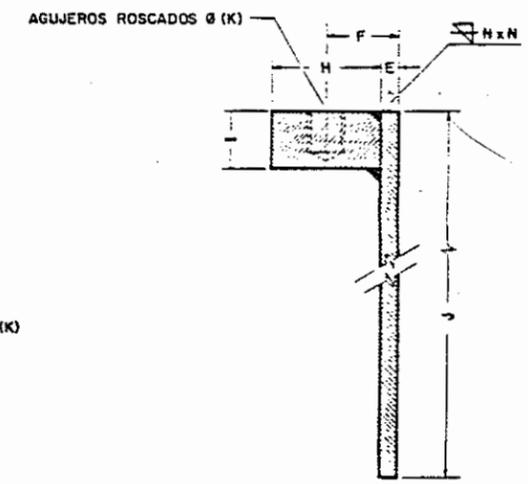
				ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA	
				Olade QUITO EQUADOR	
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION	PLANO: SUB-ENSAMBLAJE: ENTRADA CAJA DE ADMISION - VISTA FRONTAL	
SECRETARIA PERMANENTE DEPARTAMENTO TECNICO				ING. RAFAEL PARDO	ING. HERMOGENES BAJANA
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO				ING. RAFAEL PARDO	ING. LEOBARDITO TANGAZO
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO				ING. RAFAEL PARDO	ING. LEOBARDITO TANGAZO
				ING. ROLANDO OIPARO	22/34



**PIEZA Nº 7 - CUBIERTA DE LA TURBINA PARA EMPERNAR LAS TAPAS LATERALES -ELEVACION LATERAL**  
 DERECHA - IZQUIERDA, MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL



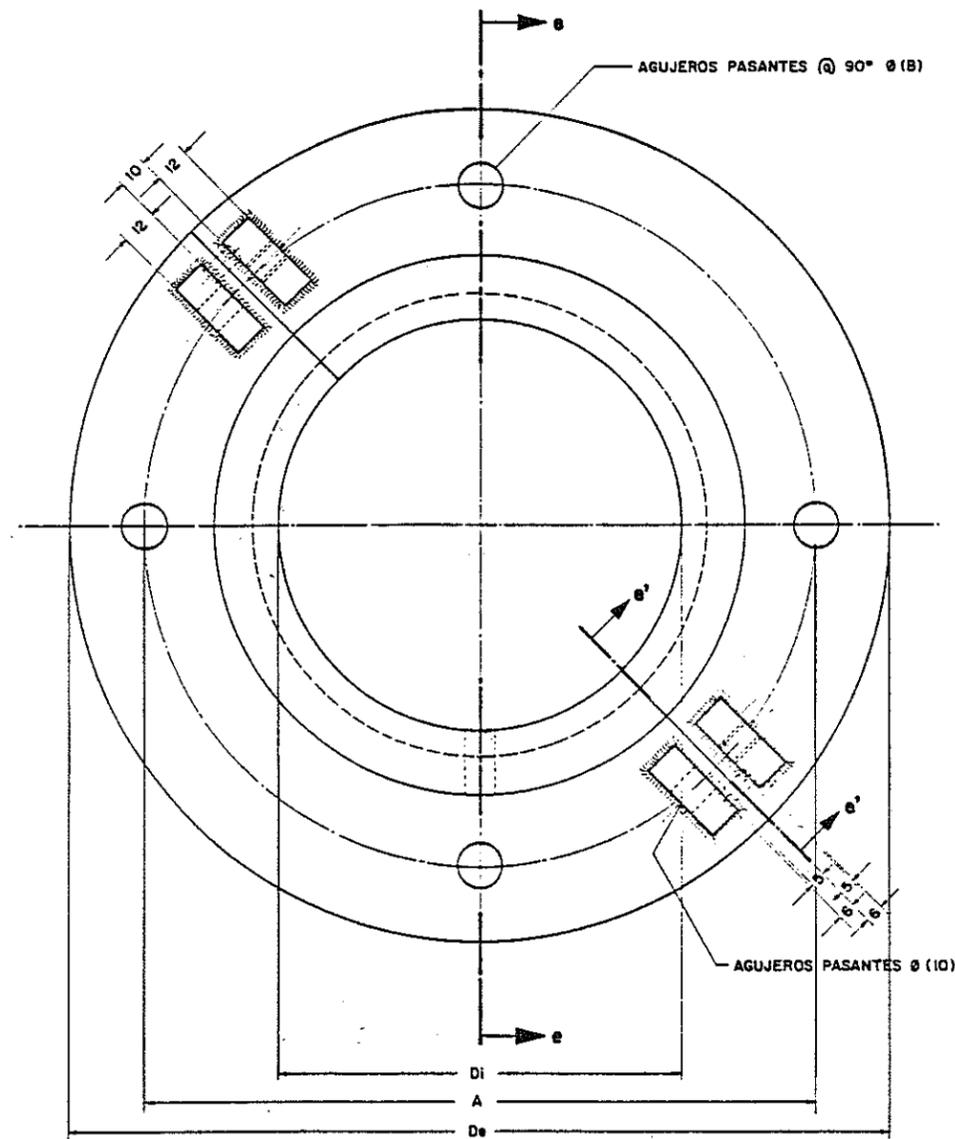
**ELEVACION FRONTAL**



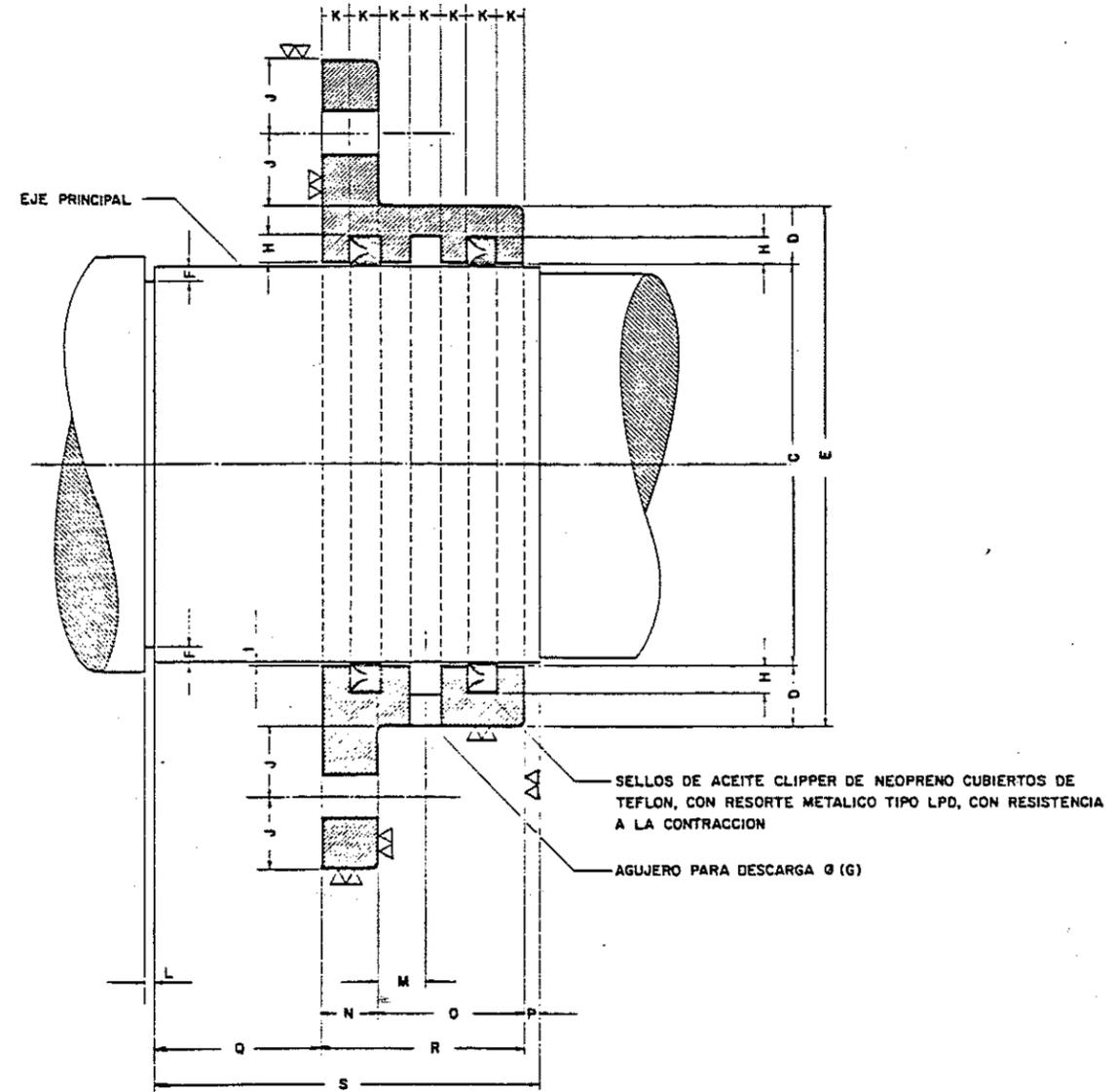
**SECCION "b-b"**

		<b>Olade</b> ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA QUITO _____ EQUADOR	
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION
			PLANO DE:
SECRETARIA PERMANENTE DEPARTAMENTO TECNICO		PIEZA Nº 7 - CUBIERTA DE LA TURBINA	
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO		ING. RAFAEL PARRO	INGENIEROS BARRERA
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO		TEC. RAMIRO MESTRO	ING. RAFAEL PARRO
		ING. ROLANDO BRARO	ING. AUGUSTO YANUZO
		8/E	23/34

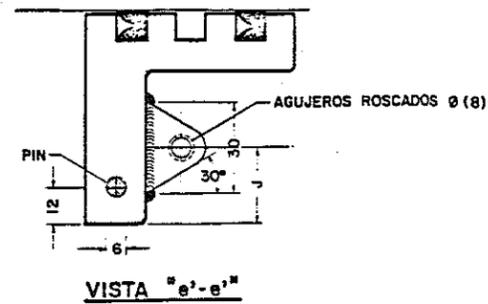




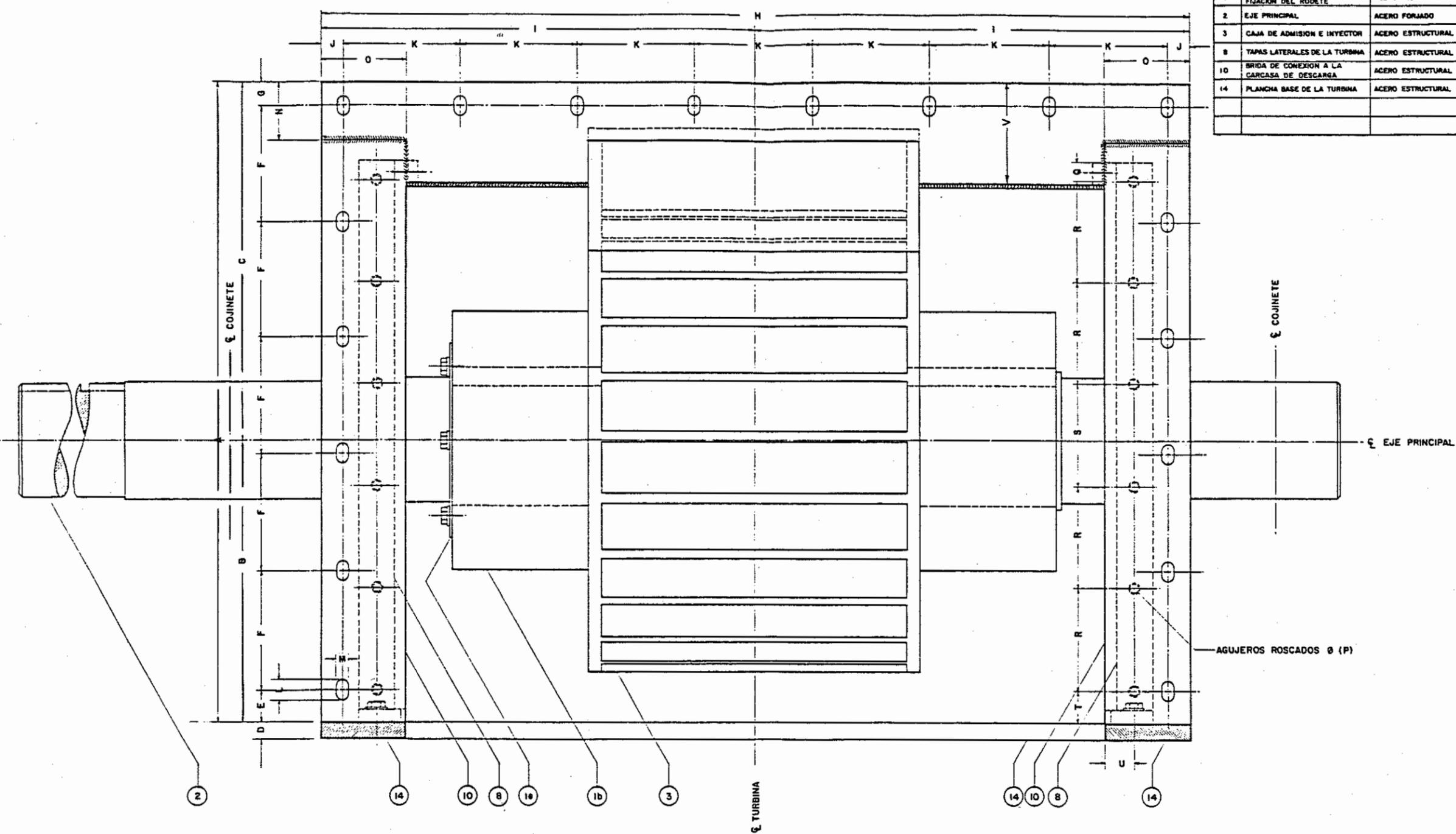
**PIEZA Nº 9-**  
**VISTA FRONTAL DEL RETENEDOR**  
MATERIAL: ACERO O HIERRO



**SECCION "e-e"**



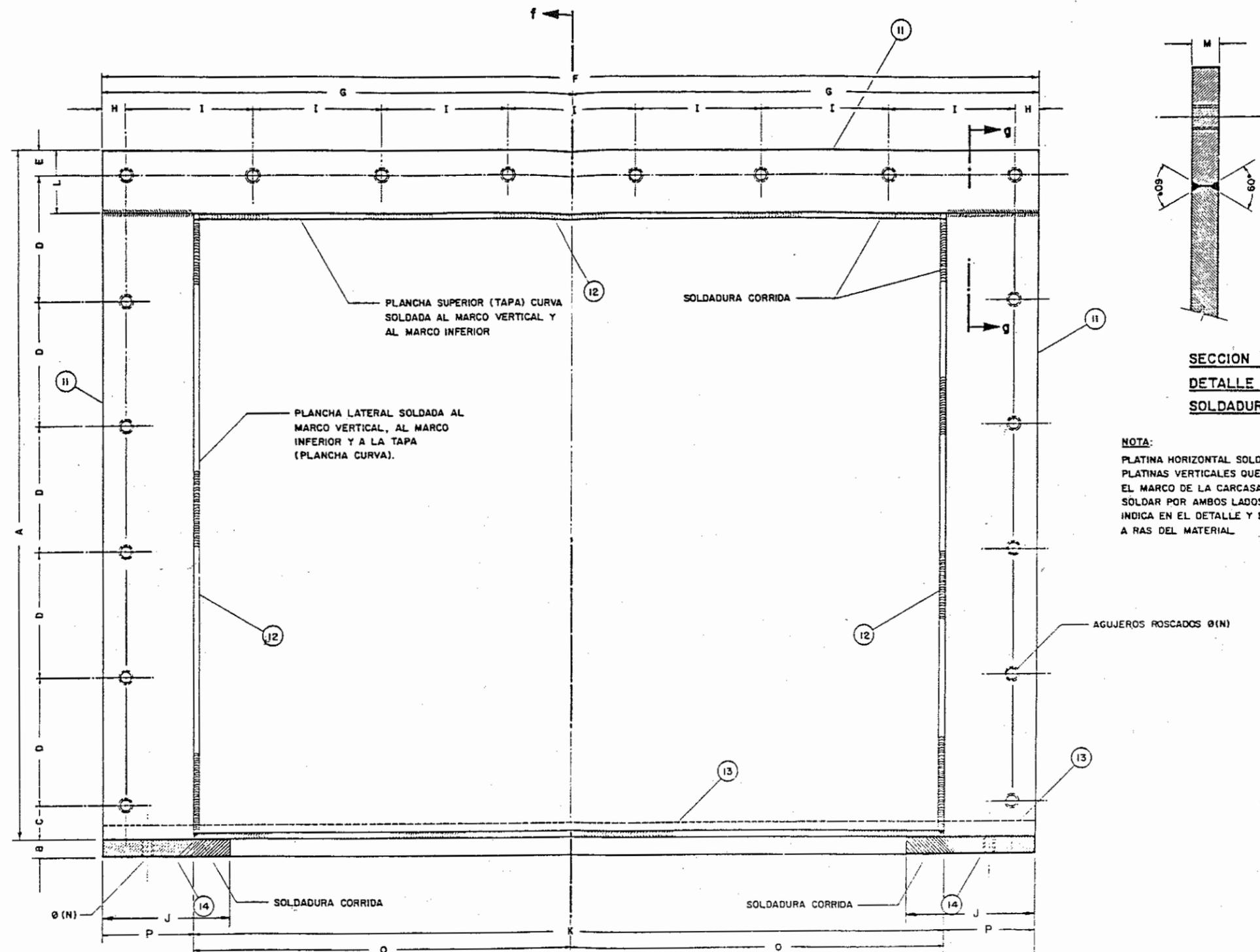
ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA <b>Olade</b> QUITO ECUADOR		PLANO DE:	
		PIEZA Nº 9 - RETENEDOR	
SECRETARIA PERMANENTE	ING. RAFAEL FARDO	ING. HERMOGENES SALAZAR	APROBADO LICD. AUGUSTO TARDADO
DEPARTAMENTO TECNICO	PROYECTO MECANICO	REVISADO	FECHA
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO	TEC. RANIERI MESTROMI	ING. RAFAEL FARDO	PLANO Nº
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO	ESCALA 5/E	APROBADO ING. ROLANDO GIRARD	25/34



