

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA**



**“FABRICACION CENTRIFUGADA DE CAMISETAS NAVALES  
CON HORNOS DE INDUCCION”**

**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO METALURGISTA**

**PRESENTADO POR  
SAMUEL RUBEN GELDRES QUISPE**

**LIMA – PERU**

**2011**

## **DEDICATORIA**

A MI MADRE ANGELICA ANDREA QUISPE  
MARTINEZ QUIEN CON SU EJEMPLO DE  
PERSEVERANCIA Y ESFUERZO ME ENSEÑO  
QUE LAS METAS TRAZADAS SI SE PUEDEN  
CUMPLIR, PARA ELLA MI  
AGRADECIMIENTO ETERNO Y MI  
INCONMENSURABLE AMOR Y CARIÑO, SU  
RECUERDO VIVIRA POR SIEMPRE EN MI  
CORAZON.

## **RESUMEN**

En el capítulo I se trazan los objetivos que esta tesis pretende llegar haciendo una breve descripción del problema existente en el contexto nacional a las micro y pequeñas empresas.

En el capítulo II se describen las bondades de la fundición centrifugada y el uso de los hornos de inducción en la etapa de fusión. En la fundición centrifuga se detalla el fundamento teórico del centrifugado horizontal como del vertical y sus parámetros de operación. En el uso del horno de inducción se describen los fundamentos teóricos, ventajas y desventajas, características técnicas del personal operativo, características de inversión, partes y cuidados del horno de inducción.

En el capítulo III se hace un detalle completo del proceso de obtención del producto, plasmando un diagrama de operaciones en cual se indica los puntos de control de calidad y las actividades que se realizaran durante el proceso.

En el capítulo IV se describen las características que deben tener las camisetas para los sistemas de propulsión y las exigencias solicitadas por los entes certificadores.

En el capítulo V se describe cada uno de los ensayos y pruebas a las que son sometidas las camisetas en planta.

En anexos se plasma un plano de una máquina centrifuga, se muestran fotos de equipos y maquinarias usadas en el proceso, tablas de composición química de aleaciones de bronce de uso comercial, nomogramas para cálculo de velocidad rotacional.

## INDICE

	Pag.
INTRODUCCION	7
CAPITULO I GENERALIDADES	
1.1.- OBJETIVO GENERAL	10
1.2.- OBJETIVO ESPECIFICO	10
1.3.- DESCRIPCION DEL PROBLEMA	11
1.4.- DEFINICION DEL PROBLEMA	11
1.5.- JUSTIFICACION E IMPORTANCIA	12
C APITULO II TECNOLOGIA DISPONIBLE	
2.1.- FUNDICION CENTRIFUGADA	15
2.2.- HORNOS DE INDUCCION	26
2.3.-MANTENIMIENTO DEL HORNO DE INDUCCION SIN NUCLEO	32
CAPITULO III.- DESCRIPCION DEL PROCESO	
3.1- PREPARACION DE LA MATRIZ	36
3.2.- SELECCION DE LA MATERIA PRIMA	36
3.3.- FUSION	36
3.4.- VERTIDO DEL METAL	37
3.5.- EXTRACCION DE LA MATRIZ	37
3.6.- MAQUINADO DE LA MATRIZ	37

CAPITULO IV.-	ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL PRODUCTO	
4.1.-	ALCANCES	39
4.2.-	FABRICACION	39
4.3.-	SELECCIÓN DE LA ALEACION ADECUADA	40
4.4.-	CARACTERISTICAS DE LA FUNDICION	40
4.5.-	TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS	42
4.6.-	RESISTENCIA A LA PRESION HIDROSTATICA	42
4.7.-	ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL	42
4.8.-	PROTOCOLO DE ENSAYOS Y RESULTADOS EN PLANTA	44
CAPITULO V.-	PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD	
5.1.-	ESTANQUEIDAD	47
5.2.-	TRACCION	47
5.3.-	DUREZA	48
5.4.-	ANALISIS QUIMICO	48
5.5.-	CONTROL DIMENSIONAL	48
5.6.-	EMPRESAS CERTIFICADORAS	48
CONCLUSIONES		
BIBLIOGRAFIA		
ANEXOS		

## INDICE DE TABLAS

2.1. Resultado de las pruebas mecánicas, camiseta de bronce SAE 62	25
2.2. Resultado de las pruebas mecánicas, camiseta de bronce SAE 64	25
2.3. Resultado del análisis químico de los bronce ensayado	26
4.1. Grados de las aleaciones de cobre	41
4.2. Propiedades mecánicas de las aleaciones de cobre	43

## INDICE DE FIGURAS

1.1. Uso de equipo de seguridad apropiado	14
1.2. Horno de inducción operando	14
2.1. Esquema de operación de una máquina centrífuga	16
2.2. Esquema de solidificación $T^{\circ}$ vs $V$	19
2.3. Determinación del espesor de pared de la matriz sección de $1\frac{1}{2}$ a $4''$	20
2.4. Determinación del espesor de pared de la matriz sección de $\frac{1}{2}$ a $2\frac{1}{2}$	20
2.5. Bobina en mantenimiento	27
2.6. Espesor de pared del horno	28
2.7. Esquema de una bobina y sus partes	32
2.8. Horno de inducción y fosa limpia	35
3.1. Diagrama de operaciones del Proceso – fabricación de camiseta naval	38

## INTRODUCCION

La evolución y el constante crecimiento de nuevos mercados, está generando una gran competencia global, obligando a las grandes, pequeñas y micro empresas de fundición a utilizar nuevas tecnologías para mejorar la calidad de sus productos a precios competitivos globales y atender al gran mercado de la industria naval .

Esta competencia favorable permite augurar un gran desarrollo industrial y comercial del cual no es indiferente el PERU de materias primas y de productos intermedios y/o terminados. Éste hecho favorable, permite vislumbrar un importante desarrollo industrial y comercial en nuestras diferentes regiones, en las cuales nuestros recursos naturales son abundantes.

La manufactura es un proceso de transformación y de incremento de valor agregado de las materias primas que produce el país. La importancia de una inversión industrial radica en su efecto multiplicador para la economía en su conjunto.

Las fundiciones están consideradas como estratégicas dentro de las industrias manufactureras y su desarrollo permite generar el crecimiento de otros sectores industriales como: la minería, agroindustria, pesca, textil, naval, metal mecánica, entre otros.

