

TURBINA AXIAL

GUIA DE FABRICACIÓN



Elaborado por: Programa de Energía de ITDG-Perú

En la medida de que en esta guía se trata de indicar pautas en cuanto a la fabricación de la turbina axial, los fabricantes deben confiar en su propia habilidad y juicio al hacer uso de ésta. ITDG no asume responsabilidad ante ninguna institución o instancia por alguna pérdida o daño causado por algún error u omisión en el trabajo, si el error u omisión es causado por negligencia o alguna otra cosa. Cualquiera y todas las responsabilidades son denegadas.

Programa de Energía ITDG-Peru

Intemediate Technology Consultants (ITC), ITDG-UK

PRESENTACION

La presente es una guía que permitirá el adecuado y eficiente uso del conjunto de planos de fabricación de la turbina axial, cuyas características se describen en el primer capítulo (introducción), su elaboración tuvo como objetivo dar algunas pautas o consejos para el proceso de construcción así como para la compra y uso de los materiales.

Por tanto se recomienda a los fabricantes que incursionen en la construcción de esta máquina que cuenten con la guía y hagan uso de ella en paralelo con los planos, esto permitirá un acceso más rápido a los planos, con el mínimo desperdicio de materiales. Especialmente en la construcción de las primeras máquinas. Una vez ganada la experiencia probablemente su uso sea mínimo, sin embargo puede ser útil como elemento de consulta.

Programa de Energía ITDG-Peru

Intemediate Technology Consultants (ITC), ITDG-UK

INTRODUCCION

El objetivo de esta guía es facilitar al fabricante el proceso de construcción de una turbina axial a bajo costo, contribuyendo así a que las familias rurales tengan acceso a este tipo de equipos que puedan facilitarles el acceso a la energía eléctrica.

Esta guía contempla el proceso de fabricación de una turbina axial de eje vertical con número específico de revoluciones ($n_s = 151$). Los parámetros de diseño son:

- Caudal (Q) = 0.524 m³/s
- Altura (H) = 7 m
- Velocidad de rotación = 900 RPM.

Este modelo sin mayores variaciones puede trabajar convenientemente en diferentes condiciones de trabajo como se muestra en el cuadro siguiente, para potencias inferiores el problema principal será el tema costo beneficio, puesto que se trata de una máquina grande, mientras que para potencias superiores a las del cuadro, se hace necesario revisar el diseño, en especial la resistencia de algunas piezas como son rodamientos, eje, etc.

RANGOS DE TRABAJO DE LA TURBINA AXIAL			
Diámetro del rodete = 400 mm, $n_s = 151$			
H (m)	N (r.p.m.)	Q (m ³ /s)	P (kW)
5	761	0.443	15
6	833	0.485	20
7	900	0.524	25
8	962	0.560	30
9	1021	0.594	36

En el caso de requerir mayores potencias, es necesario verificar la resistencia de los componentes y otros como: eje, rodamientos, sistema de transmisión, alabes, etc. Bajo estricta responsabilidad del fabricante.

I. PARTES DE LA TURBINA

1.1 Rodete

El rodete es la parte móvil de la turbina que al recibir el agua gira a una velocidad determinada dependiendo de las condiciones de diseño, luego esta energía mecánica es transmitida al generador por transmisión directa o un sistema de transmisión intermedio. El rodete está compuesto por la parte sólida denominada cubo y los álabes ubicados simétricamente alrededor del cubo. (Fig. 1)