LISTA DE MATERIALES			
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	Ver Plano N°
1b	CUBO DERECHO	ACERO INOXIDABLE O ACERO FORJADO	10
1a	ARANDELA PARTIDA PARA FIJACION DEL RODETE	ACERO INOXIDABLE	10
2	EJE PRINCIPAL	ACERO FORJADO	11
3	CAJA DE ADMISION E INYECTOR	ACERO ESTRUCTURAL	12
8	TAPAS LATERALES DE LA TURBINA	ACERO ESTRUCTURAL	24
10	BRIDA DE CONEXION A LA CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	26
14	PLANCHA BASE DE LA TURBINA	ACERO ESTRUCTURAL	31

SECCION "1-1" - ENSAMBLAJE FINAL  
ELEVACION-VISTA DESDE LA DESCARGA

SECRETARIA PERMANENTE		ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA	
DEPARTAMENTO TECNICO		OLADE QUITO ECUADOR	
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO		PLANO DE: SECCION "1-1" - ENSAMBLAJE FINAL	
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO		VISTA DESDE LA DESCARGA	
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION
ING. RAFAEL PARDO	ING. RAFAEL PARDO	ING. RAFAEL PARDO	ING. RAFAEL PARDO
PROYECTO INGENIERO	REVISOR	APROBADO	LEDO. AGUSTO TARDAS
TEC. RAMIRO VESTROH	ING. RAFAEL PARDO		PLANO N°
ESCALA	APROBADO		26/34
S/E	ING. ROLANDO GIRARD		



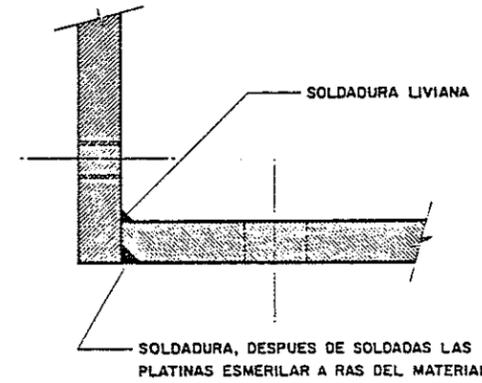
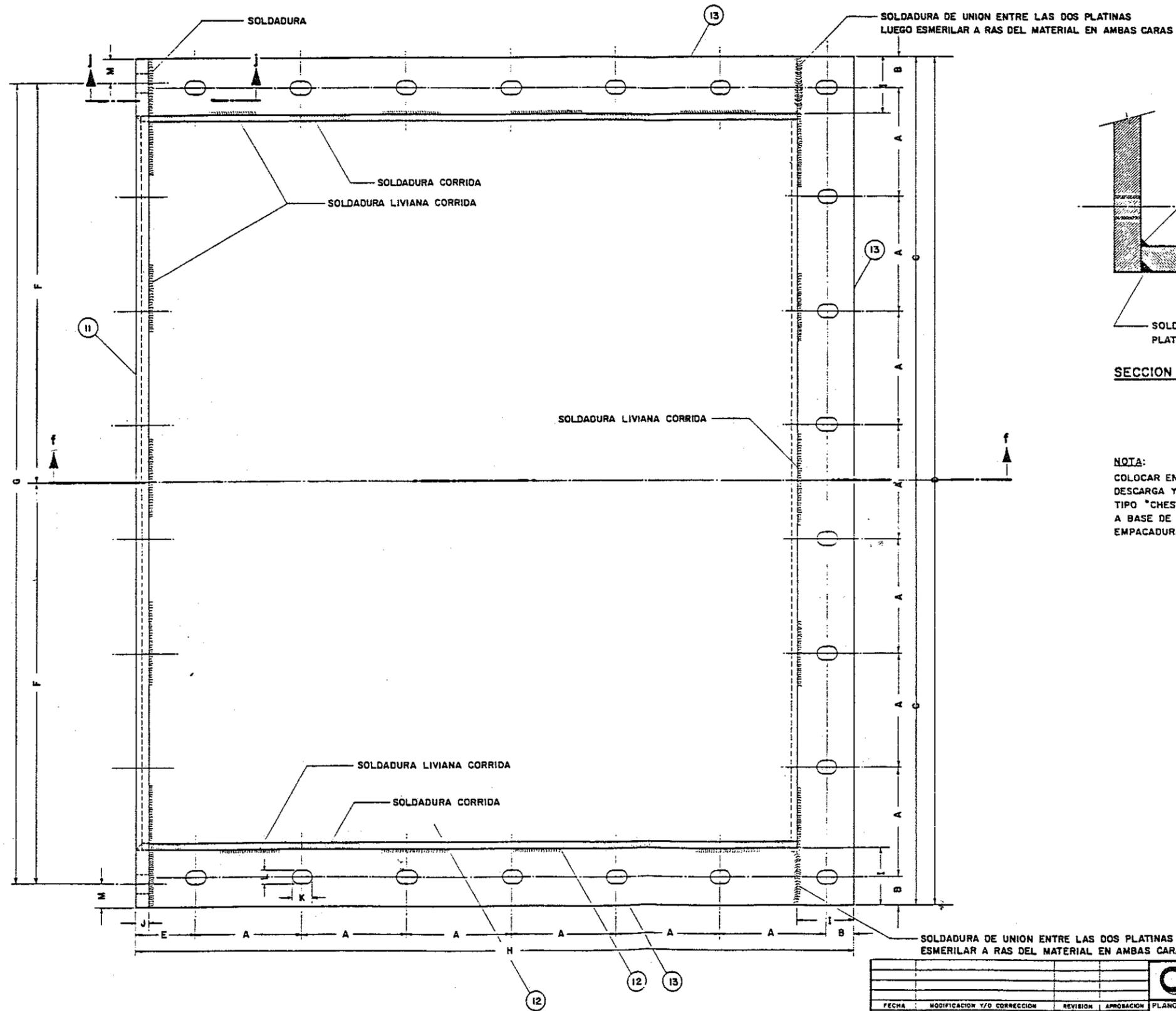
**SECCION "g-g"**  
**DETALLE DE LA**  
**SOLDADURA**

**NOTA:**  
 PLATINA HORIZONTAL SOLDADA A LAS  
 PLATINAS VERTICALES QUE FORMAN  
 EL MARCO DE LA CARCASA DE DESCARGA  
 SOLDAR POR AMBOS LADOS COMO SE  
 INDICA EN EL DETALLE Y ESMERILAR  
 A RAS DEL MATERIAL

LISTA DE COMPONENTES			
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	VER PLANO N°
11	BRIDA DE LA CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	
12	CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	
13	BRIDA BASE DE LA CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	
14	PLANCHA BASE DE LA TURBINA	ACERO ESTRUCTURAL	

**SECCION "2-2"- SUB-ENSAMBLAJE DE LA CARCASA DE DESCARGA**

				ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA			
				QUITO ECUADOR			
				PLANO DE: SECCION "2-2"- SUB-ENSAMBLAJE DE LA CARCASA DE DESCARGA			
				SECRETARIA PERMANENTE			
				DEPARTAMENTO TECNICO			
				PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO			
				TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO			
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION	DISEÑO	REVISADO	APROBADO	PLANO N°
				ING. RAFAEL PARDO	ING. RAFAEL PARDO	ING. RAFAEL PARDO	27/34
				PROYECTO MECANICO	REVISADO	APROBADO	
				TEC. RAMON MESTRON	ING. RAFAEL PARDO	ING. RAFAEL PARDO	
				ESCALA			
				1/E			
						ING. ROLANDO BARRA	



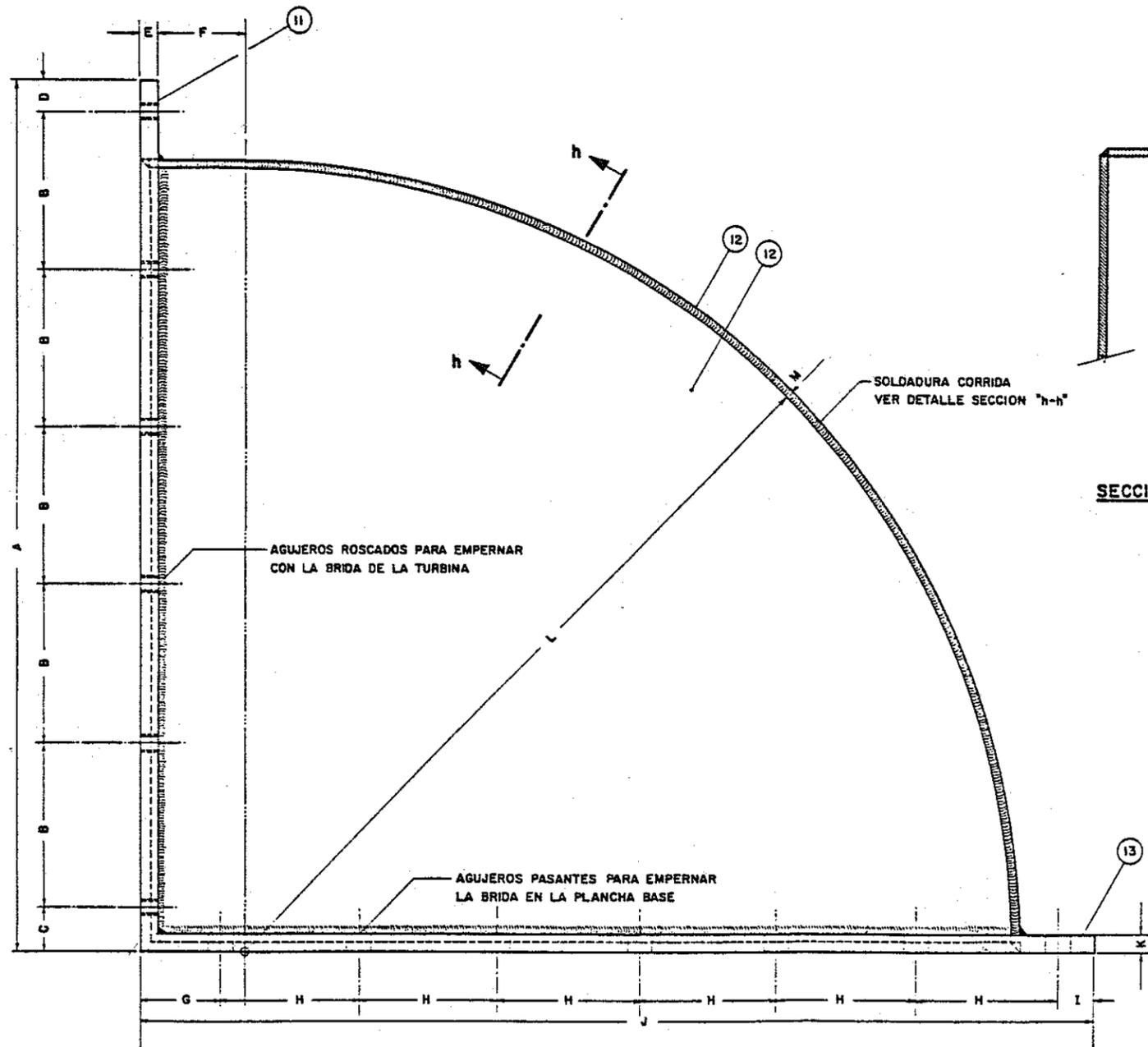
**SECCION "f-f" - DETALLE DE UNION ENTRE LA BRIDA HORIZONTAL Y LA BRIDA VERTICAL**

**NOTA:**  
 COLOCAR ENTRE LA BASE DE LA CARCASA DE DESCARGA Y LA PLANCHA BASE EMPACADURA TIPO "CHESTERTON" DE 1,6 mm. O PEGAMENTO A BASE DE SILICONES COMO SUSTITUTO DE EMPACADURA.

**SUB-ENSAMBLAJE DE LA CARCASA DE DESCARGA-PLANTA**

				ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA	
				<b>Olade</b> QUITO _____ ECUADOR	
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION	PLANO DE: SUB-ENSAMBLAJE DE LA CARCASA DE DESCARGA-PLANTA	
SECRETARIA PERMANENTE DEPARTAMENTO TECNICO				ING. RAFAEL PARDO	ING. HERMOGENES BAJARA
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO				TEC. RAHNER MERTSCH	ING. RAFAEL PARDO
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO				S/E.	ING. ROLANDO GIRARD
					<b>28/34</b>





**SECCION "h-h" - DETALLE DE UNION DE LAS CHAPAS SUPERIOR Y LATERAL-SOLDADURA ESQUINERA**

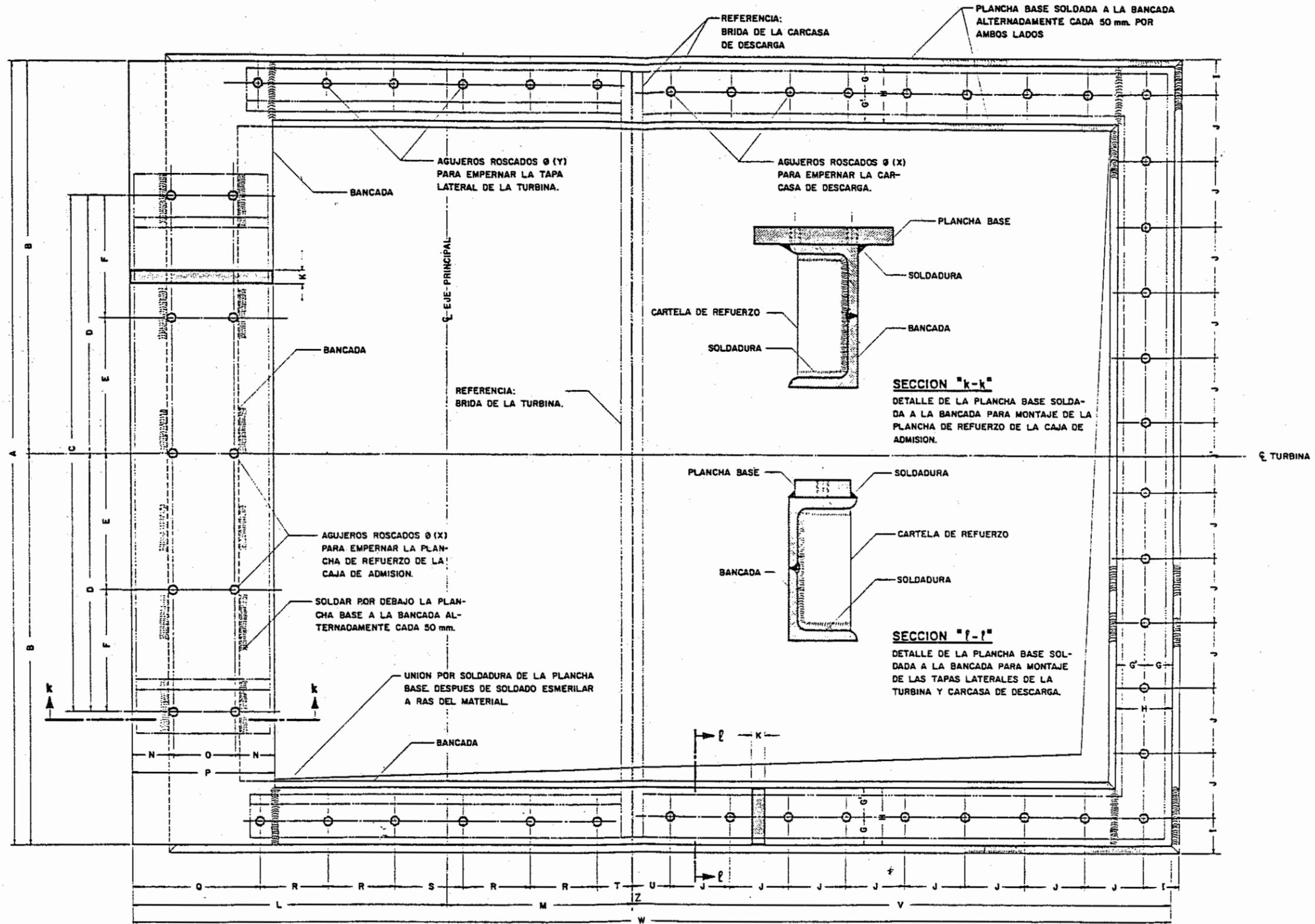
**SUB-ENSAMBLAJE DE LA CARCASA DE DESCARGA-ELEVACION LATERAL DERECHA**

MATERIAL: BRIDAS Y CHAPAS DE ACERO ESTRUCTURAL

POS.	DENOMINACION	MATERIAL	VER PLANO N°
13	BRIDA BASE DE LA CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	28
12	CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	29
11	BRIDA DE LA CARCASA DE DESCARGA	ACERO ESTRUCTURAL	27