En el contexto actual el éxito de las industrias de fundición se basa en una gestión competitiva, sostenida y de protección al medio ambiente. A través de las fundiciones se obtienen productos como: piezas y partes en base al reciclaje de productos metálicos y de materias primas como el cobre, zinc y plomo permitiendo de esta manera, que los procesos productivos de las diferentes industrias, encuentren

un soporte de abastecimiento local de reemplazo de repuestos y la posibilidad de renovación de sus equipos.

Actualmente el uso de hornos industriales de inducción para la fusión de metales en nuestro país y la aplicación de la fundición centrifugada se encuentra centralizada en la región Lima, desde el cual se abastece al mercado nacional e internacional siendo la fundición centrifuga una alternativa de rentabilidad y productividad para las micro y pequeña empresas.

La industria metalmecánica es uno de los sectores con más alto índice de productividad y de especialización, requiere mano de obra calificada para los diversos procesos de fabricación desde estructuras tan simples como el marco de una ventana hasta estructuras complejas como son las maquinarias.

Es necesario destacar que este sector es uno de los que más aportan al erario nacional sobre todo en los últimos años en que aumentado la producción manufacturera en el país sin embargo, el sector arrastra desde hace años un serio problema de imagen, como sucede en toda la industria nacional. Esto se debe a que muchas personas piensan que se trata de una industria poco desarrollada, con maquinaria obsoleta, empero el desarrollo alcanzado por las pequeñas y micro empresas así como las grandes empresas es bastante alto y difundir esta buena imagen es una tarea y responsabilidad de inversionistas, técnicos e ingenieros y todo ente que está relacionado a la industria metalmecánica en el más corto plazo.

La industria metalmecánica comprende al sector industrial manufacturero dedicado a la transformación del metal, que va desde la fabricación de productos primarios del hierro y el acero así como la inmensa gama de los productos que se obtienen del cobre, plomo y zinc de los cuales somos grandes productores naturales.

Este sector industrial basa su desarrollo apoyado en los diferentes productos que se obtienen de las fundiciones tanto ferrosas como no ferrosas quienes obligados por la competitividad global hacen uso de la tecnología de punta, este uso adecuado y racional de tecnología es un efecto multiplicador que genera exportaciones de bienes manufacturados de consumo duradero y bienes de capital con la consiguiente creación de empleo directo e indirecto.

Finalmente debo concluir que el desarrollo de las micro, pequeñas y grandes fundiciones son las que más posibilidades brindan para la modernización del país; así mismo estoy convencido que es un signo del avance tecnológico del Perú y de su imagen en el exterior de este gran mercado globalizado.

## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1.OBJETIVO GENERAL**

Dar a conocer la tecnología adecuada que contribuya al aprovechamiento de nuestros recursos naturales y permita darles un mayor valor agregado, permitiendo cubrir la demanda insatisfecha de productos de fundición no ferrosa en la industria naval.

#### **1.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1.2.1** Contribuir a generar el crecimiento tecnológico de las fundiciones ya existentes en el Perú
- 1.2.2** Analizar y formular una tecnología de fundición de productos no ferrosos.
- 1.2.3** Fabricar productos no ferrosos para sistemas de propulsión en la industria naval.
- 1.2.4** Contribuir al desarrollo del país a través de la utilización de nuestros recursos naturales disponibles como el cobre, zinc y plomo.

**1.2.5** Generar expectativa de crecimiento y desarrollo en las pequeñas y micro empresas mediante el uso de hornos de inducción

**1.2.6** Propiciar la descentralización económica e industrial acorde a las nuevas políticas de desarrollo regional y global.

### **1.3. DESCRIPCION DEL PROBLEMA**

La gran demanda de productos navales es cubierta actualmente en su totalidad, por la oferta de pocas fundiciones existentes de la región Lima y el abastecimiento de estos productos se realiza a través de las importaciones las cuales cubren el 70% del mercado, existiendo escasa participación regional, debido fundamentalmente a la **carencia** en la calidad del producto lo que hace imposible la validación de los mismos por empresas certificadoras internacionales.

Existe escasa difusión de las tecnologías de fundición y bajo nivel de capacitación del personal de planta tanto en las pequeñas y micro empresas de fundición en la región, a pesar de existir un mercado potencial bastante atractivo como es el desarrollo de la industria minera y naval.

El uso de hornos de inducción en la fusión de metales y el método de la fundición centrífuga permiten obtener productos de excelente calidad a menores costos y aplicando procesos productivos no contaminantes.

### **1.4. DEFINICION DEL PROBLEMA**

Vale decir el principal problema que esta tesis trata de resolver es “desarrollar y describir una tecnología adecuada que contribuya al desarrollo de las pequeñas y

micro empresas y les permita cubrir la demanda insatisfecha existente en la industria minera y naval con productos de fundición, bajo estándares de calidad y precios competitivos que el mercado global lo requiere y proyectarse en el corto plazo al uso de hornos de inducción.”

### 1.5. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

- **Tecnológica.-** El uso de hornos de inducción y de las máquinas centrifugadoras permitirán obtener productos que cumplen con estándares de calidad internacional y a precios competitivos.

La fundición de metales por inducción tiene como ventaja su velocidad de fusión y disminución de mermas no siendo necesario instalar equipos adicionales para la protección del medio ambiente, permite flexibilizar los procesos productivos y de nuevos productos de fundición.

- **Económica.-** Con inversiones que son asequibles a la micro y pequeña empresa, se podrá adquirir hornos de inducción lo cual permitirá la transformación de metales como el cobre, plomo, zinc y plata en productos con alto valor agregado instalando plantas de fundición y potenciar un crecimiento económico en sus regiones permitiendo a los potenciales clientes la eliminación de costos de transportes así mismo mantener una producción flexible en cuanto a la variedad de sus productos y atender a todos los sectores industriales.
- **Social.** Se estima que el uso de hornos de inducción tendrá una amplia incidencia en todos los aspectos de la vida individual y colectiva, en las diferentes regiones del país.

El desarrollo y divulgación de esta tecnología será una caja de resonancia para las fundiciones establecidas en la zona, para los talleres de metal mecánica, porque generará grandes expectativas de desarrollo de nuevos productos y servicios, obligando a todo el sector a capacitar a su personal en el uso y manejo de nuevas tecnologías, se pretende con este aporte cambiar la cultura organizacional y tecnológica tratando de elevar su nivel económico y cultural de las regiones del país propiciando polos de desarrollo, la puesta en marcha de esta nueva unidad de producción permitirá crear nuevos puestos de trabajo directos e indirectos, en cada una de las regiones del país mejorando el nivel económico de muchas familias.