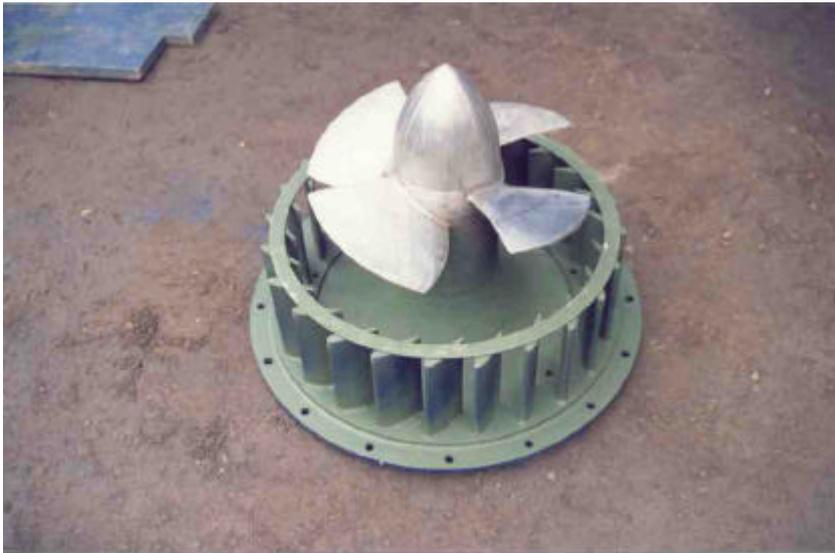


Figura 1: Rodete en acero inoxidable sobre los álabes directrices

1.2 Carcasa

Es la cubierta de la turbina, que tiene forma de espiral, en este caso la carcasa se comporta como distribuidor del flujo de agua, a través de los álabes directrices. Estos álabes directrices constan de lo siguiente: 24 álabes sujetos a variación de la posición del ángulo y 6 álabes fijos. (Fig. 2).



Figura 2: Carcasa de turbina y alabes directrices

1.3 Eje

Es el componente donde va ensamblado el rodete y en el caso de esta turbina la polea motriz, que giran en conjunto teniendo como apoyos dos rodamientos.

1.4 Rodamientos

Son los elementos donde se apoya el eje y van a facilitar su rotación, para esta turbina se está utilizando dos rodamientos de rodillos a rótula que van a soportar cargas radiales y axiales.

1.5 Distribuidor

Tiene forma de espiral o caracol, se encarga de orientar el flujo de agua antes de tomar contacto con el rodete.

1.6 Tubo de succión

Es el componente que se encarga de conducir el agua después del paso por el rodete y encaminarla hacia el canal de descarga. El tubo de succión es utilizado en las turbinas de reacción. (Fig. 3)



Figura 3: Tubo de succión fabricado en planchas de acero

1.7 Transmisión

Es el sistema que se encarga de transmitir el movimiento y la potencia mecánica de la turbina hacia el generador. Por las condiciones de diseño, la velocidad de la turbina (900 r.p.m.) no coincide con la velocidad del generador (1800 r.p.m.) por lo cual es necesario multiplicar la velocidad. Para el presente caso se utiliza un sistema de transmisión flexible por fajas y poleas: 3 fajas trapecoidales, una polea conducida de 8 pulgadas de diámetro en el eje del generador y una polea motriz de 16 pulgadas de diámetro instalada en el eje de la turbina.

1.8 Válvula

La válvula es el dispositivo que sirve para el control del flujo del agua, para la presente turbina axial se ha fabricado una válvula tipo compuerta de 600 mm de diámetro y va instalada antes del ingreso del agua a la turbina. (Fig. 4)

1.9 Unión dresser

Es el dispositivo que sirve para facilitar el acoplamiento de la turbina con la tubería de presión por lo cual también recibe el nombre de junta de montaje. Asimismo esta

junta de montaje corrige algún pequeño desalineamiento que pueda existir entre ambas.



Figura 4: Válvula tipo compuerta

II. PROCESO DE FABRICACION

2.1.- Fabricación de la carcasa (espiral)

La carcasa que tiene la forma de espiral, y se fabrica de acuerdo a los planos de fabricación: Planos 01, 01-1 y 01-2.

A. Materiales

Los materiales utilizados para la fabricación de la carcasa son los siguientes:

- **Plancha de acero.-** La plancha de acero utilizada para la fabricación de la espiral y tubo de succión es de 1/8" de espesor, equivalente a 3mm. de calidad comercial laminada al caliente ADC-C (Siderperú), equivalente a A569 (ASTM). Las dimensiones de la plancha son 1.20m x 2.40m.

En la fabricación de la carcasa así como también en la fabricación del tubo de succión se está utilizando plancha de acero cortada y soldada eléctricamente, pero también es posible fabricarlo por otros métodos como por ejemplo por fundición. Sin embargo, es necesario un previo análisis de costos considerando el lugar de fabricación, fabricación en serie u otros aspectos que se consideren importantes.