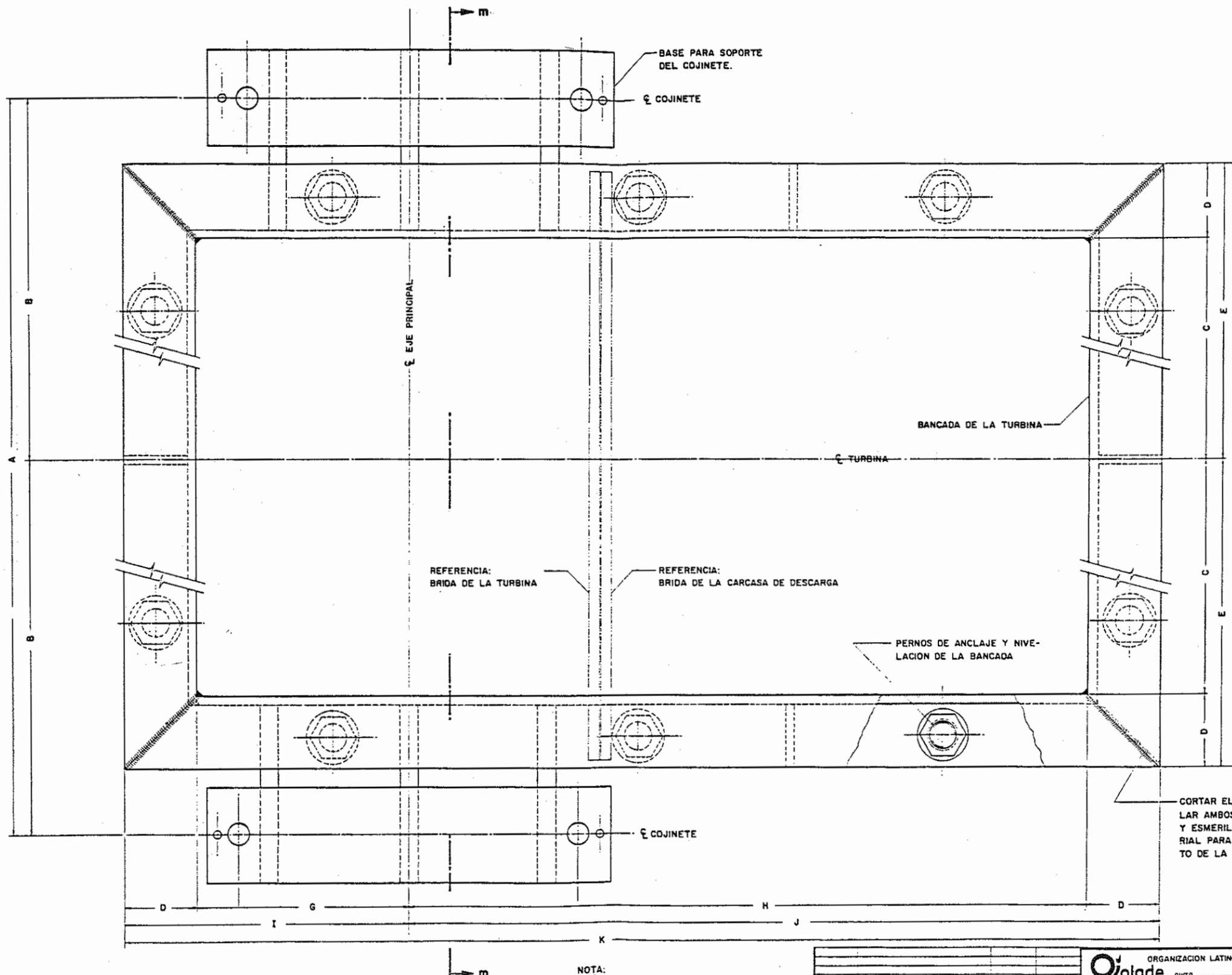
LISTA DE COMPONENTES

		ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA QUITO _____ ECUADOR	
FECHA: _____ MODIFICACION Y/O CORRECCION: _____ REVISION: _____ APROBACION: _____		PLANO DE: SUB-ENSAMBLAJE DE LA CARCASA DE DESCARGA-ELEVACION LATERAL DERECHA	
SECRETARIA PERMANENTE DEPARTAMENTO TECNICO		DISEÑADOR: ING. RAFAEL PARDO	DIBUJANTE: HERMOGENES BAJAÑA
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO		APROBADO: LICD. ALBERTO TAMAYO	FECHA: _____ PLANO N°: <b>30/34</b>
		INGENIERO EN JEFE: ING. RAFAEL PARDO	INGENIERO: ING. MOLANDO SUARO



PIEZA N° 14-PLANCHA BASE DE LA TURBINA-PLANTA

ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA		QUITO _____ ECUADOR	
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION
SECRETARIA PERMANENTE			
DEPARTAMENTO TECNICO			
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO			
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZAQO			
PLANO DE:	PIEZA N° 14-PLANCHA BASE DE LA TURBINA-PLANTA.		
DISEÑO	REVISOR	APROBADO	
ING. RAFAEL PARDO	ING. HERMOGENES BARRERA	ING. AUGUSTO TARRAZO	
ING. RAFAEL PARDO	ING. RAFAEL PARDO	ING. RAFAEL PARDO	
ING. RAFAEL PARDO	ING. RAFAEL PARDO	ING. RAFAEL PARDO	
3/E	ING. ROLANDO GIRARD		31/34



REFERENCIA:  
BRIDA DE LA TURBINA

REFERENCIA:  
BRIDA DE LA CARCASA DE DESCARGA

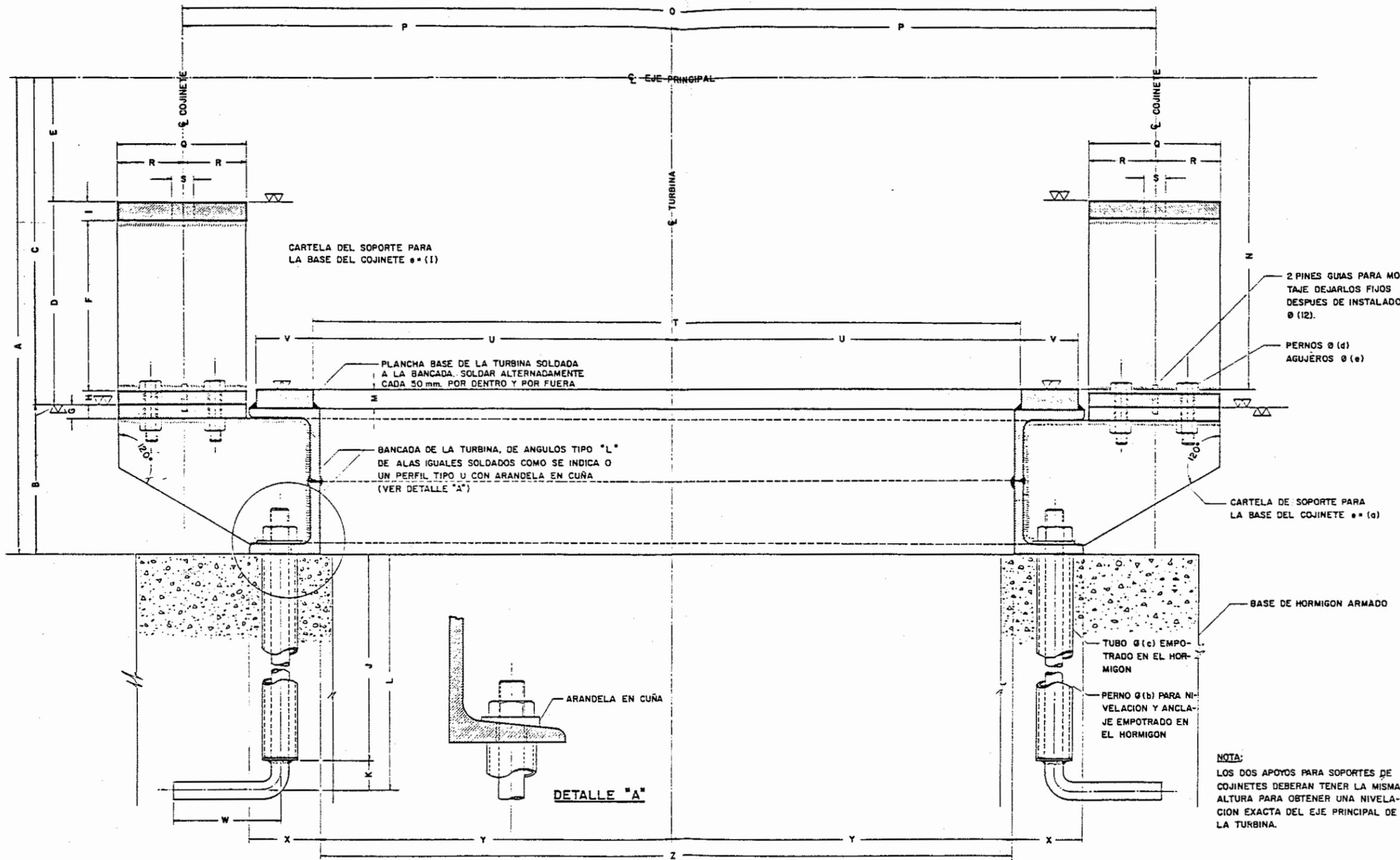
PERNOS DE ANCLAJE Y NIVELACION DE LA BANCADA

CORTAR EL PERFIL A 45°, BISELAR AMBOS PERFILES, SOLDAR Y ESMERILAR A RAS DEL MATERIAL PARA UN BUEN ASENTAMIENTO DE LA TURBINA.

**PLANTA DE LA BANCADA (BASE) DE LA TURBINA**  
(NO INCLUYE LA PLANCHA BASE PARA MAYOR CLARIDAD EN LA VISTA)

NOTA:  
LA CANTIDAD DE PERNOS DE ANCLAJE Y NIVELACION QUEDARA A CRITERIO DEL INGENIERO O EMPRESA FABRICANTE

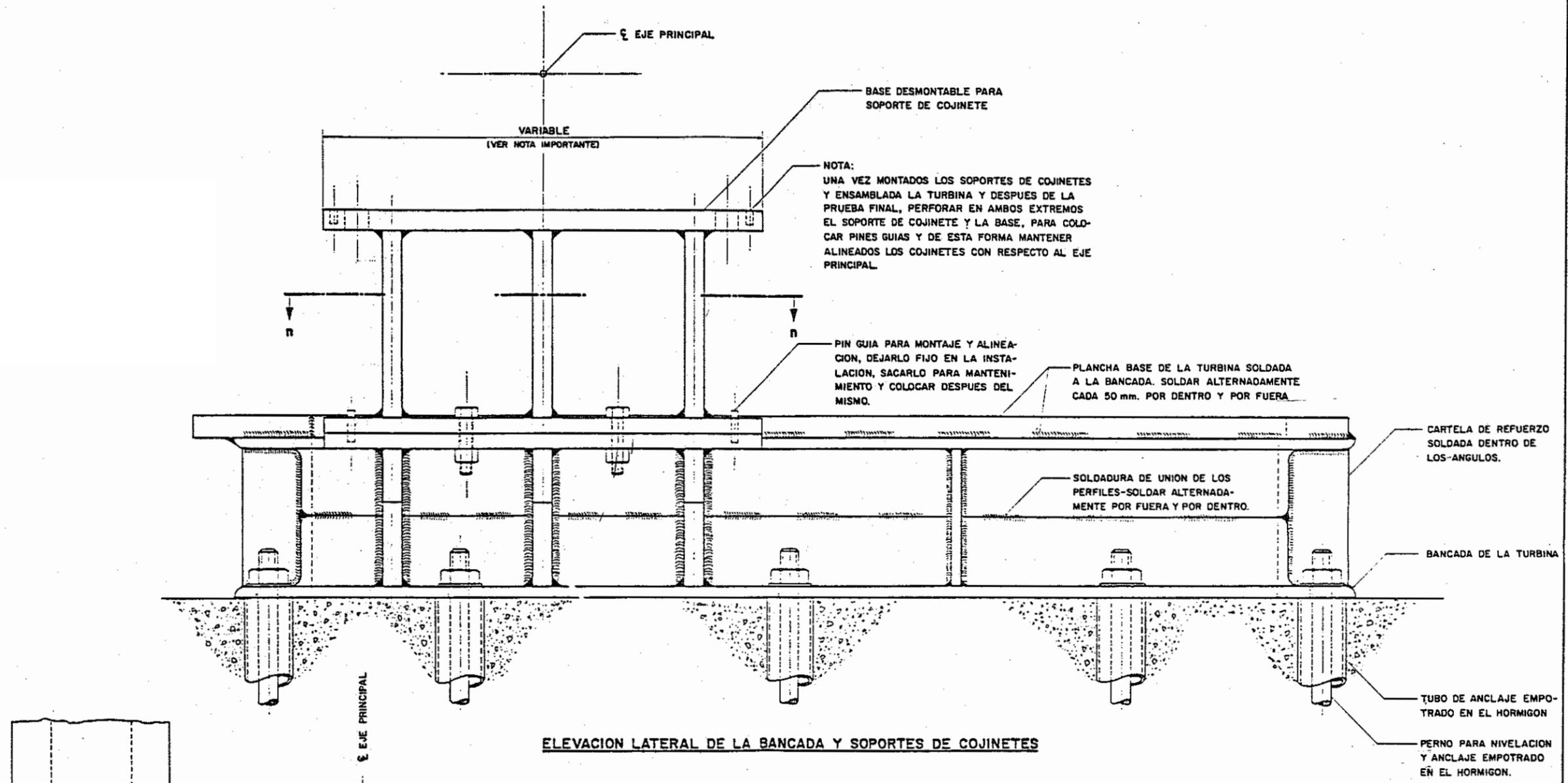
				ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA	
				OLADE QUITO EQUADOR	
				PLANO DE:	
				PLANTA DE LA BANCADA (BASE) DE LA TURBINA	
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION	DISEÑO	APROBADO
				ING. RAFAEL PARDO	LCCO. AUGUSTO TOROZO
SECRETARIA PERMANENTE			DEPARTAMENTO TECNICO		
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO			TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO		
DISEÑO	REVISADO	APROBADO	FECHA	PLANO N°	
ING. RAFAEL PARDO	ING. RAFAEL PARDO	ING. RAFAEL PARDO			
PROYECTO MECANICO	PROYECTO MECANICO	PROYECTO MECANICO			
TEC. RAMIERI MESTRONI	ING. RAFAEL PARDO	ING. RAFAEL PARDO			
ESCALA	APROBADO	ING. ROLANDO GIRARD			
	S/E.				32/34



SECCION "m-m" - CORTE TRANSVERSAL DE LA BANCADA

NOTA:  
EL DIMENSIONAMIENTO DE LA BASE DEL SOPORTE DE COJINETE Y LAS CARTELAS, ES SOLAMENTE INDICATIVO, COMO TAMBIEN EL DISEÑO DE LA BANCADA, YA QUE PUEDE VARIAR DE ACUERDO AL CRITERIO O DISEÑO DEL FABRICANTE.

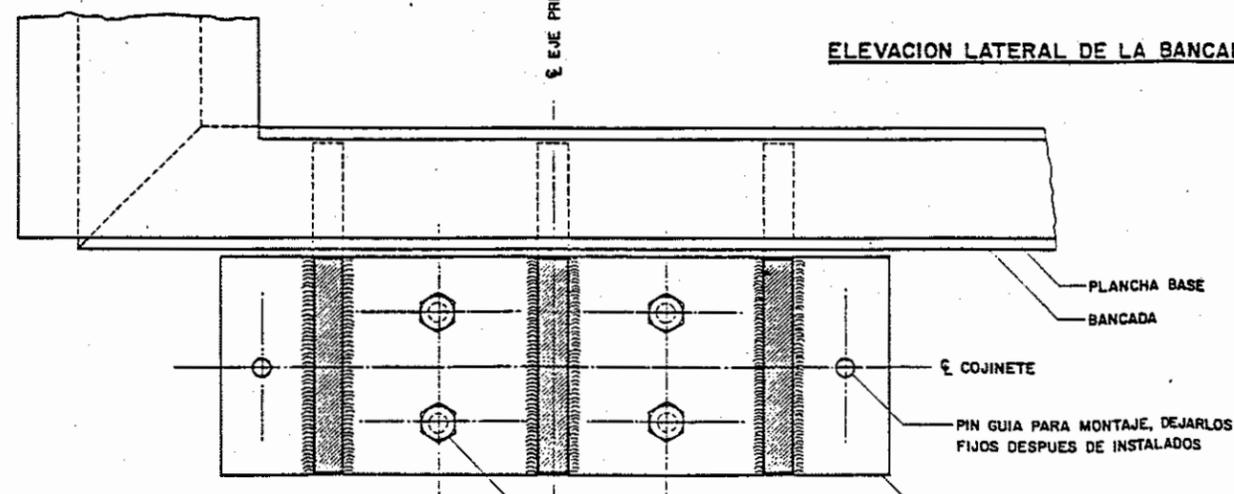
		ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA <b>Olaide</b> QUITO ECUADOR	
FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION
SECRETARIA PERMANENTE DEPARTAMENTO TECNICO		PLANO DE: SECCION "m-m" - CORTE TRANSVERSAL DE LA BANCADA	
DISEÑO: INGENIERO	DISEÑO: INGENIERO	APROBADO: INGENIERO	FECHA: / /
INS. RAFAEL PARDO	INS. RAFAEL PARDO	INS. RAFAEL PARDO	INS. RAFAEL PARDO
PROYECTO: MESTRON	PROYECTO: MESTRON	PROYECTO: MESTRON	PROYECTO: MESTRON
TEC. RAMON MESTRON	TEC. RAMON MESTRON	TEC. RAMON MESTRON	TEC. RAMON MESTRON
ESCALA: 5/E	ESCALA: 5/E	ESCALA: 5/E	ESCALA: 5/E
		ING. ROLANDO BRARO	
			33/34



NOTA:  
 UNA VEZ MONTADOS LOS SOPORTES DE COJINETES Y ENSAMBLADA LA TURBINA Y DESPUES DE LA PRUEBA FINAL, PERFORAR EN AMBOS EXTREMOS EL SOPORTE DE COJINETE Y LA BASE, PARA COLOCAR PINES GUIAS Y DE ESTA FORMA MANTENER ALINEADOS LOS COJINETES CON RESPECTO AL EJE PRINCIPAL.