- **Ecosistémico.** La planta de fundición mediante el uso de la tecnología de hornos de inducción esta conceptualizada dentro de lo que se define como tecnología limpia, con programas de protección al medio ambiente, las fundiciones se verán obligadas a instruir al personal en el uso de equipos de seguridad y respeto a las normas de seguridad e higiene industrial, la finalidad es evitar en lo posible las enfermedades ocupacionales y mantener adecuado equilibrio eco sistémico, difundiendo una cultura ambiental dentro de cada una de las regiones donde se posesionen.



Figura N° 1.1.- Uso de equipo de seguridad apropiado, operario vertiendo el metal al molde (Empresa MEFICO SRL.)



Figura N° 1.2.- Horno de inducción operando observar que no hay emisión de humos ni partículas que contaminen al medio ambiente. (Empresa MEFICO SRL.)

## CAPITULO II

### TECNOLOGIA DISPONIBLE

**2.1. Fundición centrífuga.-** El proceso para la fundición centrífuga difiere de la fundición estática en que el molde gira así mismo durante el tiempo que el metal está solidificando.

Por efecto de la fuerza centrífuga , los cuerpos tienden a seguir una trayectoria tangencial a la curva que describen, esta fuerza es directamente proporcional al radio de giro y la masa del cuerpo generándose una aceleración que adquiere el cuerpo por inercia al girar sobre un eje. Relación de fuerza centrífuga y aceleración tangencial.

$$F = k.m.r \quad k = u^2$$
$$F = m.u^2.r \dots\dots\dots(2.1)$$

$$F = m.a \quad a = \frac{F}{m} \dots\dots\dots(2.2)$$

(2.1) en (2.2)

$$a = m.u^2.\frac{r}{m} \Rightarrow a = u^2.r \dots\dots\dots(2.3)$$

$$u = \frac{v_t}{r} \dots\dots\dots(2.4)$$

Reemplazando (2.4) en (2.3)

$$a = \frac{(vt^2)}{(r^2)} R \Rightarrow a = \frac{vt}{r}$$

Donde:

u: velocidad angular

Vt: velocidad tangencial

F: fuerza aplicada a un cuerpo

m: masa del cuerpo

a: aceleración

r: radio de giro.

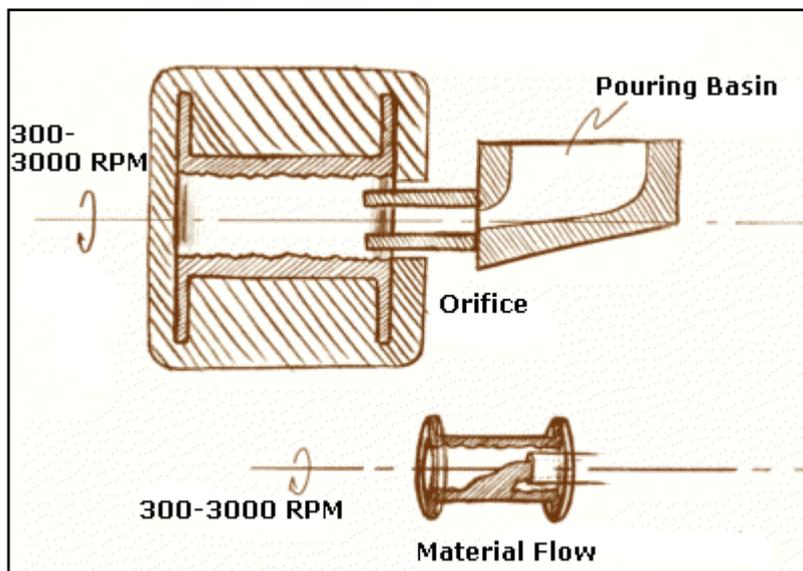


Figura N° 2.1.- Muestra esquemáticamente a una máquina centrífuga en operación, así como el ingreso del metal a la camiseta <sup>(12)</sup>

**Fundición semi centrífuga.-** En este método la fuerza centrífuga va a ser utilizada para replicar piezas sólidas, teniendo cuidado de ajustar la velocidad de rotación, el factor G es la relación de fuerza centrífuga dividida

por el peso del metal que se vierte, el factor G nos permite determinar la velocidad de rotación.

Si el valor factor G es demasiado bajo el metal que ingresa a la matriz no se fijará en la pared inferior de la misma produciéndose dentro de la matriz caída de metal en forma de lluvia.

La experiencia sugiere ajustar a un factor G de 15 y diseñar los moldes con alimentadores centrales, caracterizándose por tener baja densidad la parte central a diferencia de los extremos que es más denso, frecuentemente se usan moldes consumibles.

En la fundición centrifugada vertical el metal líquido ingresa por un canal central y principal, las piezas a fundir se encuentran en racimo alrededor del canal simétricamente, de tal manera que al ingresar el metal la fuerza centrífuga distribuye el metal líquido a todas las cavidades.

En la fundición centrifugada usualmente se vierte el metal mientras el molde ó matriz está girando, sin embargo para ciertas aplicaciones, particularmente en el caso de la fundición vertical es preferible que el molde este estático al momento de verter el metal. (Anexo 1)

En la fundición centrifuga horizontal se utiliza mayormente para producir piezas tubulares la fuerza centrífuga hace que impulse al metal líquido a hacia las paredes de la matriz que tiene forma tubular, método utilizado para producir las camisas de propulsión en la industria naval.

En el momento de vertido del metal a la matriz que rota, el metal adquiere más movilidad y energía cinética ayudando de esta manera que sea un excelente transmisor de calor.

El metal líquido debe ingresar al molde en forma constante y sin interrupciones de tal forma que el metal se recogerá y se sostendrá firmemente en la pared del molde sin resbalarse ó generar el defecto lluvia, un gradiente de presión será establecido radialmente como resultado del espesor de la pared de la camiseta, debido a la fuerza centrífuga.

La fuerza centrífuga actuará sobre el metal líquido y sobre las inclusiones, escorias y partículas que por tener baja densidad se desplazarán hacia la superficie interna de la camiseta, las cuales serán removidas en el proceso de mecanizado.

La fuerza centrífuga también promoverá que el metal fluya a lo largo de la matriz desde el extremo de donde se vierte debido a que la energía interna se transforma en energía cinética.