- **Oxígeno y acetileno.-** El corte de las planchas de acero se realiza por oxicorte, utilizando como insumos oxígeno y acetileno principalmente, o también se puede utilizar gas propano en lugar de acetileno.
- **Electrodos.-** Los electrodos utilizados para unir las partes de la carcasa son: E6011 para penetración Cellocord AP/P (Oerlikon) o similar y E6013 para acabados Overcord F/M (Oerlikon) o similar
- **Pintura.-** Se utiliza pintura, anticorrosiva como base (base zincromato), luego para los acabados pintura acrílica u otro tipo de pintura para metal.
- **Otros:** Discos de desbaste para amoladora, lijas números de diversos números (60, 100, 120, 140, 240), tiner acrílico y masilla plástica.

B. Procedimiento

El proceso de fabricación de la carcasa y tubo de succión comprende desde el trazado y corte del material (oxi-corte) hasta el acabado con pintura, pasando lógicamente por el proceso de la unión por soldadura de las partes o segmentos.

- **Trazado.**- Con la finalidad de ahorrar material y agilizar el trazado de las partes es conveniente utilizar plantillas que pueden ser de hojalata o cartón, estas plantillas se colocan en la plancha de acero a cortar, la separación entre las partes debe ser como mínimo 1/8" para realizar el corte tratando de no desperdiciar el material. Una forma de trazar las partes de la carcasa y del tubo de succión en una plancha de 1.20 m x 2.40 m se muestra en las siguientes figuras: Fig. 5 y 6 para la carcasa y Fig. 7, 8 y 9 para el tubo de succión.
- **Oxi-corte.**- El Oxi-corte se realiza colocando la boquilla de corte en la zona externa de los trazos de las partes señaladas, con una regulación adecuada de la cantidad de oxígeno y acetileno. Si hay exceso de oxígeno, la llama tiende a apagarse, si no hay suficiente oxígeno, la llama se torna amarillenta y el corte va a ser defectuoso.

Si las partes cortadas sufren deformaciones debido al calentamiento durante el proceso del oxicorte, hay que enderezarlas, usando una comba y tacos de madera, tratando de que la plancha no sufra abolladuras.

Para el oxi-corte de las planchas hay que utilizar boquillas de acuerdo al espesor de estas, para la plancha de 3mm se corta con boquilla N° 1.

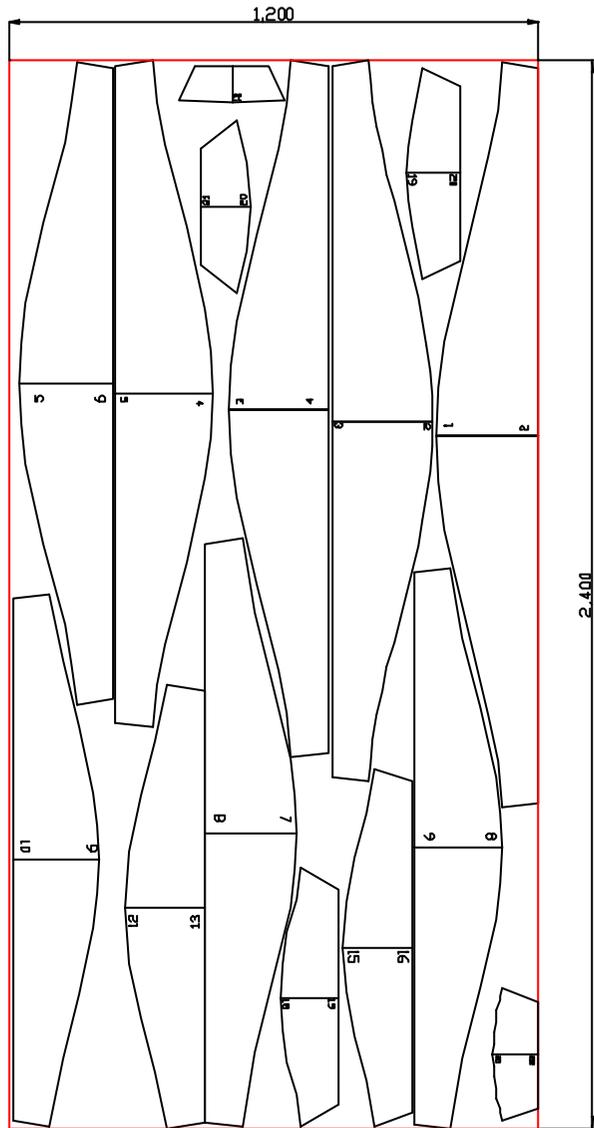


Fig. 5 Ubicación de las plantillas de la espiral en la plancha de acero para el trazado y oxicorte (Segmentos indicados)