PLANCHA BASE DE LA TURBINA SOLDADA A LA BANCADA. SOLDAR ALTERNADAMENTE CADA 50 mm. POR DENTRO Y POR FUERA

ELEVACION LATERAL DE LA BANCADA Y SOPORTES DE COJINETES

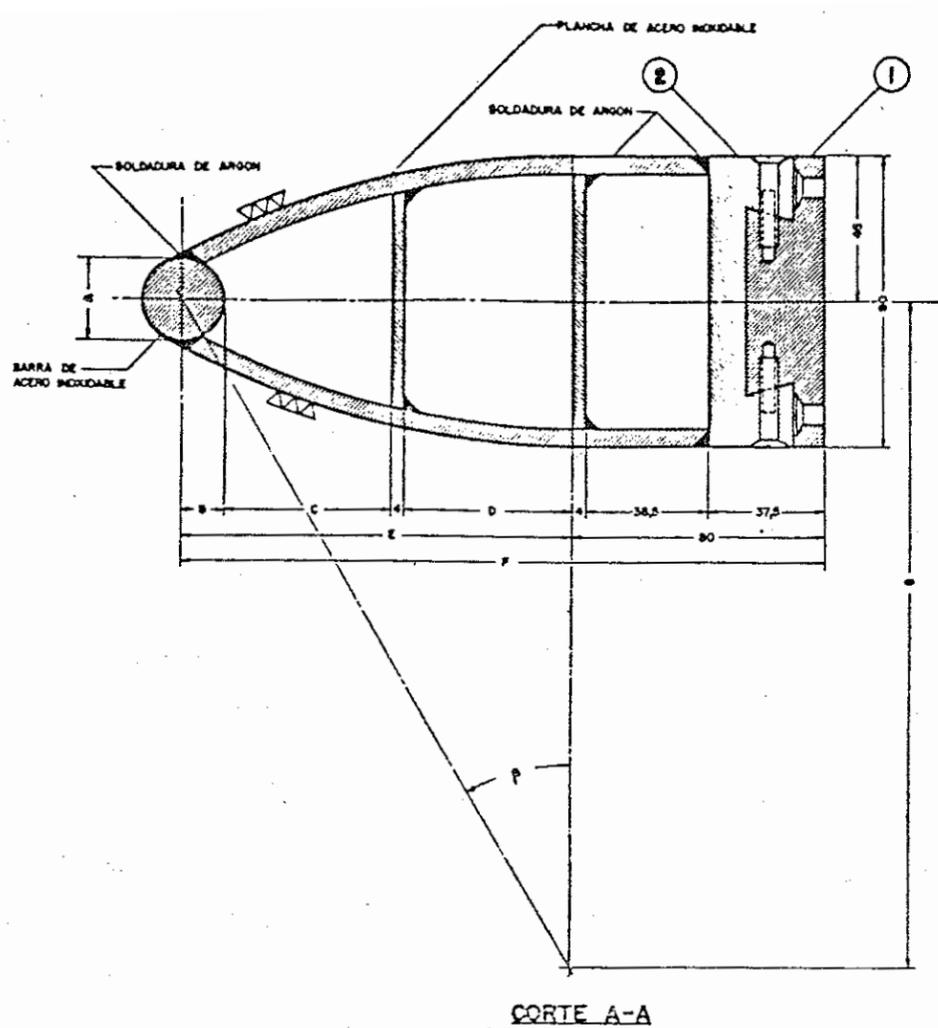


SECCION "n-n"  
 DETALLE DE FABRICACION DE LA BASE DE COJINETES.

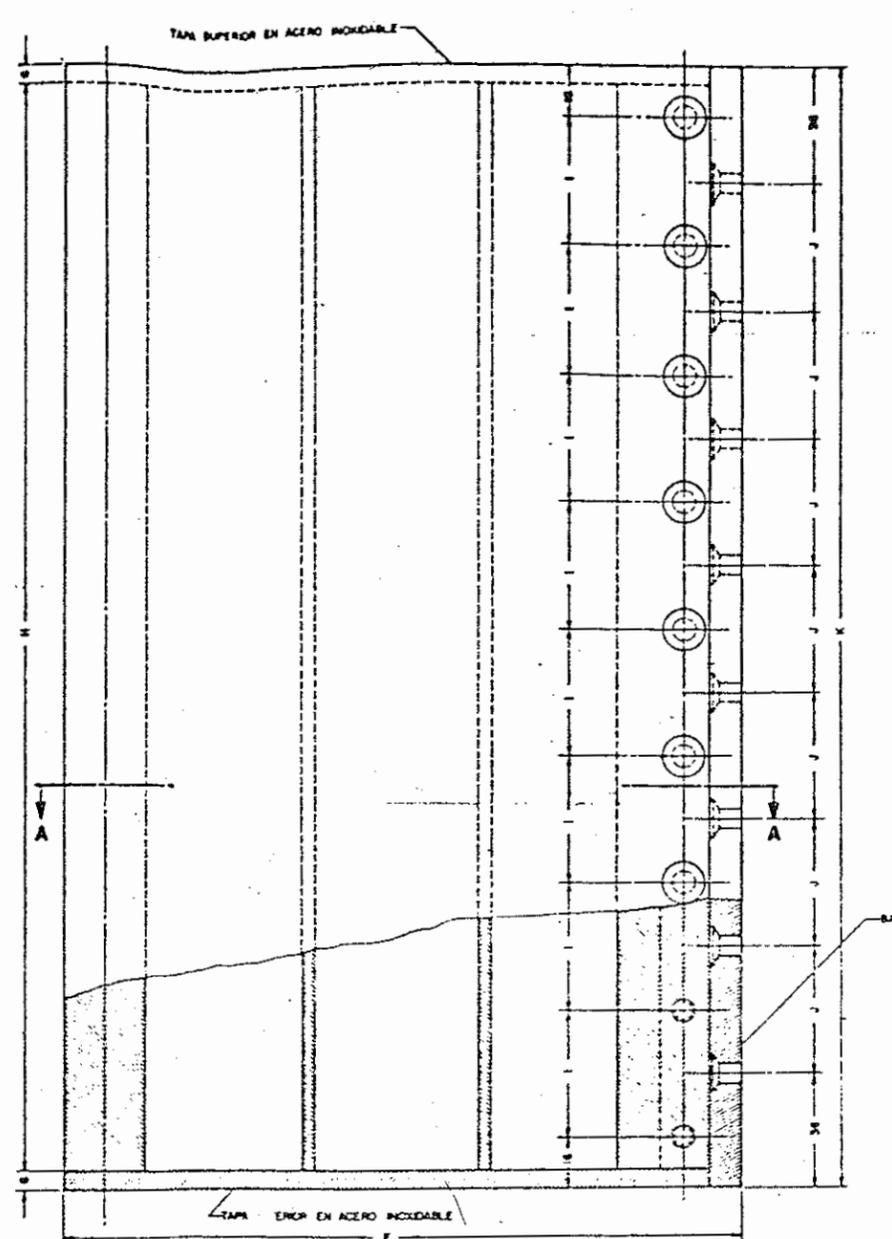
NOTA IMPORTANTE:  
 NO SE DIMENSIONA LA BASE DE COJINETE NI LOS ESPESORES DE LAS CARTELAS YA QUE ESTE DIMENSIONAMIENTO QUEDA DE ACUERDO AL CRITERIO DE LA MARCA DE SOPORTES Y COJINETES SELECCIONADOS POR EL FABRICANTE. EL DISEÑO DE LA BANCADA PUEDE VARIAR DE ACUERDO AL CRITERIO DEL FABRICANTE.

ORGANIZACION LATINOAMERICA DE ENERGIA				PLANO DE	
SECRETARIA PERMANENTE				ELEVACION LATERAL DE LA BANCADA Y SOPORTES DE COJINETES	
DEPARTAMENTO TECNICO				APROBADO	
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO				FECHA	
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO				PLANO #	
				ESCALA	
				3 / E	

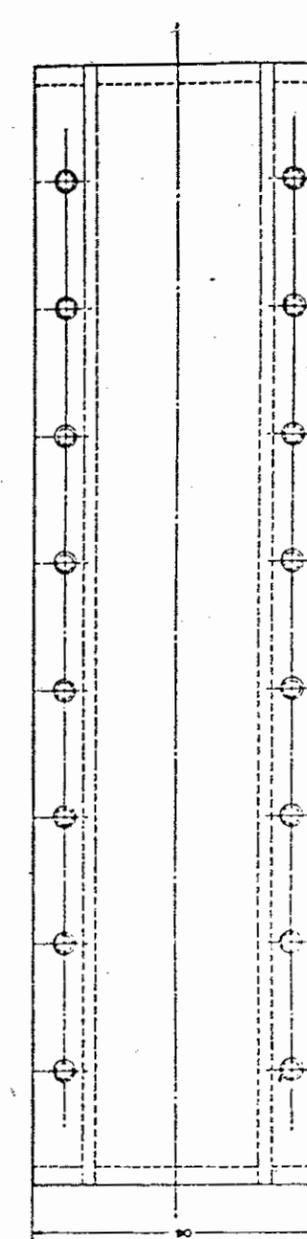
ING. RAFAEL PARDO	ING. HERMOGENES BARRERA	ING. ALBERTO TANCAZO
PROYECTO MECANICO	REVISADO	FECHA
TEC. RAMIRO BUSTROMI	ING. RAFAEL PARDO	PLANO #
ESCALA	APROBADO	34/34
	ING. ROLANDO BARRA	



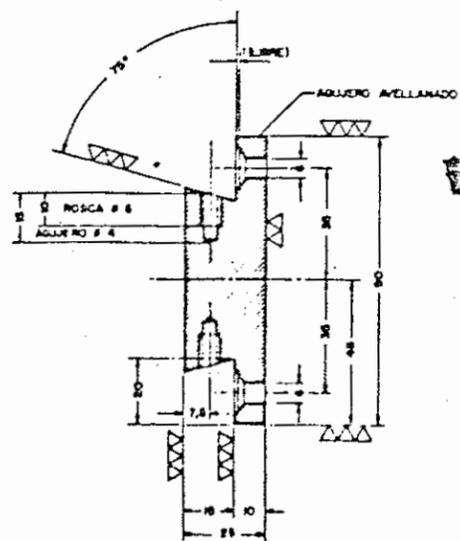
CORTE A-A



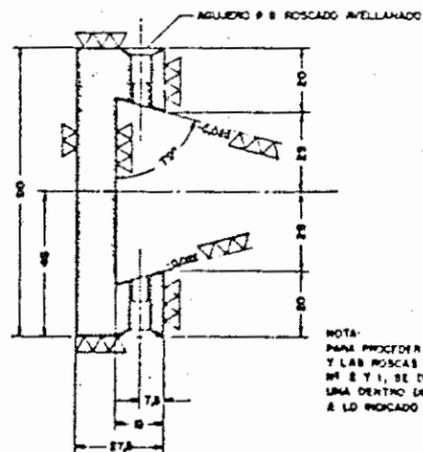
ELEVACION FRONTAL



ELEVACION POSTERIOR



PIEZA N° 1 - BASE DEL DEFLECTOR DE FLUJO  
EMPERNADA A LA BRIDA QUE CONECTA A LA  
TUBERIA FORZADA  
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE



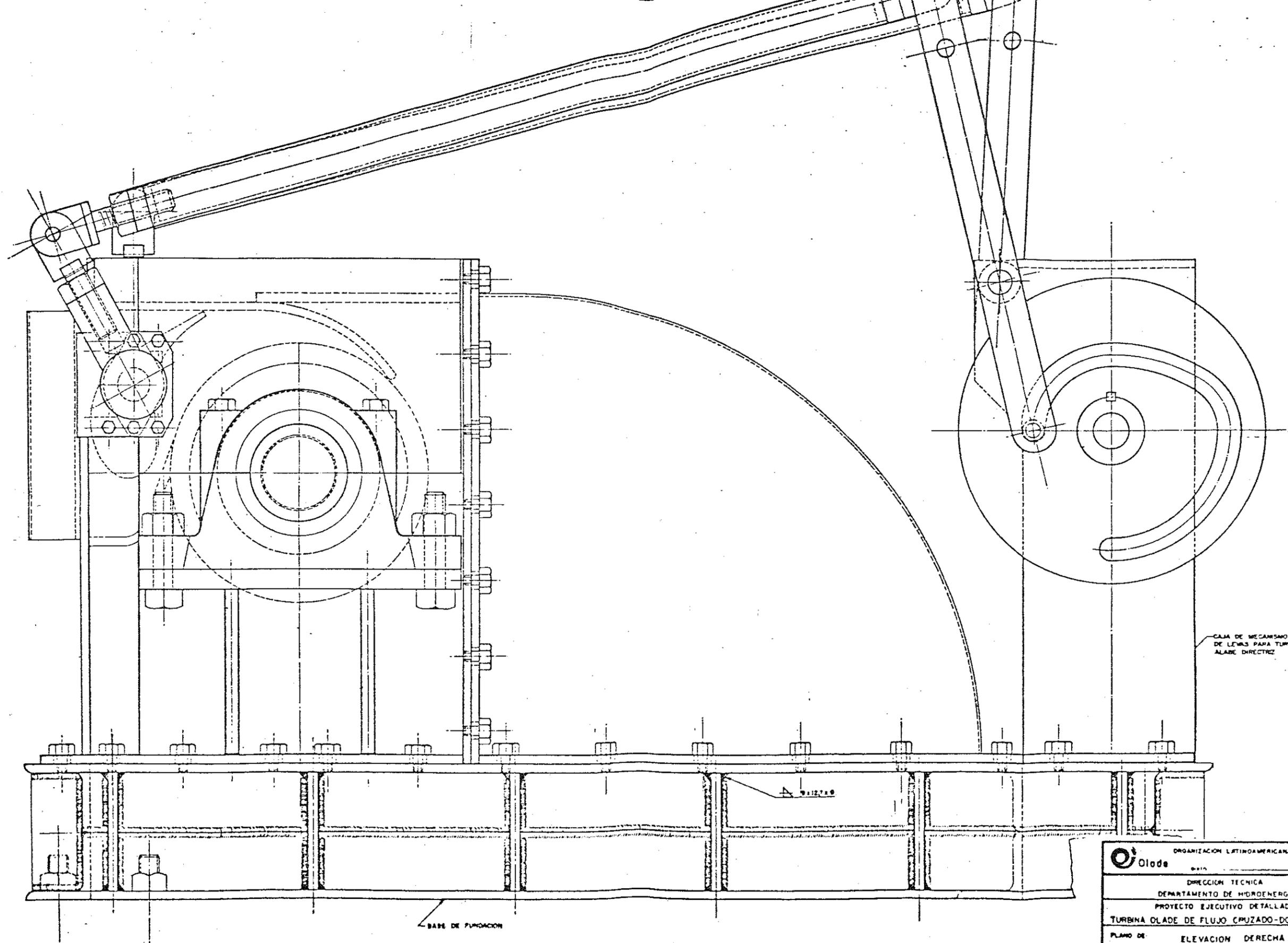
PIEZA N° 2 - DESLIZADOR DEL DEFLECTOR  
DE FLUJO EMPERNADO A LA BASE  
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE

NOTA:  
PARA PROCEDER A HACER LOS AGUJEROS  
Y LAS ROSCAS DE UNION ENTRE LAS PIEZAS  
N° 1 Y 2, SE DEBEN COLOCAR LAS PIEZAS  
UNA DENTRO DE LA OTRA Y LUEGO PROCEDER  
A LO INDICADO

BIBIOLLO	TABLA DE DIMENSIONES (mm)								
	TURBINA TIPO								
	21 A	22 A	22 B	24 C	25 B	41 B	42 B	43 B	RODETE ROTOR
A	20	20	20	20	20	28	28	28	28
B	10	10	10	10	10	12,5	12,5	12,5	12,5
C	28	28	28	28	28	31	32	32	32
D	28	28	28	28	28	31,5	31,5	31,5	31,5
E	70	70	70	70	70	80	80	80	80
F	100	100	100	100	100	100	100	100	100
G	53	53	53	53	53	104,5	104,5	104,5	104,5
H	250	250	250	250	250	237	237	237	237
I	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	29,5	29,5	29,5	29,5
J	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	29,5	29,5	29,5	29,5
K	282	282	282	282	282	349	349	349	349
L	27°-30'	27°-30'	27°-30'	27°-30'	27°-30'	30°-5'	30°-5'	30°-5'	30°-5'

FECHA	BOQUEADOR	T/D	CONECTOR	REVISOR	APROBACION
-------	-----------	-----	----------	---------	------------

ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
 PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO  
 TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO-DOBLE ENTRADA  
 PLANO DE:  
 DEFLECTOR DE FLUJO  
 35

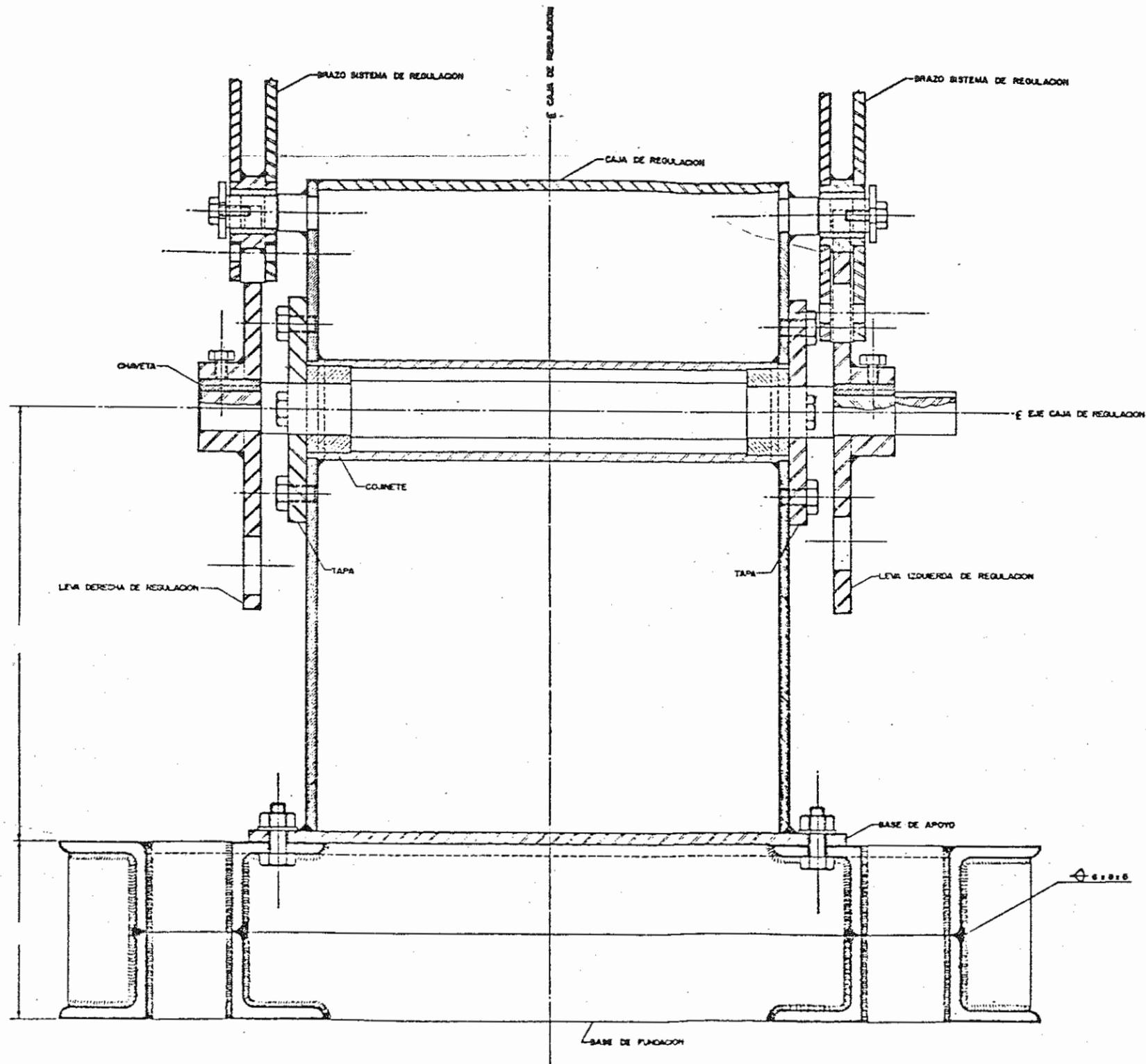


CAJA DE MECANISMO DE REGULACION DE LEVAS PARA TURBINAS DE DOBLE ALABE DIRECTOZ

BASE DE FUNDACION

 ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA		
DIRECCION TECNICA DEPARTAMENTO DE HIDROENERGIA PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO		
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO-DOBLE ENTRADA		
PLANO DE ELEVACION DERECHA		
ELABORADO POR: DISEÑADO POR: REVISADO POR:	MARCO OLIVE MAYO DE 1988	36