La taza llena asegura que el metal ingresa sin turbulencias y a un flujo laminar constante, evitando de esta manera la formación de burbujas en la camiseta. (Anexo N° 2)

Proceso de solidificación.- En la fundición centrífuga horizontal, con frecuencia es deseable mantener todo el tiempo el molde rotando, con velocidad baja durante el vaciado ó vertido del metal seguido por una aceleración rápida (alta velocidad) durante el período de solidificación.

La aplicación de la fuerza centrífuga al metal al solidificarse permite conseguir un metal más denso, para comprender este fenómeno es necesario considerar el comportamiento de la solidificación del metal.

Muchos metales y aleaciones cuando cambian del estado líquido al estado sólido sufren una reducción en volumen referida a la contracción de la solidificación puntos 2 y 3 (figura 2.2).

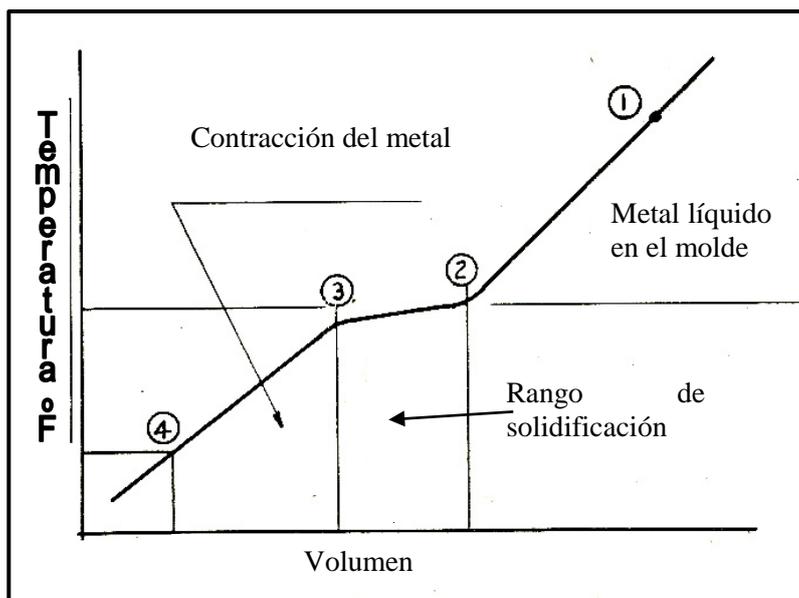


Figura N° 2.2.- Esquema de solidificación mostrando el resultado del cambio de volumen durante la solidificación <sup>(12)</sup>

La medida de esta contracción es a menudo bastante significativo usualmente equivale a 5%. Por lo cual debemos tomar las precauciones en la producción de piezas, este tipo de defecto puede manifestarse exteriormente en forma visual ó estar localizado ó distribuido internamente como cavidades, una vez solidificada la pieza, a este defecto se conoce como rechupe.

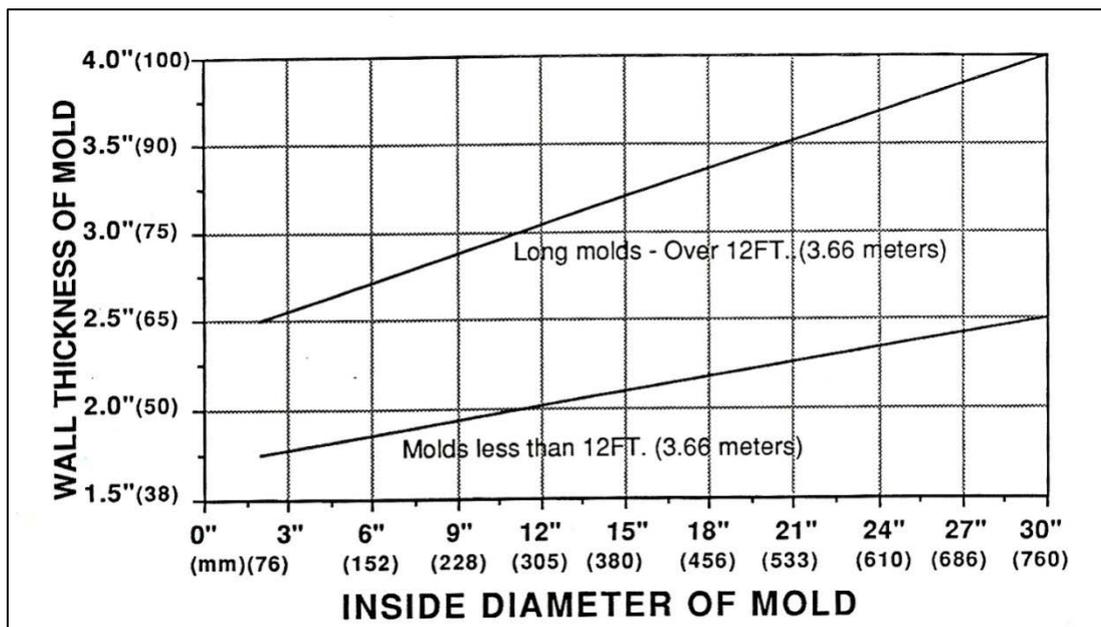


Figura N° 2.3: Determinación del espesor de la pared de la matriz de 1 ½ a 4” (12)