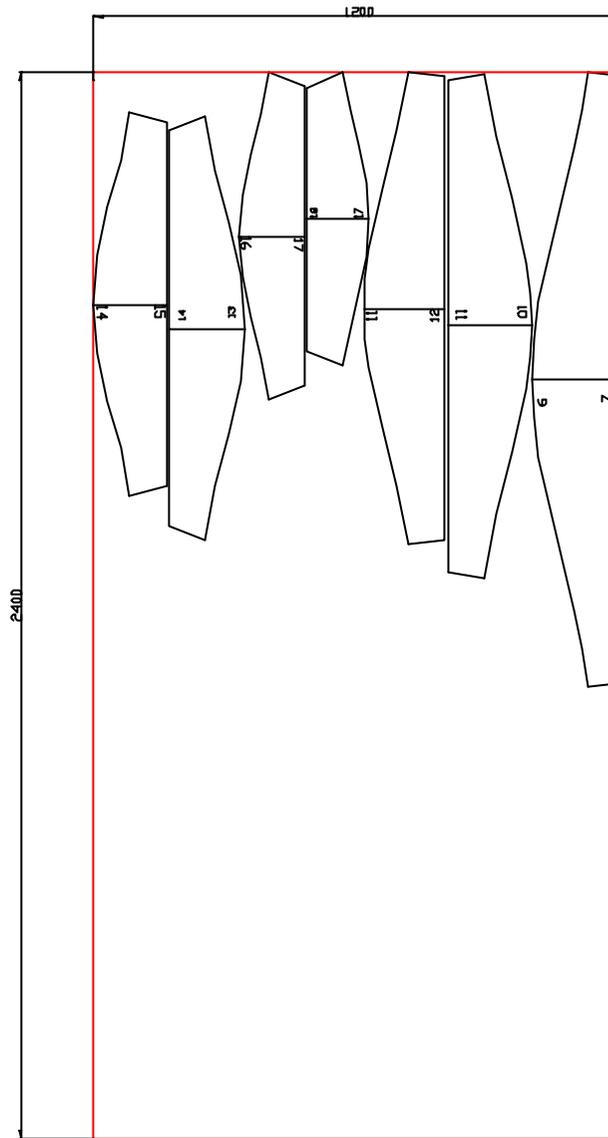


Fig. 6 Ubicación de las plantillas de la espiral en la plancha de acero para el trazado y oxicorte (Segmentos indicados)

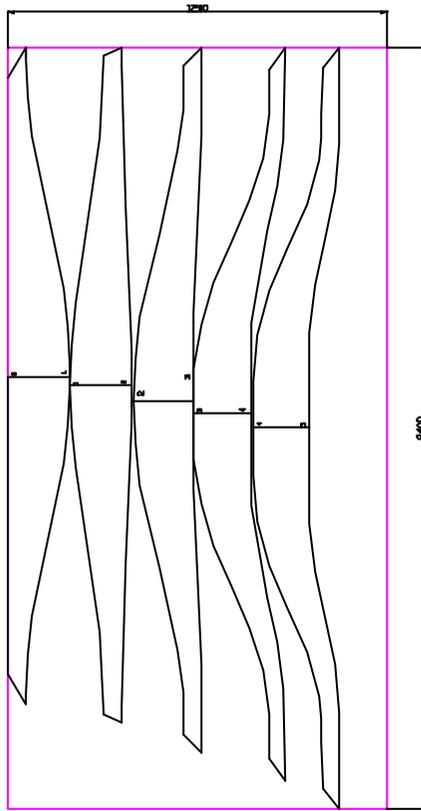


Fig. 7 Ubicación de las plantillas del tubo de succión en la plancha de acero para el trazado y oxicorte (Segmentos 1-1 al 4-5)