FECHA	MODIFICACION	T/D	CORRECCION	REVISOR	APROBACION

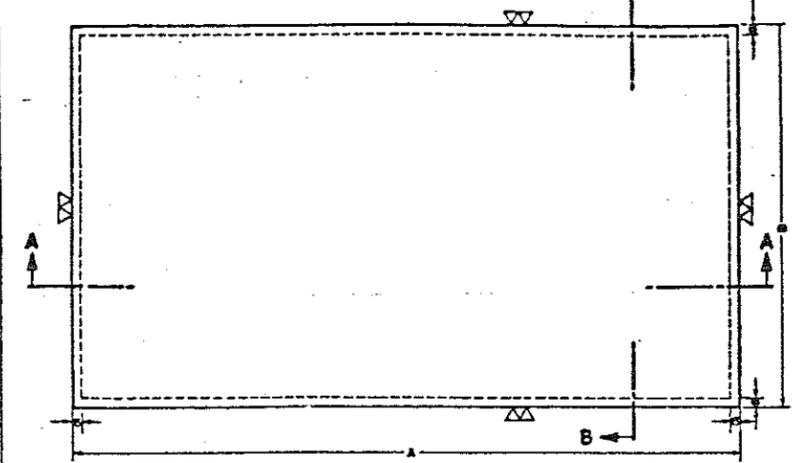
 ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA QUITO - GUAYAS - QUITO - QUITO	
DIRECCION TECNICA DEPARTAMENTO DE HIDROENERGIA PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO	
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO-DOBLE ENTRADA PLANO DE: CAJA SOPORTE DE LEVAS CORTE MERIDIONAL	
DISEÑADO: OLADE	REVISADO: MARCELO RUIZ
APROBADO: ING.	FECHA: 1958
ESCALA: 1:1	HOJA NO: 38

LISTA Y ESPECIFICACIONES DE MATERIALES

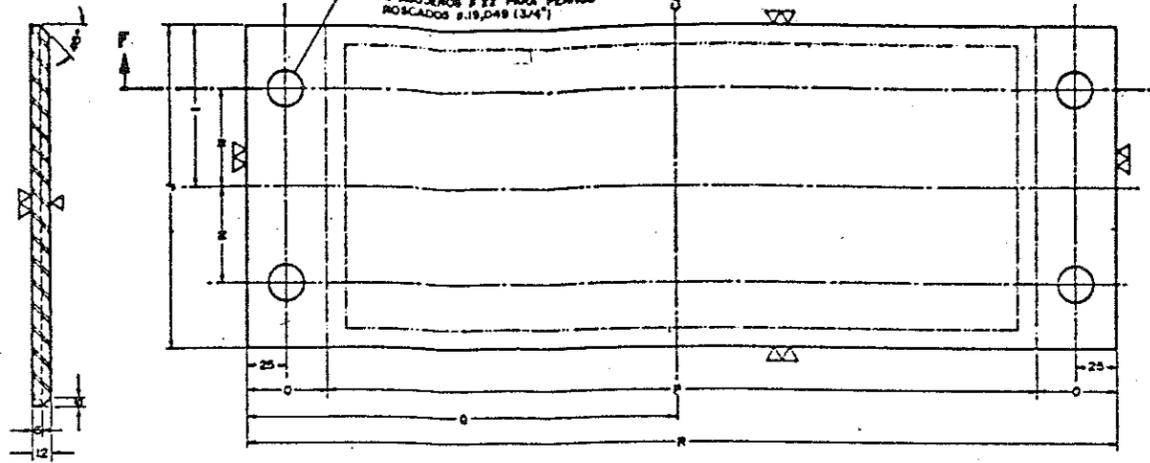
Nº DE CANTOS O DOS PZAS	DESCRIPCION	EMPLACACION DEL MATERIAL	PEZO DE LA PZAS	ORIENTACION
1	1	TAPA DE LA CAJA	ACERO ESTRUCTURAL	
2	2	TAPA LATERAL	ACERO ESTRUCTURAL	
3	1	PLANCHA BASE DE LA CAJA	ACERO ESTRUCTURAL	
4	1	SECCION FRONTAL SUPERIOR DE LA CAJA	ACERO ESTRUCTURAL	

NOTA: DESPUES DE ARMADAS Y SOLDADAS LAS PIEZAS, SE PROCEDERA A DAR UN BAÑO DE GALVANIZACION.

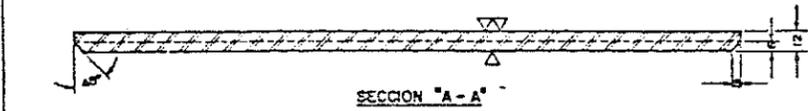
SERIE	TABLA DE DIMENSIONES (MM)							
	CAJA DEL MECANISMO DE REGULACION DE LEVAS							
	TURBINA TIPO							
	31 A	32 A	33 B	34 C	35 B	41 B	42 B	43 B
A	—	—	548	416	506	622	782	982
B	—	—	236	236	236	323	323	323
C	—	—	260	260	260	347	347	347
D	—	—	160	160	160	204	204	204
E	—	—	130	130	130	174	174	174
F	—	—	106	106	106	164	164	164
G	—	—	175	175	175	233	233	233
H	—	—	120	120	120	120	120	120
I	—	—	100	100	100	143	143	143
J	—	—	200	200	200	286	286	286
K	—	—	210	210	210	268	268	268
L	—	—	330	340	420	437	467	467
M	—	—	540	550	630	705	730	730
N	—	—	60	60	60	83,5	83,5	83,5
O	—	—	50	50	50	50	50	50
P	—	—	370	440	530	648	806	1006
Q	—	—	236	270	345	373	453	553
R	—	—	470	540	630	746	806	1106
S	—	—	175	208	253	341	381	454
T	—	—	103	103	103	161	161	161
U	—	—	90	100	110	120	130	150
V	—	—	150	150	150	170	180	180



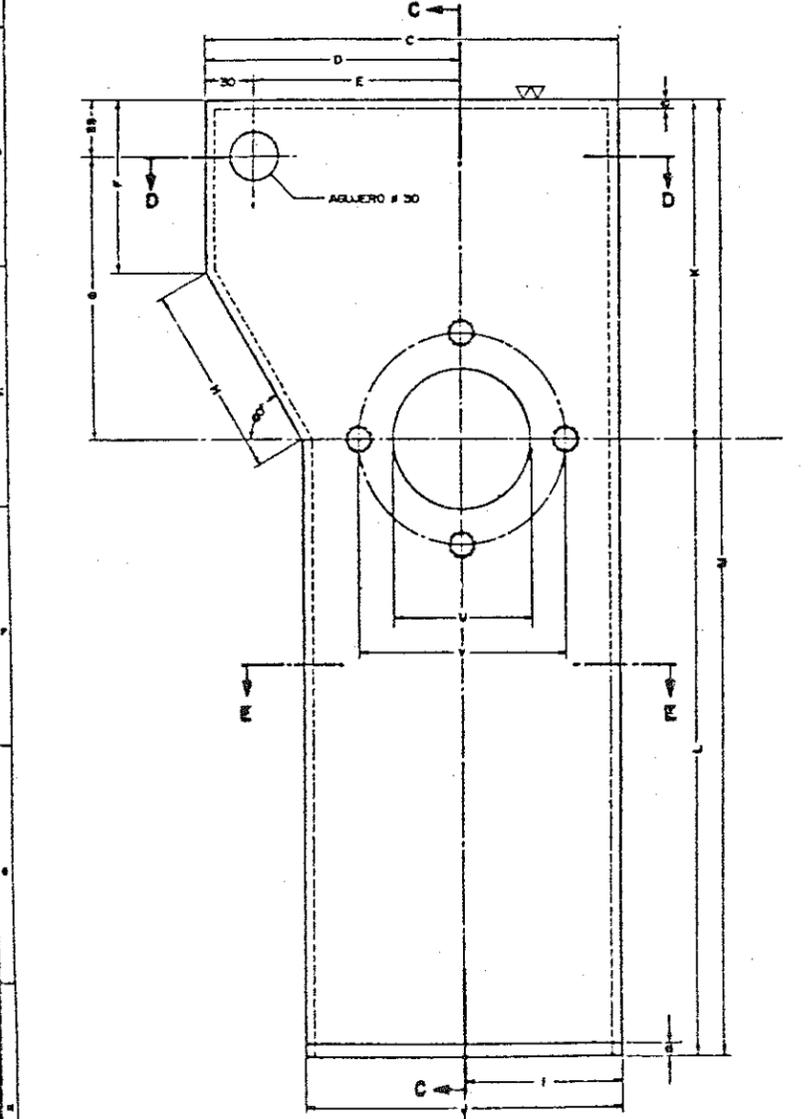
PIEZA N° 1 - TAPA DE LA CAJA



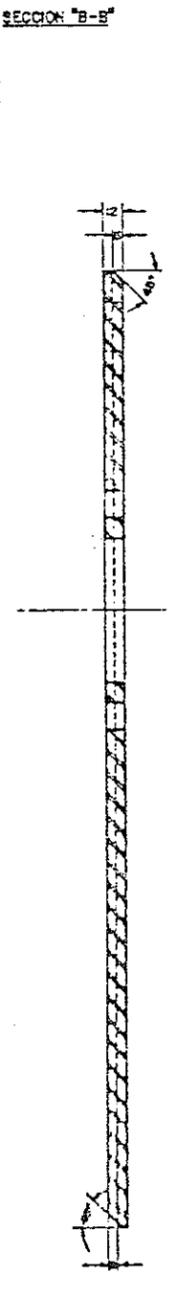
PIEZA N° 3 - PLANCHA BASE DE LA CAJA



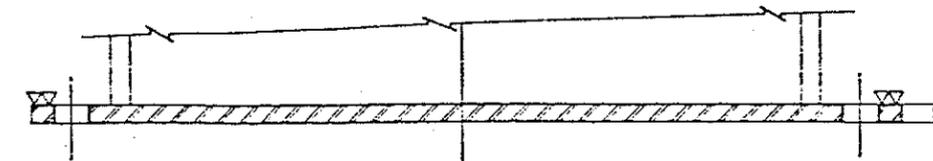
SECCION "A-A"



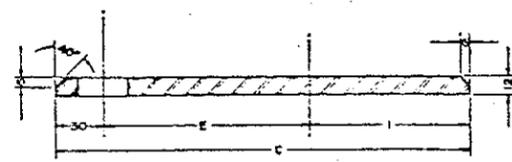
PIEZA N° 2 - TAPA LATERAL



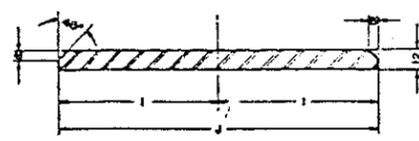
SECCION "B-B"



SECCION "F-F"

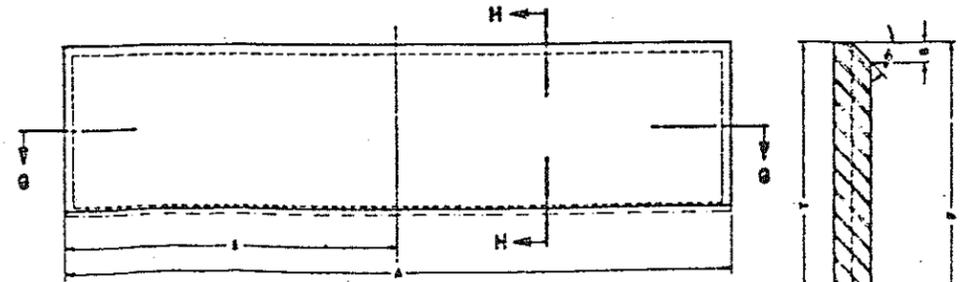


SECCION "D-D"

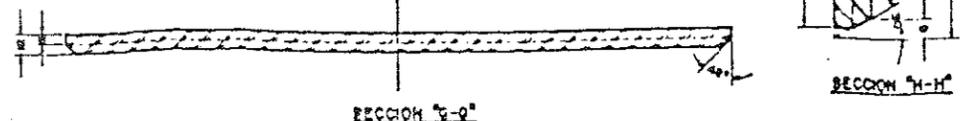


SECCION "E-E"

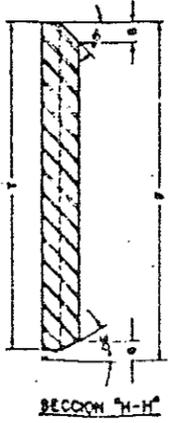
NOTA IMPORTANTE:  
PARA LA FABRICACION DE LA PIEZA N° 2, SE DEBE TENER EN CUENTA QUE UNA ES DERECHA Y OTRA ES IZQUIERDA, POR LO TANTO LOS BUELES PARA SOLDADURAS DEBEN SER ENCONTRADOS CUANDO LAS DOS PIEZAS SE PONGAN UNA AL LADO DE LA OTRA, POR LAS PARTES INTERNAS.



PIEZA N° 4 - SECCION FRONTAL SUPERIOR DE LA CAJA



SECCION "G-G"



SECCION "H-H"

NOTA:  
PARA LA FABRICACION DE LA PIEZA N° 4 SE PROCEDERA A CONTARLA SEGUN DIMENSION "T", SE PROCEDE LUEGO CON EL CEPILLO MECANICO, EN LA PARTE SUPERIOR, A DAR UN ANGULO DE 45° Y EN LA PARTE INFERIOR UN ANGULO DE 30° UNA VEZ OBTENIDO ESTO, SE HARA UN SEGUNDO CEPILLADO EN LA PARTE INFERIOR DE LA CARA EXTERNA DE LA PLANCHA DANDO UN ANGULO DE 45° QUEDANDO UNA DIMENSION SEGUN "T".

PLANO	MODIFICACION	FECHA	APROBACION

ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA  
**Olade** DATO: \_\_\_\_\_ ESCUADOR  
 DIRECCION TECNICA  
 DEPARTAMENTO DE HIDROENERGIA  
 PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO  
 TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO-DOBLE ENTRADA  
 PLANO DE: SUB-ENSAMBLAJE - CAJA DEL MECANISMO DE REGULACION DE LEVAS - DESPIECE  
 ELABORADO POR: \_\_\_\_\_  
 REVISADO POR: \_\_\_\_\_  
 APROBADO POR: \_\_\_\_\_  
 FECHA DE: \_\_\_\_\_  
 39

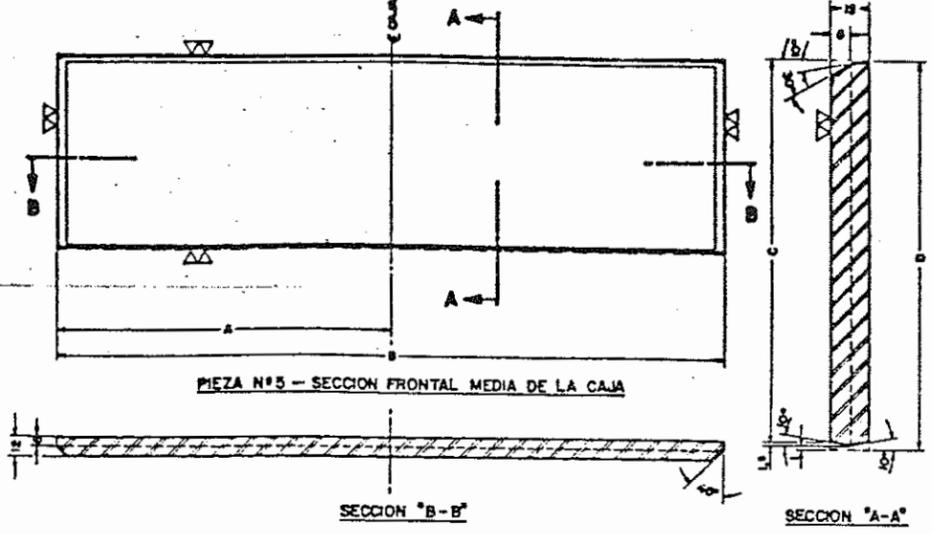
**LISTA Y ESPECIFICACIONES DE MATERIALES**

NO. DE LISTA DE ORDEN PIEZAS	DESCRIPCION	ESPECIFICACION DEL MATERIAL	PESO DE LA PIEZA	OBSERVACIONES
5	1	SECCION FRONTAL MEDIA	ACERO ESTRUCTURAL	
6	1	SECCION FRONTAL INFERIOR	ACERO ESTRUCTURAL	
7	1	TAPA POSTERIOR	ACERO ESTRUCTURAL	
8	1	RETENEDOR DE BUJE	ACERO ESTRUCTURAL	

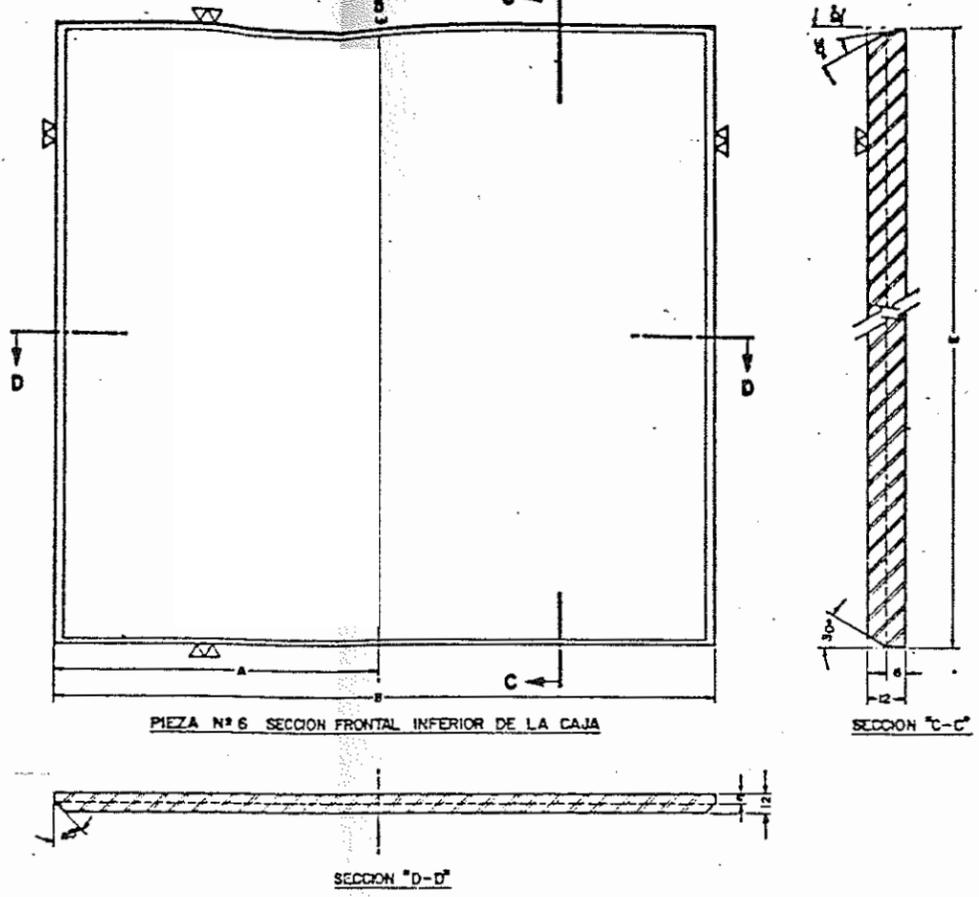
NOTA: DESPUES DE ARMADAS Y SOLDADAS LAS PIEZAS, SE PROCEDERA A DAR UN BAÑO DE GALVANIZACION.