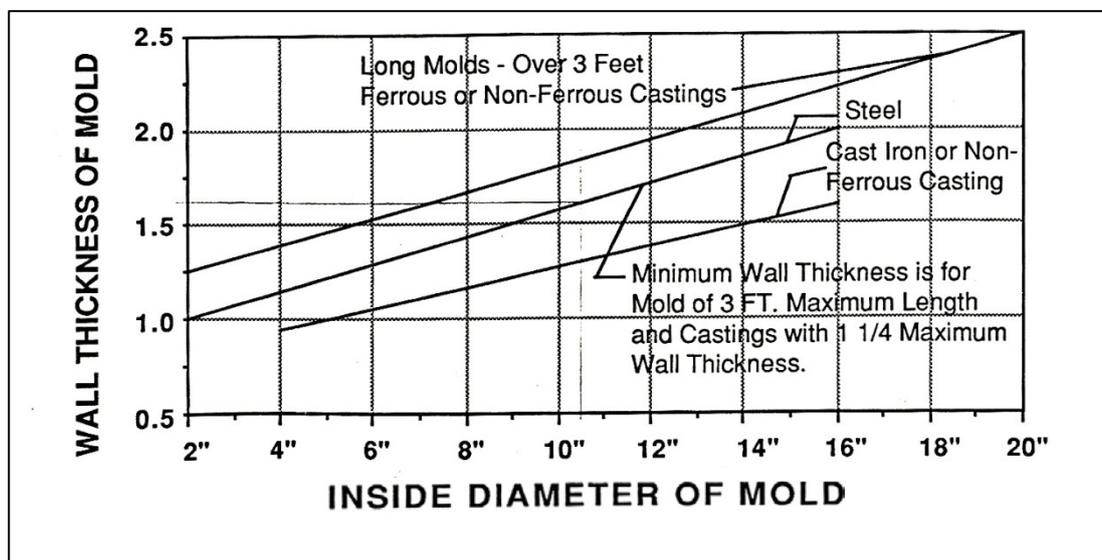


Figura N° 2.4: Determinación del espesor de la pared de la matriz de ½ a 2 1/2” (12)

**Determinación de la pared de una matriz.** La fórmula que nos permite calcular el espesor de pared de la matriz es<sup>(9)</sup>:

$$E = 1.75 + \frac{1.5}{54} (D_{in} - 3)$$

¿Dónde?:

E espesor de la pared de la matriz

Di diámetro interior de la matriz.

Ejemplo: para un  $D_{in} = 4''$

Reemplazando datos en la ecuación tenemos:

$$E = 1.75 + \frac{1.5}{54} (4 - 3) \Rightarrow E = 1.77$$

Este valor se lleva al gráfico de la figura N° 2.3 y nos da un espesor de 4.125''

Según la ASME, nos da la relación de  $t_e/d_i$  en el cual indica que si el cociente entre el espesor  $t_e$  de la pared y el diámetro interior  $d_i$  de la matriz es mayor que 0.10, se considera que el análisis a considerar corresponde a una matriz de pared gruesa, caso contrario será de pared delgada.

Analizando y dando valores al cociente:

$$\frac{E}{D_{in}} \geq 0.10 \text{ según la ASME}$$

Reemplazamos valores en el cociente

$$\frac{1.77}{4.125} = 0.4318$$

Por lo tanto se concluye que es una matriz de pared gruesa.

### **CALCULO DE LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN**

La velocidad de rotación “n” sobre el metal líquido está determinado por la cantidad de veces que puede generar la aceleración de la gravedad término conocido como “G” (número de veces de la gravedad a que el metal se encuentra sometido). Cuando se trata de diámetros relativamente pequeños se recomienda usar una velocidad (RPM) que genere un rango entre 60 y 75 G.

La fuerza que se ejerza en estas condiciones será bastante similar cuando se trate de diámetros mayores y sometidos a velocidades equivalentes (según diámetro interior).

La fuerza centrífuga en el metal líquido contenida en la matriz será la misma para un diámetro interno pequeño como para el que posee un diámetro interno mayor en la camiseta. Durante el vertido el metal soportará grandes esfuerzos tangenciales una manera de mitigarlos será variando la velocidad de rotación, a medida que ingresa el metal a la matriz se van generando un gradiente de esfuerzos tangenciales y radiales que van aumentando de acuerdo al espesor de la camiseta por acción de la aceleración centrífuga, generando una clasificación natural de las partículas hacia la pared interna de la camiseta en base a sus densidades.

### **DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE ROTACION <sup>(9)</sup>**

$$N = \frac{G}{60} (-650.19 \times \ln Di + 1905.5)$$

Donde:

G veces de la gravedad a la cual se desea someter el metal líquido (camiseta)

Di diámetro interno de la camiseta

N velocidad de rotación de la matriz.

Ejemplo: Para un diámetro interno de 2.5" y un valor de 60 G

$$N = \frac{60}{60} (-650.19 \times \ln 2.5 + 1905.5)$$

$$N = 1309.73 \text{ RPM}$$

Se verifica el valor en el nomograma del anexo N° 3 y N° 4.

**FORMULA PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD EN RPM EN UN SISTEMA DE CENTRIFUGADO VERTICAL DE UN CILINDRO <sup>(12)</sup>**

$$N = 264 \sqrt{\frac{H}{(r_1^2 - r_2^2)}}$$

Donde N = RPM

$r_1$  = radio en la parte superior del cilindro en pulgadas

$r_2$  = radio en la parte inferior del cilindro en pulgadas

H = Altura del cilindro

Ejemplo:

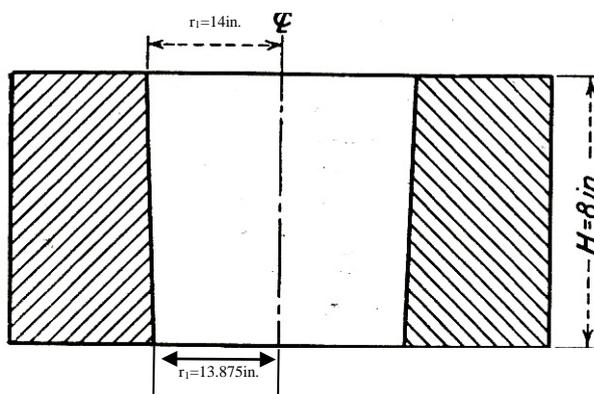
Para un  $r_1 = 14''$

$$r_2 = 3.875''$$

$$H = 12''$$

$$N = 264 \sqrt{\frac{12}{(14^2 - 3.875^2)}}$$

$$N = 262.46 \text{ RPM}$$



### **FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VELOCIDAD DE ROTACION**

- La fluidez del metal
- Razón de enfriamiento de la matriz a la capa de metal en contacto con la superficie de la matriz.
- Presión en la superficie de la matriz
- Esfuerzo circunferencial en la pared de la camiseta.
- Razón de entrega ó vertido de metal a la matriz.

### **CAMISETAS CENTRIFUGADAS DE ALTA RESISTENCIA**

El cobre posee una alta conductividad eléctrica y térmica, buena resistencia a la corrosión y maquinado, se pueden soldar y dar revestimientos superficiales metálicos.

Las aleaciones de cobre (Anexo 5) tienen una gran aplicación en todos los sectores industriales, donde la dureza, y resistencia mecánica son más importantes que la conductividad eléctrica motivo por el cual las aleaciones de bronce y latón son aplicados en lugar de cobre puro.