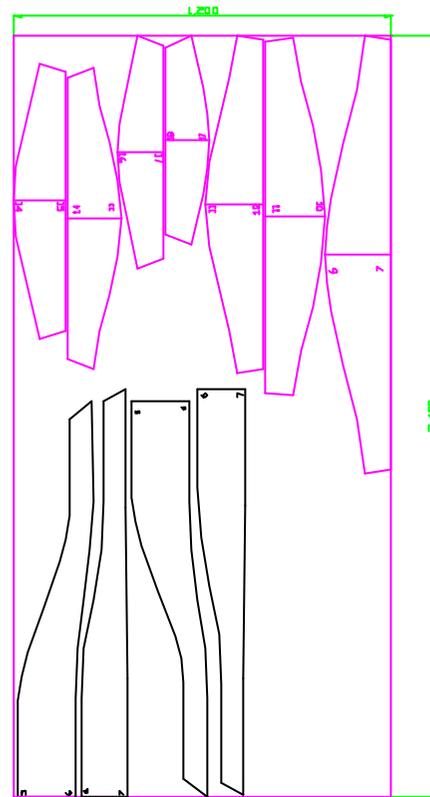


Fig. 8 Ubicación de las plantillas del tubo de succión en la plancha de acero para el trazado y oxicorte (Segmentos 5-6 y 6-7; los de la parte superior son segmentos de la espiral)

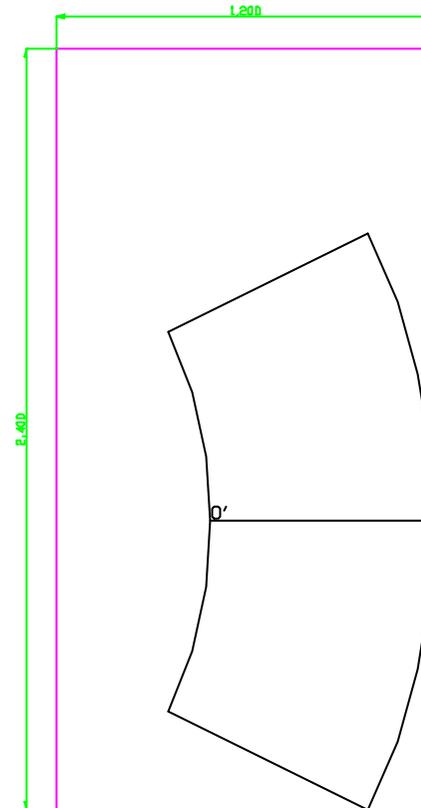


Fig. 9 Ubicación de la plantilla O'-O del tubo de succión en la plancha de acero para el trazado y oxicorte

- **Rolado.-** Para poder armar la espiral y el tubo de succión es necesario regirse a las dimensiones de cada pieza y darle así la forma de la sección correspondiente con la ayuda de una roladora (fig.10 y 11), de preferencia utilizando plantillas como referencia. Las plantillas tienen que ser de las dos secciones correspondientes a cada segmento, estas secciones en la espiral son de forma circular hasta la sección 13, de la sección 14 hasta la sección 21 son de forma elíptica, la sección 23 es de transición y las secciones 23 y 24 corresponden a la nariz (ver plano N° 01-2 del juego de planos). En el tubo de succión, las secciones están indicadas en el plano número 04 del juego de planos, cada una de estas secciones al igual que los segmentos de la espiral y del tubo de succión deben tener su plantilla ya sea en cartón u hojalata



Figura 10: Roladora portátil



Figura 11: Proceso de rolado

- **Soldadura.-** La unión de los segmentos, tanto de la espiral y del tubo de succión se hace mediante el método de soldadura por arco eléctrico, por su uso masivo en pequeños talleres. El proceso de soldadura comienza con el apuntalado que consiste en unir los segmentos o partes mediante puntos de soldadura, chequeando las dimensiones y la perpendicularidad entre ellas, para finalmente realizar la unión mediante cordones de soldadura, evitando al mínimo las deformaciones por el proceso de soldadura en si, estas deformaciones se producen cuando hay recalentamientos zonales, por lo que se recomienda soldar por tramos, dejando enfriar las otras partes en forma intercalada. (fig. 12 y 13)

Los electrodos que se utilizan para apuntalar y unir las partes son los electrodos de penetración (E6011) y para el acabado los electrodos E6013. Para la plancha de 1/8" se utiliza los electrodos de 1/8" E6011 y 3/32 E6013, preferentemente, pero depende de la máquina de soldar y la habilidad del soldador.