**TABLA DE DIMENSIONES (mm)**  
CAJA DEL MECANISMO DE REGULACION DE LEVAS

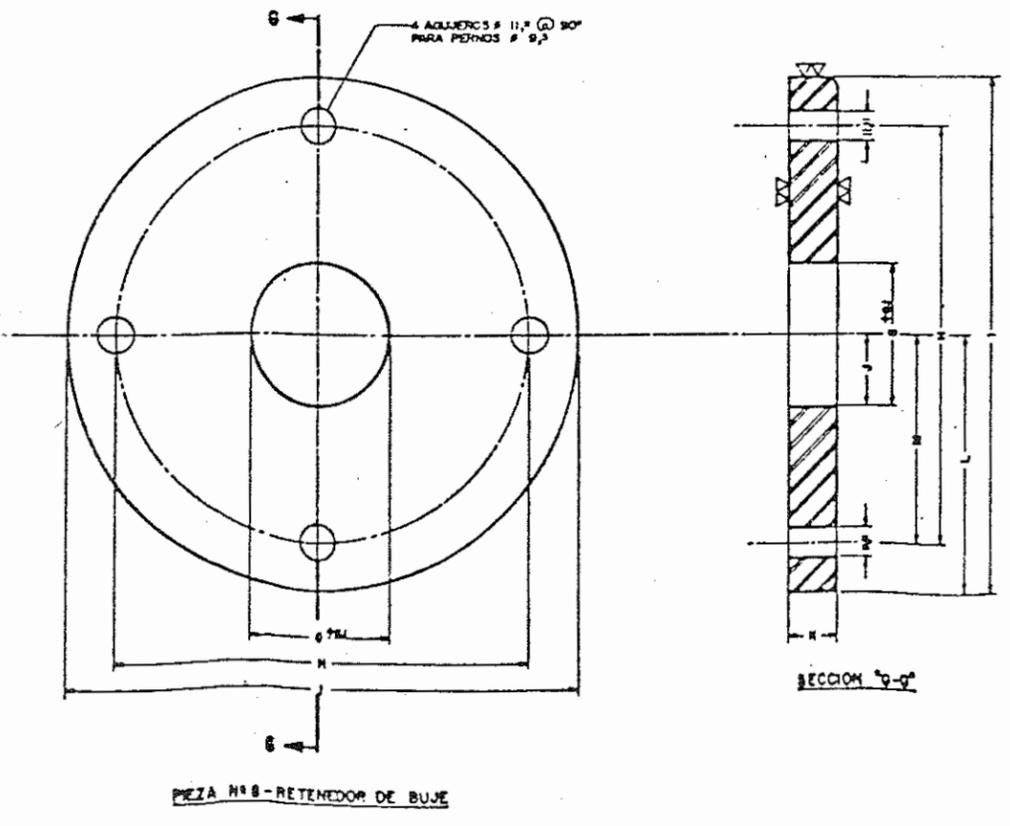
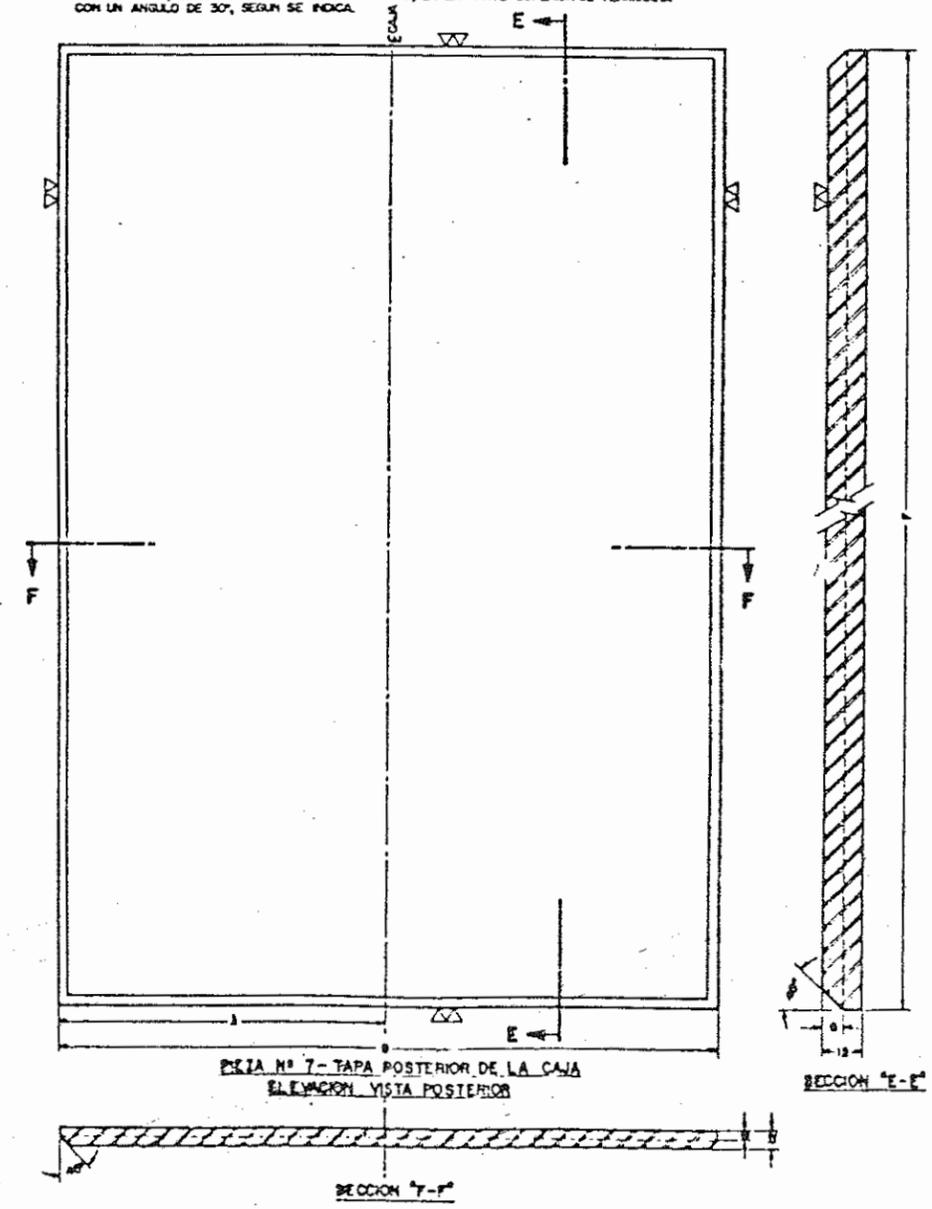
TURBINA TIPO	TURBINA TIPO							
	31 A	32 A	33 B	34 C	35 B	41 B	42 B	43 B
A	—	—	173	208	253	311	391	491
B	—	—	346	416	506	622	782	982
C	—	—	117,5	117,5	117,5	117,5	117,5	117,5
D	—	—	120	120	120	120	120	120
E	—	—	106	106	106	164	164	164
F	—	—	540	550	630	705	735	735
G	—	—	90	100	110	120	130	130
H	—	—	150	150	150	170	180	180
I	—	—	200	200	200	220	230	230
J	—	—	45	50	55	60	65	65
K	—	—	10	10	10	12	12	12
L	—	—	100	100	100	110	115	115
M	—	—	75	75	75	85	90	90



NOTA: PARA LA FABRICACION DE LA PIEZA N° 5 SE PROCEDERA A CORTARLA SEGUN DIMENSION "D" SE PROCEDE LUEGO CON EL CEPILLO MECANICO EN LA PARTE SUPERIOR A DAR UN ANGLULO DE 10° Y EN LA PARTE INFERIOR UN ANGLULO DE 10° UNA VEZ OBTENIDO ESTO, SE HARA UN SEGUNDO CEPILLADO EN LA PARTE INFERIOR DE LA CARA EXTERNA DE LA PLANCHA DANDO UN ANGLULO DE 10° QUEDANDO UNA DIMENSION SEGUN "C", EN LA PARTE SUPERIOR SE TERMINARA CON UN ANGLULO DE 30°, SEGUN SE INDICA.



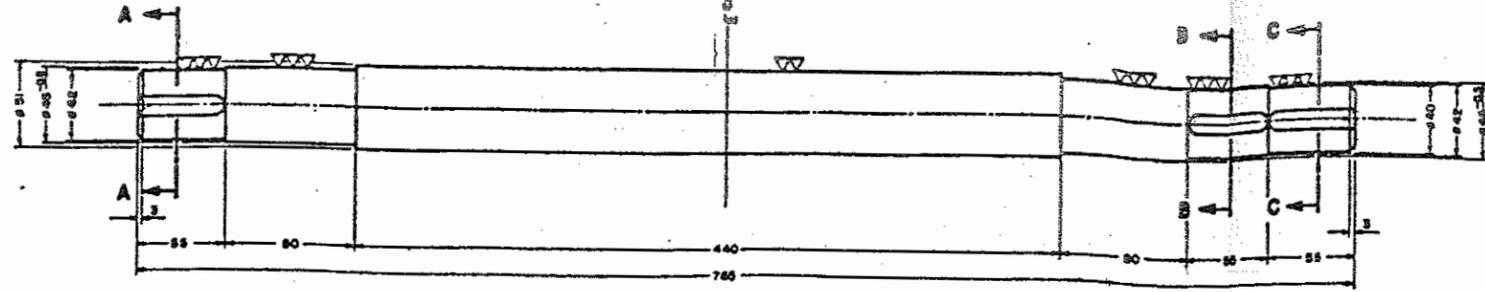
NOTA: PARA EL MAQUINADO DE LA PARTE SUPERIOR DE LA PLANCHA, PROCEDER COMO EN LA PIEZA N° 5 (VER NOTAS).



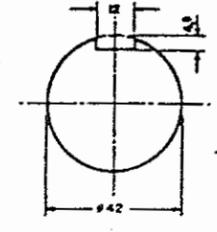
FECHA	MODIFICACION	T/S	COMPROBACION	REVISION	APROBACION
-------	--------------	-----	--------------	----------	------------

ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA  
OLADE  
DIRECCION TECNICA  
DEPARTAMENTO DE HOMOENERGIA  
PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO  
TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO-DOSLE ENTRADA  
PLANO DE: SUB-ENSAMBLAJE - CAJA DEL MECANISMO DE REGULACION DE LEVAS - DESPIECE

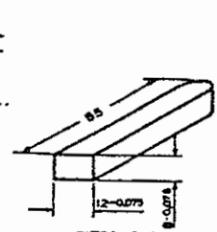
40



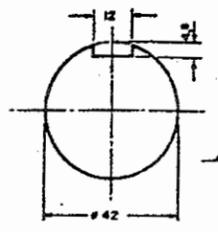
PIEZA Nº 9 - EJE - CAJA DE REGULACION DE LEVAS



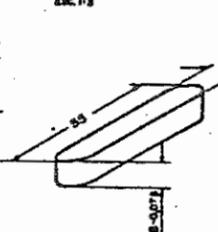
SECCION "A-A" ESC. 1:1



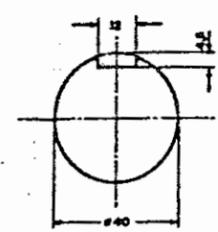
PIEZA 9-1 CHAVETA DE LA SECCION "A-A" ESC. 1:1



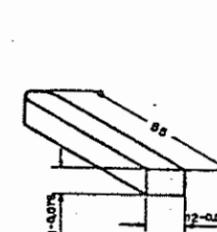
SECCION "B-B" ESC. 1:1



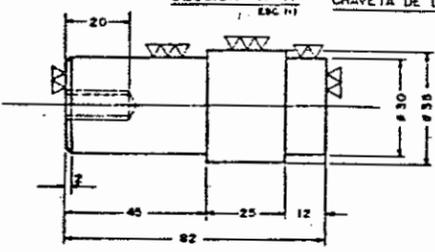
PIEZA 9-2 CHAVETA DE LA SECCION "B-B" ESC. 1:1



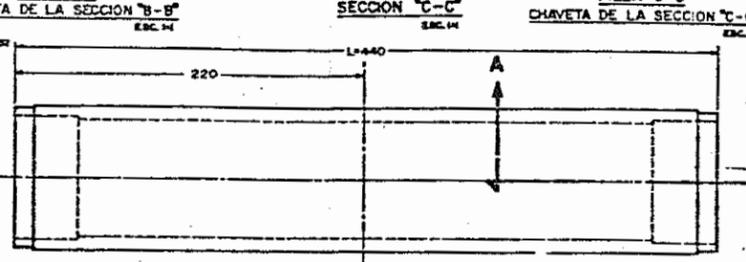
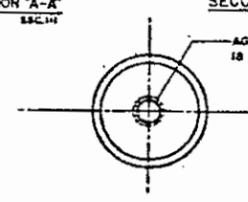
SECCION "C-C" ESC. 1:1



PIEZA 9-3 CHAVETA DE LA SECCION "C-C" ESC. 1:1

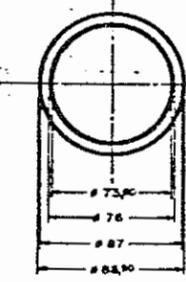


PIEZA Nº 10 - EJE FINO SOLDADO A LA CAJA

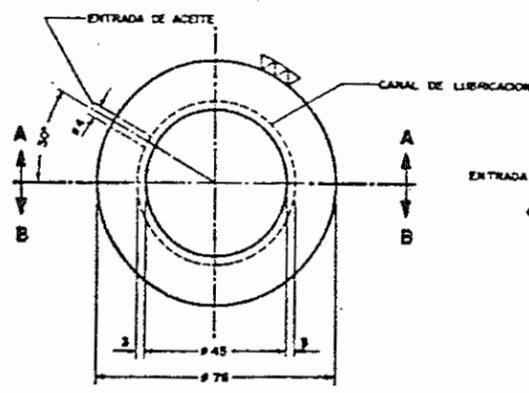


PIEZA Nº 12 - TUBO PORTA BUJE - SOLDADO A LA CARCASA

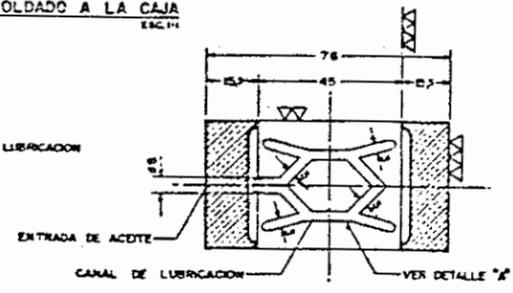
ELEVACION ESC. 1:1



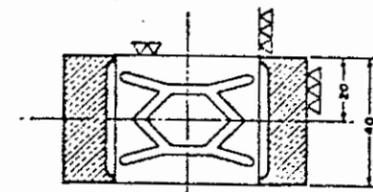
VISTA LATERAL ESC. 1:1



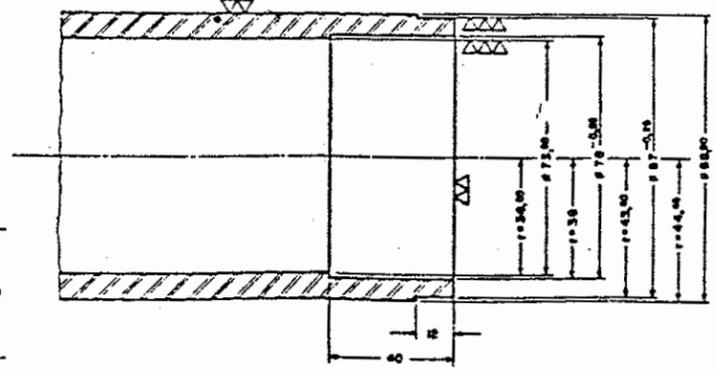
PIEZA Nº 11 - BUJE



SECCION "A-A" ESC. 1:1

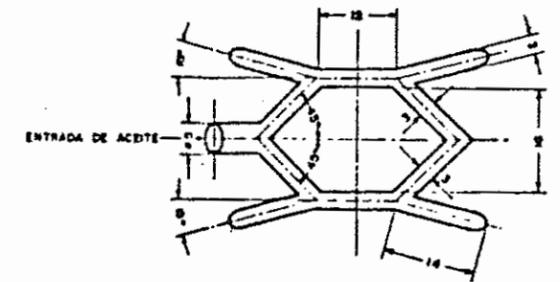


SECCION "B-B" ESC. 1:1



SECCION "A-A" - DETALLES DE LOS EXTREMOS DEL TUBO

CARACTERISTICAS DEL TUBO:  
 DIAMETRO NOMINAL = 3" (76,20)  
 DIAMETRO EXTERIOR = 3 500" (88,90)  
 DIAMETRO INTERIOR = 2 900" (73,80)  
 SCHWABE 80  
 MATERIAL = ASA-B36,0 O B 36,0  
 ESPESUR = 7,2



DETALLE "A" - ARANA DE LUBRICACION DEL BUJE

NOTA: LA PROFUNDIDAD DEL CANAL DE LUBRICACION ES DE 3 mm.