### **RESULTADO DEL ENSAYO DE TRACCIÓN Y DUREZA EN LAS CAMISETAS DE BRONCE SAE 64 -62**

Se realizó los ensayos mecánicos a las probetas de camisetas obtenidas en aleaciones de bronce SAE 64 y SAE 62 (DIN 1705) por el método centrifugado a diferentes velocidades de rotación y método estático por gravedad en molde de arena, la prensa que se utilizó pertenece a los

laboratorios del SIMA con una carga máxima de 60 toneladas, una prensa marca MORH FEDERHAFF + LOSENHAUSEN

TABLA 2.1.- Resultado de las pruebas mecánicas, camisetas bronce SAE 62

<b>DESIGNACION DE LA PROBETA</b>	<b>R<sub>T</sub> N/mm<sup>2</sup></b>	<b>R<sub>F</sub> N/mm<sup>2</sup></b>	<b>% ELONGACIÓN</b>	<b>DUREZA HB</b>	<b>SAE</b>
FUNDIDO EN ARENA	280	146	15	72	BRONCE SAE 62
FUNDIDO CENTRIFUGADO 800 RPM	328	153	22	85	BRONCE SAE 62
FUNDIDO CENTRIFUGADO 1000 RPM	343	176	179	88	BRONCE SAE 62

TABLA 2.2.- Resultado de las pruebas mecánicas, camisetas bronce SAE 64

<b>DESIGNACION DE LA PROBETA</b>	<b>R<sub>T</sub> N/mm<sup>2</sup></b>	<b>R<sub>F</sub> N/mm<sup>2</sup></b>	<b>% ELONGACIÓN</b>	<b>DUREZA HB</b>	<b>SAE</b>
FUNDIDO EN ARENA	194.4	150	6.4	60	BRONCE SAE 64
FUNDIDO CENTRIFUGADO 800 RPM	202.2	138.17	11.7	65	BRONCE SAE 64
FUNDIDO CENTRIFUGADO 1000 RPM	239.75	147.7	12.4	71	BRONCE SAE 64

Tabla 2.3. Resultados del análisis químico de los bronce ensayados

Se realizó en un espectrómetro BAIRD modelo FQS, que analiza muestras ferrosas y no ferrosas.

Tipo de bronce	Cu	Sn	Pb	Zn	Fe	Al
Br – 62	Reman	10.5	0.42	1.8	0.02	0.01
Br – 64	Reman	10.9	8.5	0.5	0.03	0.03

El bronce SAE 62 con los elementos aleantes indicados presentan mejores propiedades mecánicas como muestra la tabla 2.1.

**2.2. Horno de Inducción.-** El calentamiento por inducción pone en juego tres fenómenos físicos simultáneos:

1. Transferencia de energía del inductor que entrega al cuerpo de carga conductor en sus proximidades por electromagnetismo.
2. La transformación en el cuerpo de carga de la energía eléctrica en calor por el efecto Joule.
3. La transmisión de calor por conducción en el seno del cuerpo de la carga.

El elemento más importante en los hornos de inducción es la bobina inductora cuya forma de arrollamiento en espiral envuelve a la carga metálica.

De acuerdo a la ley de Lenz, en todo elemento conductor de electricidad que se encuentra sometido a un campo magnético variable se induce una corriente eléctrica; esta corriente inducida en la carga de naturaleza alterna creará a su vez un campo magnético alterno

que se opone al creado por la corriente en el primario dando lugar a dos corrientes de sentidos opuestos en el primario y en la carga metálica, no olvidar que la corriente alterna que circula por el primario crea un campo magnético alterno y por lo tanto variable (Figura 2.5).



Figura N° 2.5.- Bobina en mantenimiento, espiras sostenidas por soportes aislantes. Referencia (Empresa FUNESPA)

Los hornos de inducción sin núcleo se basan en la ley física según la cual los cuerpos metálicos sometidos a la acción de un campo magnético de corriente alterna se calientan tanto más cuanto más intenso es el campo magnético y cuanto más elevada es la frecuencia. Su bobina de cobre es una espiral de sección cilíndrica, rectangular ó cuadrada por la que interiormente circula agua con el fin de refrigerar a la bobina. En la parte interior de la bobina se coloca una formaleta metálica que permitirá dar forma al crisol del horno, crisol que será

apisonado con un refractario seco de alta alúmina cuya temperatura de trabajo es de 1700 grados centígrados, luego del sinterizado del horno se observará que la bobina de cobre se encuentra encerrada en una capa de material refractario alrededor de toda la longitud interior del horno (Figura 2.6).

En funcionamiento, una poderosa corriente eléctrica a través de la bobina crea un campo magnético que penetra al refractario y rápidamente funde el material de carga metálica dentro del horno.

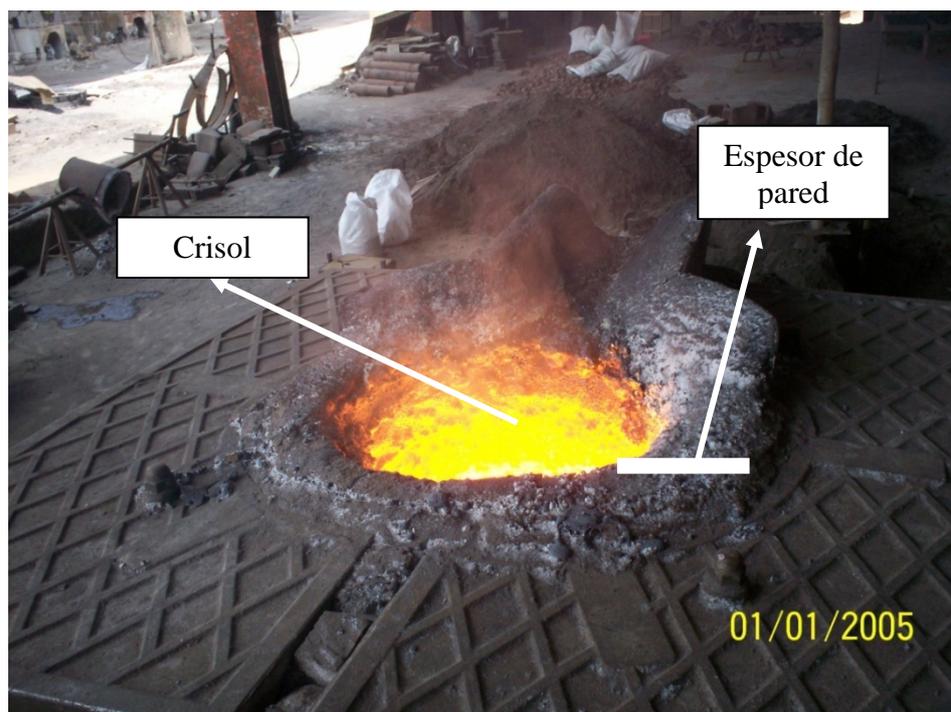


Figura N° 2.6.- Espesor de la pared no impide el calentamiento de la carga metálica. Referencia (Fundición IRIS)

El proceso metalúrgico de la fundición permite por reciclaje la recuperación de los desechos metálicos inútiles, el fundidor recoge la

chatarra y la vuelve a fundir en hornos para transformarlas en piezas metálicas nuevamente útiles y activas.