Figura 12: Unión por soldadura de los segmentos de la espiral



Figura 13: Espiral al término del proceso de

- **Lijado.-** Cuando se une los segmentos tanto de la carcasa como del tubo de succión mediante soldadura por arco, al término de esta quedan algunas rebabas y pequeños sobresalientes de cordón tanto en la parte interna como en la parte externa de la carcasa y el tubo de succión, las cuales hay que eliminarlas. La eliminación de las rebabas y sobresalientes de cordón en la parte interna es conveniente para disminuir la fricción con el agua, disminuyendo así las pérdidas en la zona, y en la parte externa es conveniente por estética.

El proceso de lijado se realiza utilizando amoladora manual con discos de desbaste y lijas circulares (para amoladora) complementándose con limas y lijas según lo requerido, primero con las de grano grueso y al final las de grano fino.

- **Pintado.-** Para pintar es necesario que la superficie este completamente limpia, para lo cual hay que utilizar huaype limpio y thinner o cualquier otra sustancia que pueda quitar la suciedad y grasa acumuladas.

Una vez que la superficie a pintar se encuentra completamente limpia se procede a pintar inicialmente con pintura anticorrosiva, de preferencia pintura “base zincromato” las partes interiores y exteriores de la espiral y el tubo de succión. Después de la base se procede a cubrir con masilla las partes que se considere conveniente con la finalidad de obtener mejores acabados, una vez que la masilla este seca se procede a lijar primero con lija de grano grueso, luego con lija de grano fino y por último con lija al agua.

Para aplicar la pintura de acabado, que puede ser pintura acrílica u otro tipo de pintura para metal, nuevamente hay que limpiar con huaype y thinner eliminando la suciedad y la posible grasa acumuladas durante las manipulaciones. Finalmente se aplica la pintura de acabado dándole la uniformidad necesaria, la aplicación de pintura se realiza de preferencia con soplete, para lo cual hay que verificar que esté completamente limpio sin obstrucciones en la boquilla, ni residuos de pintura. (fig. 14)



Figura 14: Turbina axial terminada

2.2 Fabricación del tubo de succión

Para la fabricación del tubo de succión se utilizan los mismos materiales utilizados en la fabricación de la espiral, así como también los mismos equipos y herramientas.

El proceso de fabricación del tubo de succión es similar al proceso de fabricación de la espiral tratado en el ítem 2.1. Los planos que hay que utilizar para la fabricación del tubo de succión son los siguientes: Planos 02 y 02-1, así como también el plano de ensamble general EG.

2.3.- Fabricación del rodete

Ver plano 03 del juego de planos

A. Materiales.-

- **Acero inoxidable fundido** al cromo níquel (13% de cromo y 4% de níquel) obtenido de la fundición. El uso de acero inoxidable es por su mayor resistencia a la corrosión que pueda presentarse por cavitación.
- **Electrodos.-** Los electrodos usados para unir los alabes al cubo del rodete, son E308-16 (Inox AW Oerlicon)
- **Otros.-** Disco de desbaste, limas, y lijas de grano grueso y fino.

B.- Procedimiento

La fabricación de rodete se inicia con la preparación de los modelos y moldes en una primera actividad. Los modelos son elaborados de acuerdo a los planos teniendo en cuenta las tolerancias por contracción del material fundido y por lo general son fabricados en madera que son los más económicos o también en otros materiales como: resina, fibra de vidrio o aluminio. Para este caso se han utilizado modelos para los álabes y para el cubo, los cuales se han fundido separadamente.

La unión de los álabes al cubo se hace mediante cordones de soldadura, utilizando máquina de soldar eléctrica y electrodos de acero inoxidable. Esta unión se hace álabe por álabe, teniendo en consideración la correcta posición del ángulo establecido, finalmente colocados todos los alabes se procede a soldarlos completamente al cubo evitando el calentamiento excesivo que deformarían las partes, así como también teniendo cuidado de que los alabes mantengan su posición.