LISTA Y ESPECIFICACIONES DE MATERIALES

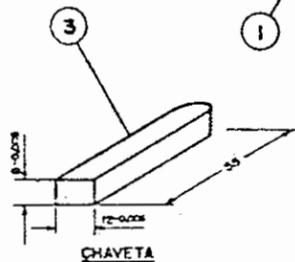
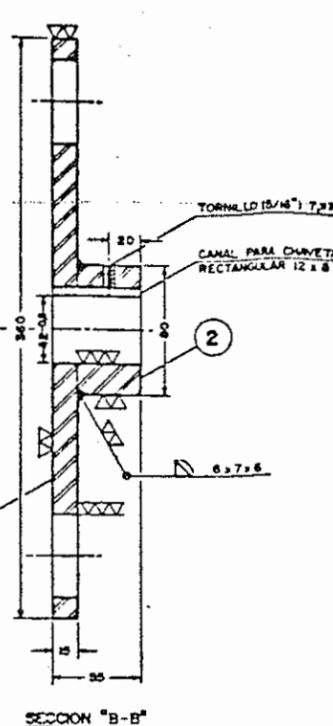
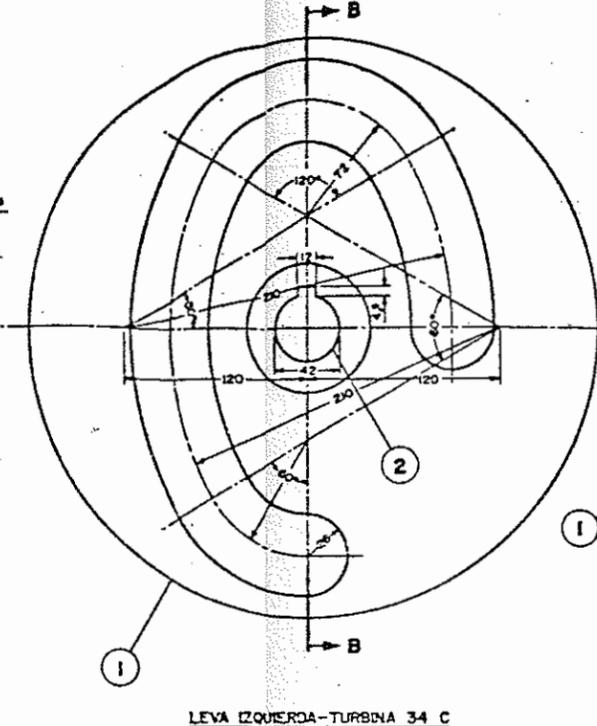
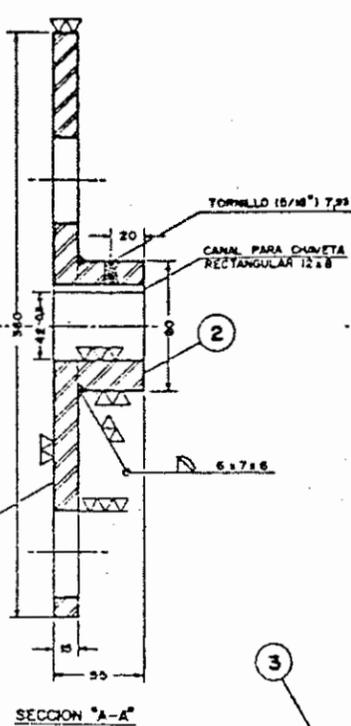
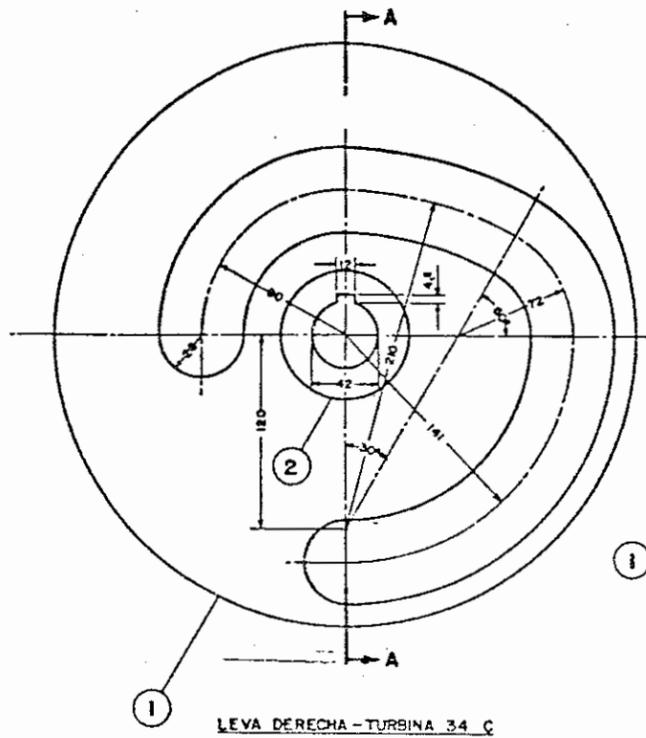
NO. DE PARTE	DESCRIPCION	ESPECIFICACION DEL MATERIAL	PESO DE LA PIEZA	COMENTARIOS
9	EJE DE LA CAJA	ACERO AL CARBONO AISI 5140 BRABO SAE IIII	10,25 kg	
9-1	CHAVETA	ACERO AL CARBONO AISI 5140 BRABO SAE IIII	0,048 kg	
9-2	CHAVETA	ACERO AL CARBONO AISI 5140 BRABO SAE IIII	0,048 kg	
9-3	CHAVETA	ACERO AL CARBONO AISI 5140 BRABO SAE IIII	0,048 kg	
10	EJE FINO	ACERO AL CARBONO AISI 5140 BRABO SAE IIII	0,54 kg	
11	BUJE	BRONCE FOSFORADO	0,34 kg	
12	TUBO PORTA BUJE	ACERO BRABO ASA-B 36,0 O B 36,0	8,78 kg	

PROYECTO	REVISOR	APROBADO

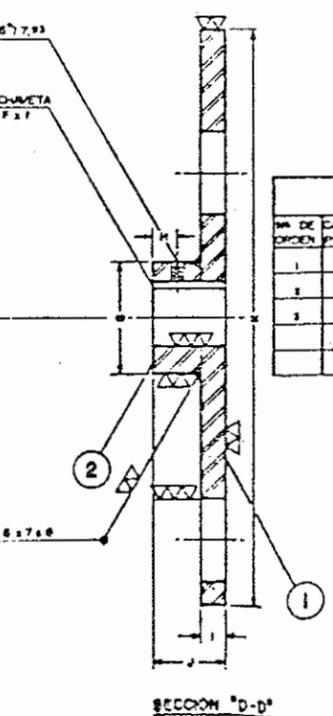
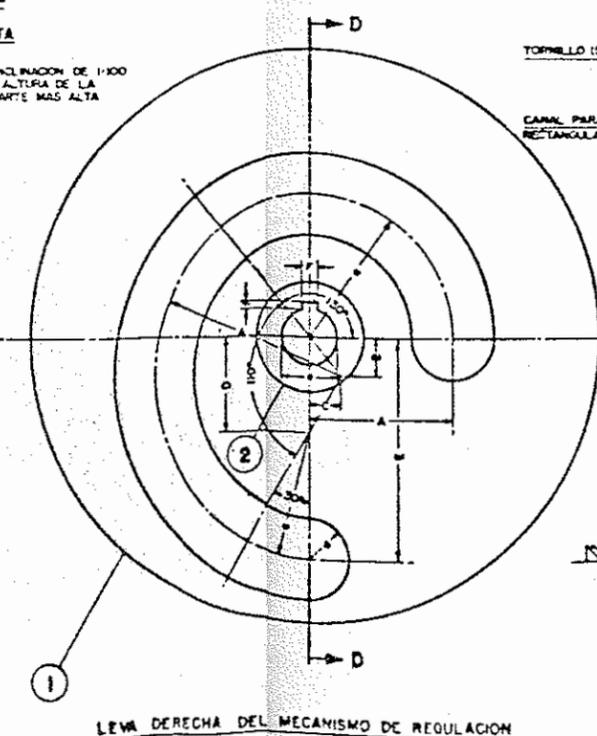
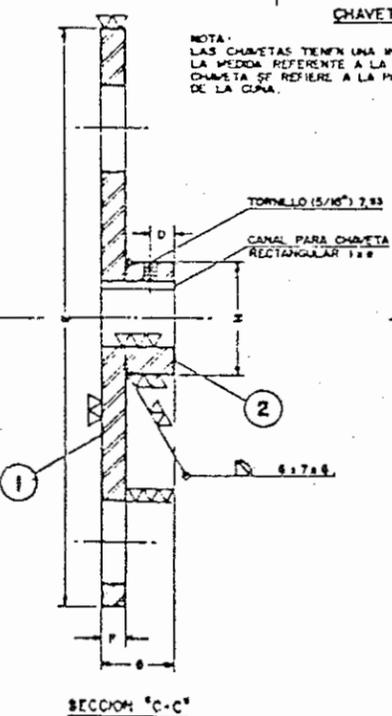
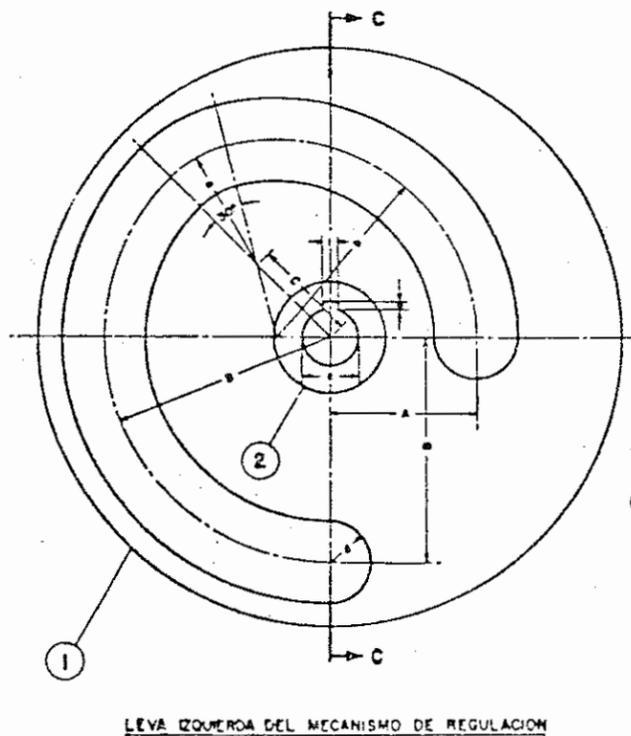
ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA  
**Olade**  
 DIRECCION TECNICA  
 DEPARTAMENTO DE HIDROENERGIA  
 PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO  
 TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO - DOBLE ENTRADA  
 PLANO DE SUB-ENSAMBLAJE - CAJA DEL MECANISMO DE REGULACION DE LEVAS - DESPIECE

ELABORADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR

41



NOTA:  
LAS CHAVETAS TIENEN UNA INCLINACION DE 1:100  
LA MEDIDA REFERENTE A LA ALTURA DE LA  
CHAVETA SE REFIERE A LA PARTE MAS ALTA  
DE LA CANA.



NOTAS:  
- PARA LAS DIMENSIONES "a" y "b" AJUSTAR LOS DIAMETROS - Ø  
- DESPUES DE SOLDADO EL CURVO AL DISCO, SE DEBE TORNEAR LA  
BOLDAGURA DANDO EL ACABADO MENCIONADO

Tabla de Dimensiones (mm) - LEVA DERECHA DEL MECANISMO DE REGULACION

SIMBOL	TURBINA TIPO							
	31 A	32 A	33 B	34 C	35 B	41 B	42 B B	43 B
A	-	-	90	-	90	120	120	120
B	-	-	140	-	140	187	187	187
C	-	-	64	-	64	85	100	80
D	-	-	15	-	20	25	25	25
E	-	-	360	-	360	480	480	480
F	-	-	15	-	15	15	15	15
G	-	-	45	-	60	70	72	75
H	-	-	70	-	100	110	120	120
I	-	-	10	-	12	12	12	12
J	-	-	76	-	76	101	101	101
K	-	-	120	-	120	160	160	160
L	-	-	36	-	47	54	56	58
M	-	-	26	-	26	36	36	36
N	-	-	47	-	5	5	5	5

Tabla de Dimensiones (mm) - LEVA DERECHA DEL MECANISMO DE REGULACION

SIMBOL	TURBINA TIPO							
	31 A	32 A	33 B	34 C	35 B	41 B	42 B B	43 B
A	-	-	90	-	90	120	120	120
B	-	-	24	-	24	32	32	32
C	-	-	20	-	20	25	25	25
D	-	-	58	-	58	81	81	81
E	-	-	140	-	140	186	186	186
F	-	-	10	-	12	12	12	12
G	-	-	70	-	100	110	110	120
H	-	-	5	-	20	25	25	25
I	-	-	15	-	15	19	19	19
J	-	-	46	-	60	70	72	75
K	-	-	360	-	360	480	480	480
L	-	-	90	-	90	120	120	120
M	-	-	121	-	121	161	161	161
N	-	-	82	-	82	105	105	105
O	-	-	26	-	26	36	36	36
P	-	-	36	-	47	54	56	58
Q	-	-	47	-	5	5	5	5

LISTA Y ESPECIFICACIONES DE MATERIALES

NO DE CANTOS	DESCRIPCION	ESPECIFICACION DEL MATERIAL	PESO DE LA PIEZA	COMENTARIOS
1	PLANCH, BUNA ESPESOR	ACERO ESTRUCTURAL		SOLAMENTE MENCIONADA
2	CURVO, BUNA DIBUJO	ACERO AL CARBONO		SOLAMENTE MENCIONADA
3	CHAVETA	ACERO AL CARBONO SAE 5160		TEMPLE DE ACETE

FECHA	MODIFICACION	TYO	CONFECCION	REVISION	APROBACION
-------	--------------	-----	------------	----------	------------

ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA  
**Olade** 1975  
 ECUADOR