Todo proceso de fundición requiere:

- a) Un horno donde se realiza la operación metalúrgica del fundido.
- b) Una fuente de calor capaz de suministrar la energía térmica necesaria para que el metal se funda.
- c) Materiales refractarios capaces de resistir la temperatura a la que se trabaja sin desperdiciar el calor que se suministra, soportando la acción agresiva de la escoria y contrarrestar la reacción corrosiva.

La operación del horno y la fuente de calor serán puntos de partida para el uso de diferentes tecnologías de fusión, Los hornos de inducción sin núcleo magnético son los más usados en nuestro medio para la fundición de metales. En un horno de inducción sin núcleo, la bobina de cobre encierra una capa de material refractario alrededor de toda la longitud interior del horno. en funcionamiento, una poderosa corriente eléctrica a través de la bobina crea un campo magnético que penetra al refractario y rápidamente funde al material de carga metálica dentro del horno la bobina de cobre es mantenida fuera de sobrecalentamiento por agua de enfriamiento circulando a través de esta.

El horno de inducción opera a baja, mediana y alta frecuencia de 60 a 10 000 ciclos y ofrece a las fundiciones la mayor flexibilidad en la fusión; este puede arrancarse en frío y generalmente es vaciado completamente.

Simplificando el cambio de aleaciones y permitiendo parar el horno cuando se desee.

Este tipo de horno es el que permitirá innovar una nueva tecnología de fusión de metales en la regiones del país permitiéndole desarrollar en la región aleaciones como los aceros de bajo, medio y alto carbón, además aceros inoxidable, aceros al manganeso, fundición gris, blanca, nodular, micro aleaciones y finalmente aleaciones de base cobre.

**2.2.1.** Ventajas de la fusión de metales mediante el uso de corriente inducida o calentamiento por inducción.

- El calor se genera en el seno mismo de la carga o de la pieza.
- La inercia térmica de los equipos es muy reducida;
- La potencia específica ( $\text{kw}/\text{m}^2$  o  $\text{kw}/\text{m}^3$ ) es elevada lo que origina una gran rapidez de calentamiento.
- Bajas pérdidas por oxidación de material;
- Mejores condiciones de trabajo alrededor de los equipos;
- Menor contaminación exterior e interior por los hornos.
- Consumos nulos en periodos sin producción.
- Tecnología eléctrica y electrónica de suficiente conocimiento por parte del personal especializado.
- Ausencia de humos y gases que pueden contaminar el proceso.
- Grandes posibilidades de control y regulación de los parámetros metalúrgicos (temperatura, elementos aleantes, tiempo, velocidad) permite obtener mejores propiedades en el metal por ser limpios

exentos de gases y de productos de combustión. Flexibilidad en la producción versatilidad en la fabricación de aleaciones tanto ferrosas como no ferrosas.

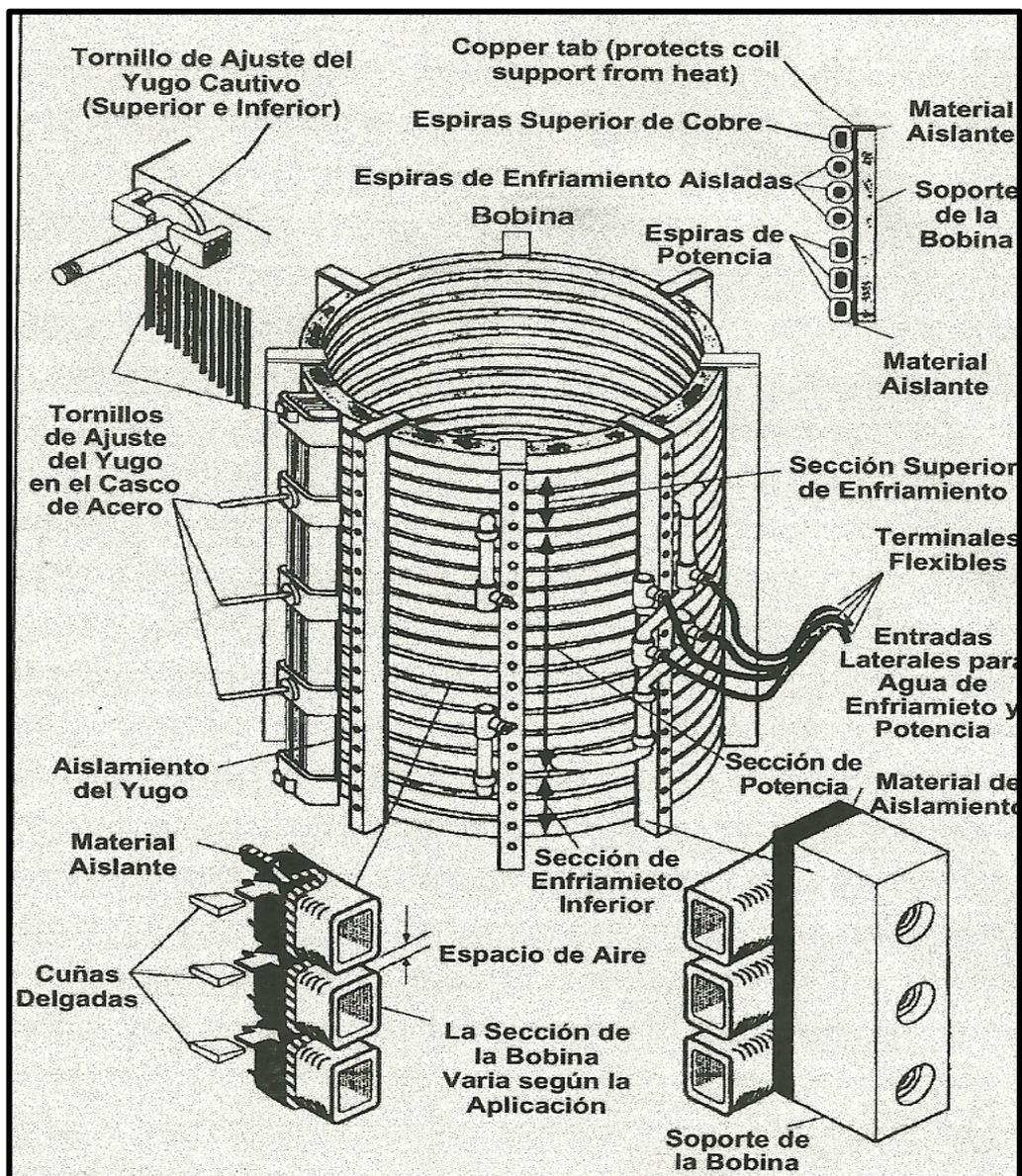
- Puede aplicarse a técnicas especiales como es la fusión en vacío para conseguir metales de alta calidad no obtenido por otros métodos.
- Buen rendimiento, el coste de la energía puede ser equivalente o ligeramente superior al de otros hornos que emplean combustibles sólidos o derivados del petróleo;
- Mejora las condiciones ambientales del trabajo ya que no hay pérdidas excesivas de calor, no hay humos ni polvo.
- La agitación del baño y su homogenización son inherentes al proceso.
- El coste de los revestimientos refractarios es también mínimo ya que ninguna parte del horno está a mayor temperatura que el propio metal.
- Uso de chatarras recicladas para la producción de aceros al carbón aleados, inoxidable, fundiciones y aceros al manganeso.