Después de unidos los alabes al cubo del rodete, se procede a realizar el acabado final que consiste en pulir las partes del rodete que van a estar siempre en contacto

con el agua, asimismo se maquina las partes que van a ir acopladas con el eje con su respectivo canal chavetero.

Para pulir al rodete se utiliza en primera instancia una amoladora si es que resulta necesaria o solamente un esmeril pequeño, limas y lijas empezando por las de grano grueso hasta darle el acabado final con las de grano fino.

Cuando el rodete se encuentra totalmente acabado, entendiéndose por acabado el maquinado y pulido, hay que hacerle su balanceo dinámico, este balanceo se hace en función a la velocidad de rotación que va a operar. El balanceo dinámico es necesario porque siempre en el proceso de fundición no hay uniformidad en la distribución del material de la colada, de esta forma se disminuyen las vibraciones y se incrementa el tiempo de vida útil de los rodamientos y otros componentes.

2.4.- Fabricación del eje

Ver plano N° 04

A. Materiales.-

- **Acero bonificado** especial para trabajos de rotación y flexión (DIN: 34 CrNiMo 6, Boehler VCN 150), color de identificación: verde

B. Procedimiento

Al adquirir el material para el eje, se debe considerar una sobredimensión en el diámetro (mínimo 4 mm) para el maquinado. Para la turbina en mención, el eje tendrá un diámetro de 60 mm, por lo que se recomienda adquirir un material en bruto de 64 mm de diámetro, con la finalidad de eliminar durante el maquinado la cáscara negra y la zona descarburada que generalmente tiene microfisuras.

El maquinado, tanto torneado como los canales chaveteros se realizan de acuerdo a los planos de fabricación.

2.5.- Fabricación del cono de ingreso y cubierta de rodete

Ver planos 07 y 09

A. Materiales.-

- **Acero fundido calidad SAE 1020**

B. Procedimiento

Para la fabricación de estas piezas se ha creído conveniente hacerlo por fundición, luego maquinarlas y pulirlas. Para la fundición se debe contar con los modelos, elaborados de acuerdo a los planos de fabricación con sus respectivas tolerancias por contracción del material y el maquinado.

Las piezas terminadas se deben mantener engrasadas o protegidas con pintura anticorrosiva para disminuir el riesgo de corrosión.

2.6.- Fabricación de soportes de chumaceras

Ver planos 08 y 13 del juego de planos

A. Materiales.-

- **Plancha de acero.** Según las dimensiones A569 (ASTM) o ADC-C (Siderperú)
- **Electrodos.-** Los electrodos usados para la fabricación del soporte de chumaceras, son los E6011 para penetración y E6013 para acabados
- **Otros:** Disco de desbaste, limas, y lijas de grano grueso y fino.

B. Procedimiento

Se procede a la fabricación de acuerdo a los planos indicados, el soporte del rodamiento superior viene a ser el voladizo, que va apoyado en la parte lateral de la estructura de la turbina, esto es a razón de que el eje está en posición vertical.

Para el rodamiento inferior el soporte o apoyo se fabrica considerando una distancia necesaria para que el agua que sale por la prensaestopa no tenga contacto con el rodamiento.

2.7.- Fabricación de la prensaestopa

Ver plano N° 10 del juego de planos

A. Materiales.

El principal componente es el Bronce al 90% (Cu 90% Zn 10%), el uso de este material se debe a su resistencia a la corrosión ya que las partes estarán en contacto con agua. Adicionalmente se requiere una cinta grafitada, que se adquiere por metros.

B. Procedimiento

La fabricación de las partes metálicas de la prensaestopa se hace de acuerdo a los planos indicados. Primero es necesario fabricar los modelos, luego proceder a la fundición de las piezas y finalmente acabarlas mediante el maquinado de acuerdo con los planos de fabricación.

2.8.- Fabricación de los alabes directrices o guías

Ver planos 01-4 y 01-5

A. Materiales.-

Acero fundido calidad SAE 1020. Discos de desbaste, limas, y lijas de granos grueso y fino.