DIRECCION TECNICA  
 DEPARTAMENTO DE MECANICA  
 PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO

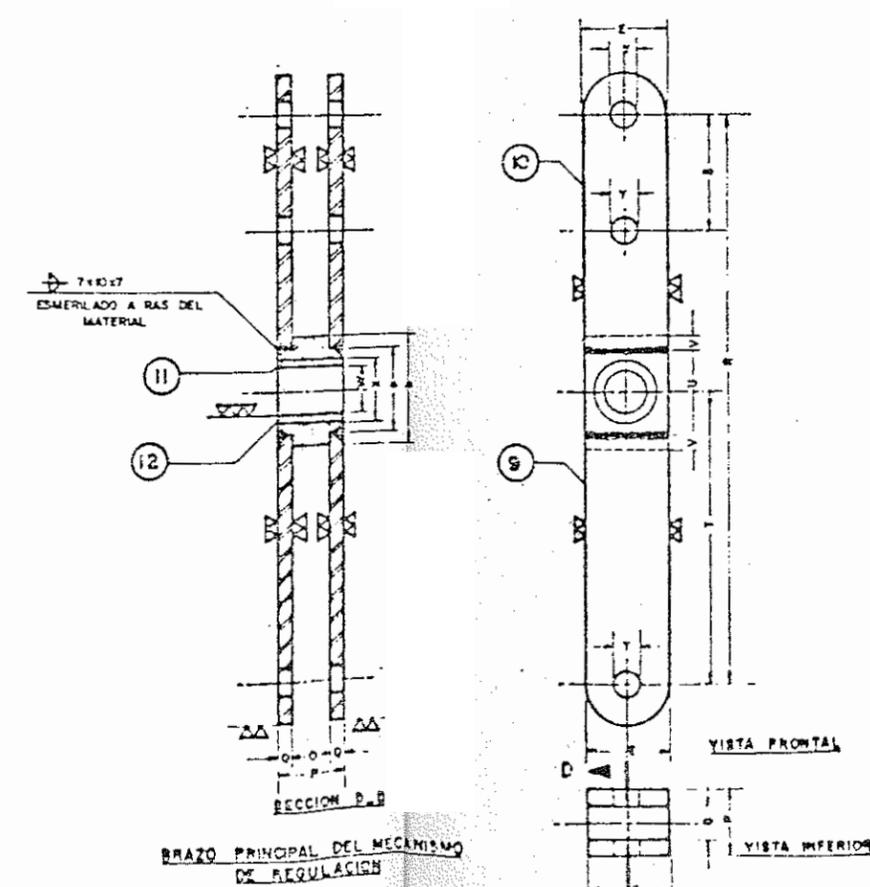
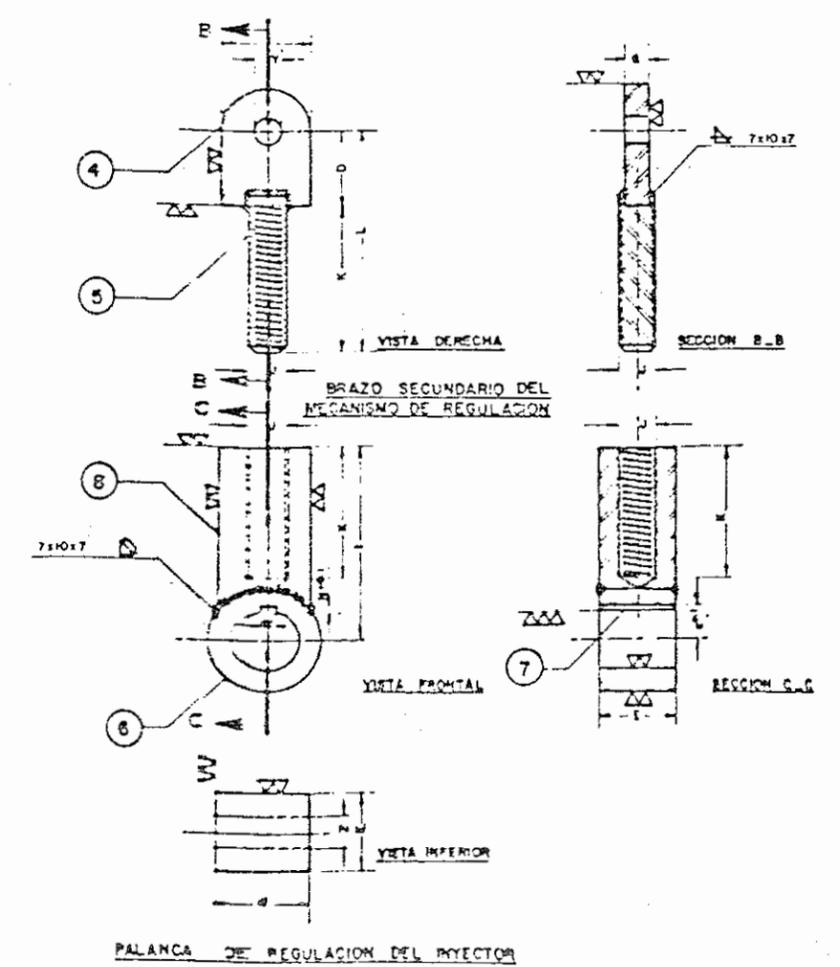
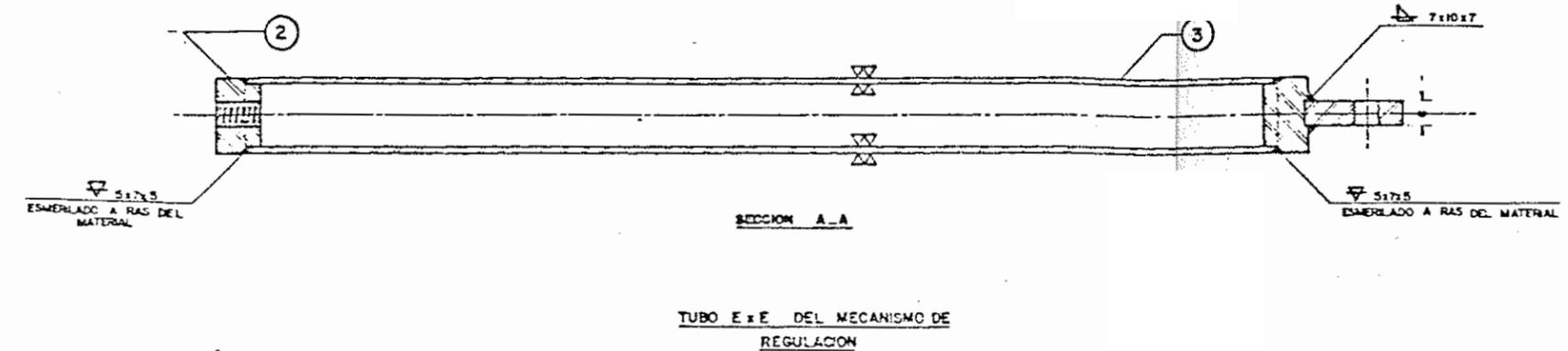
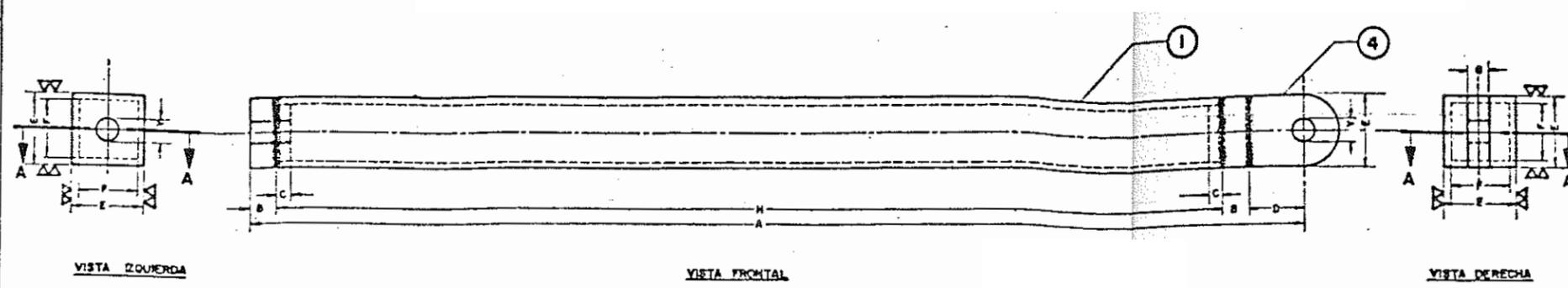
TURBINA OLADE DE FLEJO CRUZADO-DORLE ENTRADA

PLANO DE:  
**LEVAS DE REGULACION - DETALLE**

NO DE  
 DISEÑO  
 AUTORES  
 FECHA

REVISOR  
 FECHA

42



DIMENSION	TURBINA TIPO							
	31A	32A	33B	34C	35B	41B	42B	43B
A			780	780	780	1040	1040	1040
B			20	20	20	27	27	27
C			10	10	10	13	13	13
D			40	40	40	54	54	54
E			50	50	50	50	50	50
F			38	38	38	34	38	34
G			15	15	15	19	19	19
H			700	700	700	933	933	933
I			120	120	120	160	160	160
J			24	24	24	24	24	24
K			95	95	95	126	126	126
L			135	135	135	180	180	180
M			10	10	10	12	12	12
N			4	4	4	4	4	4
O			21	21	21	25	25	25
P			41	41	41	49	49	49
Q			10	10	10	12	12	12
R			530	530	530	707	707	707
S			70	70	70	93	93	93
T			180	180	180	240	240	240
U			44	44	44	54	54	54
V			3	3	3	3	3	3
W			28	28	28	36	36	36
X			40	40	40	50	50	50
Y			16	16	16	16	16	16
Z			38	38	38	44	44	44
a			52	52	52	62	62	62
b			68	68	68	78	78	78
c			23	23	23	23	23	23
d			58	58	58	68	68	68
e								
f								

Nº DE OBRERA	CANTIDAD	DESCRIPCION	ESPECIFICACION DEL MATERIAL	FEEL DE LA PIEZA	REMARKS
1	2	TUBO CUADRADO 1/2" x 1/2"	ACERO ESTRUCTURAL		
2	2	BRAZO CUADRADO 1/2" x 1/2"	ACERO FORJADO		
3	2	BRAZO CUADRADO 1/2" x 1/2"	ACERO FORJADO		
4	4	ORILLA	ACERO ESTRUCTURAL		
5	2	PERNO 1/2" x 1/2" x 1/2"	BARRA DE ACERO		
6	2	CLAVO CIRCULAR	ACERO FORJADO		
7	2	CHAVETA	ACERO AL CARBONO A 1000		
8	2	CLAVO VERTICAL	ACERO FORJADO		
9	4	ORILLA	ACERO ESTRUCTURAL		
10	4	ORILLA	ACERO ESTRUCTURAL		
11	2	CLAVO HORIZONTAL	ACERO FORJADO		
12	2	RODILLA	ACERO FORJADO		

ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIAS

OLADE

DIRECCION TECNICA

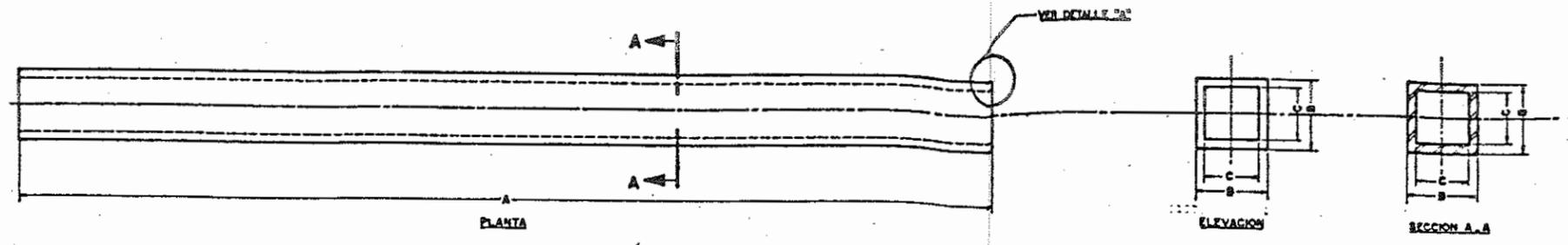
DEPARTAMENTO DE HIDROENERGIA

PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO

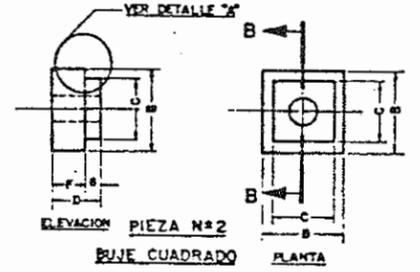
TURBINA CUADRO DE FLUJO CRUZADO-DOBLE ENTRADA

PLANO DE BRAZOS DEL SISTEMA DE REGULACION

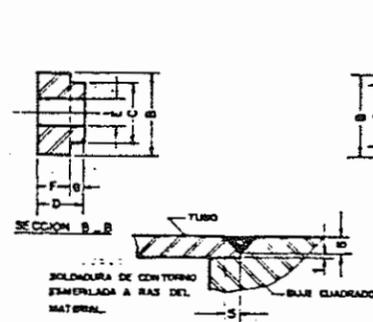
43



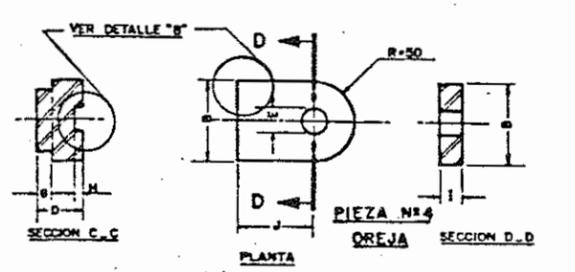
PIEZA N°1: TUBO CUADRADO DE EPESOR  $\phi = 6 \text{ mm}$



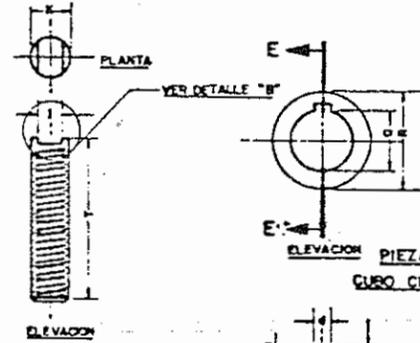
PIEZA N°2: BUJE CUADRADO



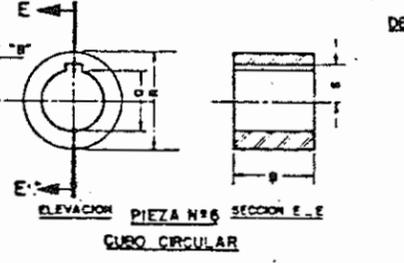
PIEZA N°3: BUJE CUADRADO



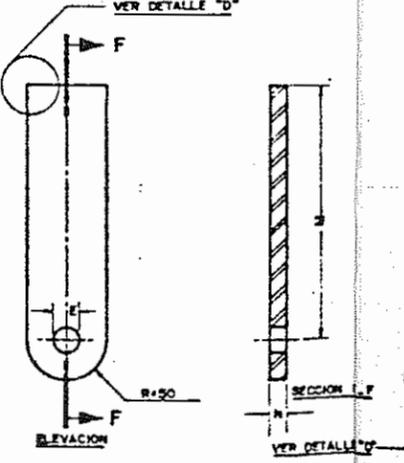
PIEZA N°4: OREJA



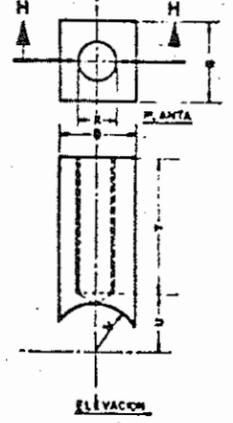
PIEZA N°5: PERNO  $\phi 24 \text{ mm}$   
11 HILOS POR PULGADA



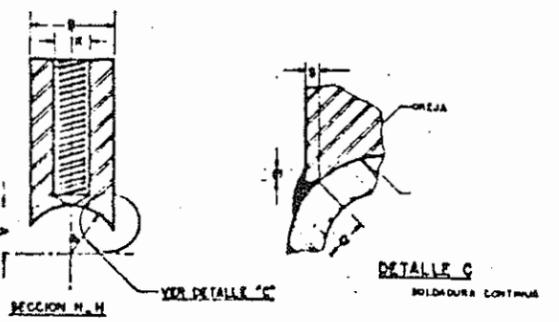
PIEZA N°6: CUBO CIRCULAR



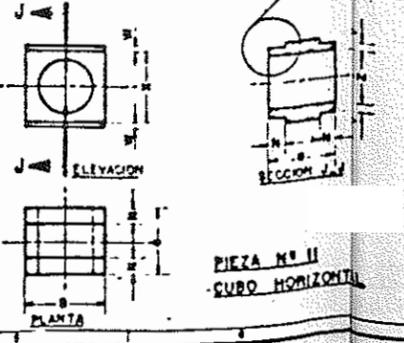
PIEZA N°7: CHAVETA



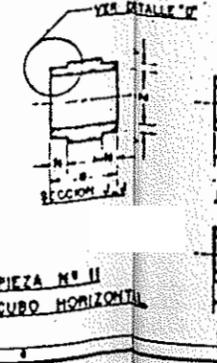
PIEZA N°8: CUBO VERTICAL



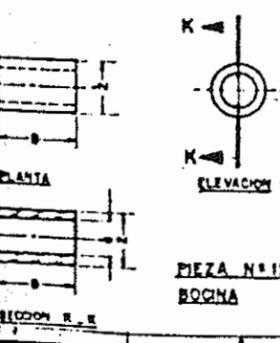
PIEZA N°9: OREJA



PIEZA N°10: OREJA



PIEZA N°11: CUBO HORIZONTAL



PIEZA N°12: BOCINA

SIMBOL	TABLA DE DIMENSIONES (mm)							
	SISTEMA DE PULGADAS							
	TURBINA TIPO							
	31A	32A	33B	34C	35B	41B	42B	43B
A			700	700	700	933	933	933
B			80	80	80	80	80	80
C			38	38	38	38	38	38
D			30	30	30	40	40	40
E			18	18	18	18	18	18
F			20	20	20	27	27	27
G			10	10	10	13	13	13
H			8	8	8	8	8	8
I			15	15	15	19	19	19
J			48	48	48	60	60	60
K			24	24	24	24	24	24
L			8	8	8	8	8	8
M			154	154	154	209	209	209
N			10	10	10	12	12	12
O			21	21	21	25	25	25
P			254	254	254	337	337	337
Q			38	38	38	48	48	48
R			58	58	58	68	68	68
S			38	38	38	48	48	48
T			95	95	95	126	126	126
U			36	36	36	41	41	41
V			29	29	29	34	34	34
W			8	8	8	8	8	8
X			52	52	52	62	62	62
Y			6	6	6	6	6	6
Z			40	40	40	50	50	50
a			41	41	41	49	49	49
b			4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
c			28	28	28	38	38	38
d			10	10	10	12	12	12

LISTA Y ESPECIFICACIONES DE MATERIALES					
N° DE ORDEN	CANT. DE PIEZAS	DESCRIPCION	ESPECIFICACION DEL MATERIAL	PESQ. DE LA PIEZA	OBSERVACIONES
1	2	TUBO CUADRADO $\phi 6 \text{ mm}$	ACERO ESTRUCTURAL		
2	2	BUJE CUADRADO	ACERO FORJADO		
3	2	BUJE CUADRADO	ACERO FORJADO		
4	4	OREJA	ACERO ESTRUCTURAL		
5	2	PERNO $\phi 24 \text{ mm}$ 11 HILOS POR PULGADA	BARRA DE ACERO		
6	2	CUBO CIRCULAR	ACERO FORJADO		
7	2	CHAVETA	ACERO AL CARBONO AISI 1045		
8	2	CUBO VERTICAL	ACERO FORJADO		
9	4	OREJA	ACERO ESTRUCTURAL		
10	4	OREJA	ACERO ESTRUCTURAL		
11	2	CUBO HORIZONTAL	ACERO FORJADO		
12	2	BOCINA	BRONCE FOSFOROSO		

NOTA: 1. ANTES DE SOLDAR LAS PIEZAS, ESTAS DEBEN SER CORTADAS Y ESMERILADAS PARA DARLES LAS DIMENSIONES INDICADAS EN LOS DETALLES.  
2. TODAS LAS PARTES O PIEZAS, LUEGO DE SOLDADAS, SERAN ESMERILADAS DANDOLES UN ACABADO SEMPLER AL MATERIAL, SIN DEFORMACIONES.

FECHA	MODIFICACION Y/O CORRECCION	REVISION	APROBACION
-------	-----------------------------	----------	------------

ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA  
**OLADE** QUITO ECUADOR  
 DIRECCION TECNICA  
 DEPARTAMENTO DE MICROENERGIA  
 PROYECTO EJECUTIVO DETALLADO  
**TURBINA OLADE DE FLUJO CRUZADO-DOBLE ENTRADA**  
 PLANO DE SISTEMA DE REGULACION  
 DESPECE GENERAL  
 44