B. Procedimiento

Los álabes directrices se fabrican por fundición para lo cual previamente se hacen los modelos. Al salir de la fundición las piezas presentan rebabas para lo cual hay que desbastarlos y luego pulirlos utilizando limas y lijas, al igual que los alabes del rodete deben tener un especial acabado conservando su forma aerodinámica. Para su instalación en la carcasa se ha hecho una estructura independiente y facilitar la ubicación de cada uno de los alabes de tal forma que tengan la correcta posición de acuerdo al ángulo de diseño. Los alabes son unidos por soldadura a dicha estructura.

La finalidad de contar con una estructura independiente es para poder cambiar los álabes en caso de ser necesario, asimismo poder variar el ángulo de posición de éstos en una nueva estructura (Ver Fig. 15 y 2)



Figura 15: Ubicación de los álabes directrices mediante

III. ENSAMBLE

Una vez que los componentes de la turbina se encuentran terminados, se procede al ensamble de la misma, de acuerdo con la indicación de los planos, bajo criterios propios de la mecánica. (Ver plano EG)

IV. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el acabado interior del distribuidor sea de buena calidad (liso) para no tener demasiadas pérdidas que ocasionarían la disminución de potencia. De igual forma se debe prestar especial atención acabado superficial de los álabes del rodete y todos los componentes que estarán en contacto con el agua para evitar pérdidas por fricción u otro tipo.
- Durante el ensamble no se debe exponer a los rodamientos al agua o suciedad.
- No dejar las herramientas en cualquier parte, tener un lugar destinado para ello y evitar accidentes.

**LISTA DE MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA
FABRICACIÓN DE LA TURBINA AXIAL**

I.- MATERIALES

Item	Descripción	Unid.	Material	Cant.
01	Plancha de 1/8"x 1.2mx2.4m	U	Acero ADC-C (Siderperu) A569 (ASTM)	09
02	Oxígeno industrial	m ³		15
03	Acetileno o gas propano	m ³		10
04	Electrodos 1/8"	kg	E6011	30
05	Electrodos	kg	E6013	20
06	Electrodos	kg	E308-16 (Inox AW)	01
07	Disco de desbaste de 7"	U		06
08	Lija # 60	U		10
09	Lija # 100	U		06
10	Lija #120	U		06
11	Lija # 180	U		04
12	Lija # 240	U		04
13	Tiner acrílico	Gln		02
14	Masilla Plástica	kg		03
15	Pintura base sincromato	Gln		02
16	Pintura acrílica	Gln		02
17	Huaype	kg		05
18	Acero Inox Fundido para rodete	kg	Cr 13% Ni 4%	30
19	Acero bonificado eje de 3" de diam	m	DIN: 34CrNiMo6	0.9
20	Acero Fundido (Cono de ingreso y cubierta de rodete), según modelos	kg	Acero fundido calidad SAE 1020	80
21	Acero Fundido (alabes directrices y alabes fijos), según modelos	kg	Acero fundido calidad SAE 1020	38
22	Plancha de acero 1/4' x 1.2m x 2.4	U	Acero ADC-C (Siderperu) A569 (ASTM)	01
23	Plancha de acero de 1/2x1.2m x 2.4	U	Acero ADC-C (Siderperu) A569 (ASTM)	01
24	Fundición de bronce comercial para prensaestopa	kg	Cu 90%, Zn 10%	02
25	Cinta grafitada	m		03
26	Grasa	kg		01

II.- EQUIPOS

Item	Descripción
01	Máquina de soldar 220 A
02	Equipo de oxicorte
03	Taladro de banco
04	Taladro manual
05	Amoladora
06	Tornillo de banco
07	Wincha
08	Calibrador o pie de rey
09	Comba
10	Martillo
11	Nivel de mano trabajo horizontal
12	Nivel de mano trabajo vertical
13	Juego de escuadras y reglas para calderería
14	Juego de llaves de boca o mixtas desde 1/4" a 1" o milimétricas
16	Tecla de 01 tonelada como mínimo
17	Arco de sierra
18	Esmeril de banco
19	Juego de brocas de 1/16 hasta 1"
20	Juego de machos de 3/16", 1/4", 3/8", 1/2 5/8"
21	Juego de limas
22	Equipo de protección y seguridad
23	Equipo de pintura (compresora, soplete, manguera)
24	Roladora manual
25	Torno paralelo *
26	Cepillo *
27	Fresadora *
28	Horno *

* No son indispensables, puede realizarse mediante servicio de terceros.