**2.2.2.** Desventajas de la fusión de metales mediante el uso de corriente inducida o calentamiento por inducción.

- Genera una inversión inicial alta, alto costo de los equipos y mayores gastos de instalación.
- Mayor consumo energético.
- Imposibilidad práctica de efectuar operaciones de afino.
- Capacitación obligada del operador del horno.
- Mayor costo de mantenimiento preventivo.

- Mayor consumo de energía eléctrica durante su operación.
- Requiere sistema de transformación de voltaje (10 000 v a 440v).
- Requiere grupo electrógeno de auxilio.

### 2.3. Mantenimiento del horno de inducción sin núcleo (Figura 2.7)



En la figura 2.7 se muestra el esquema de una bobina y las partes que deben inspeccionarse periódicamente <sup>(11)</sup>.

**Mantenimiento del casco y la bobina.-** Checar la limpieza del área alrededor del horno diariamente, no permitir que la escoria ó pedazos de chatarra hagan contacto con los cables de potencia del horno.

Retirar la escoria o rebabas de metal que tenga acumuladas dentro del casco del horno.

Las bobinas deben ser inspeccionadas mensualmente buscando signos de arqueamiento, sobre calentamiento o decoloración en el aislamiento de la bobina, el sobrecalentamiento de la bobina puede causar que se deteriore el aislamiento de la bobina y causar problemas de la bobina a tierra o entre espiras.

Inspeccionar todas las conexiones de agua asegurando que no haya fugas , ni mangueras dañadas por caídas de rebabas calientes, todos los hornos de inducción deberán tener un sistema de enfriamiento de respaldo., tal como una bomba alimentado por una batería o un grupo electrógeno.

**Revestimiento del horno.-**La penetración del metal está dentro del rango de los accidentes más severos que pueden ocurrir durante las operaciones de fusión y sostenimiento por lo que se debe realizar una instalación adecuada del refractario al momento de armar el crisol, monitorear constantemente el normal desgaste del refractario de la pared del horno y no permitir que el refractario se adelgace demasiado, evitar los

repentinos o efectos acumulativos de temperaturas excesivas o choques térmicos, evitar la escoria o adherencia de la misma en las paredes.

**Detector de fuga a tierra.-** El sistema del detector de fuga a tierra es muy importante en la seguridad y sostenimiento, incluye un circuito detector de tierra asociado con la unidad de potencia y unos alambres de prueba denominado araña, estos suministran una protección importante contra una descarga eléctrica al operario y advierte de la penetración del metal hacia la bobina.

El circuito detector de tierra del sistema de fusión también deberá revisarse por lo menos una vez al día.

**Mantenimiento de la fosa de emergencia.-** Las condiciones de la fosa de emergencia deberán ser revisadas al inicio de cada turno. No deberá operarse el horno de inducción, sin una fosa de emergencia que no está seca y debidamente mantenida. Localizada y enfrente del horno, estas fosas contienen con seguridad cualquier derrame de metal fundido del horno como resultado de un accidente, derrame sin control, o vaciado de emergencia del horno. Sin una fosa apropiada los derrames de metal fundido, podrían fluir a través del piso de la fundición poniendo en peligro a los trabajadores y dañando los hornos y las estructuras de otros equipos es importante por esta razón mantener las fosas de emergencia libres de escombros y materiales inflamables (figura 2.8).



Figura N° 2.8.- Horno de inducción en plena operación. Obsérvese la fosa limpia y la callana en espera de recibir el metal. Referencia (Empres MEFICO SRL)

## **CAPITULO III**

### **DESCRIPCION DEL PROCESO**

**3.1. Preparación de la matriz .-** Se selecciona el tamaño de la matriz según pedido del cliente usando una escobilla de fierro limpiar el interior de la matriz retirando óxidos y partículas adheridas precalentar la matriz a una temperatura de aproximadamente 70 grados centígrados proceder al pintado del interior de la matriz con pintura base grafito ó base zirconio que son pinturas refractarias. Volver a precalentar la matriz hasta una temperatura de 150 grados centígrados quedando lista para el vaciado.

**3.2. Selección de la materia prima**

Usar chatarra de cobre puro, retornos de bronce debidamente seleccionados, estaño y zinc electrolítico, desgasificadores, desoxidantes.

**3.3. Fusión**

Iniciar el llenado del horno de inducción con trozos pequeños de chatarra de cobre conforme se va fundiendo se adiciona el resto de la carga en el

siguiente orden: cobre, retorno de bronce ; el estaño y el zinc se adicionan momentos antes de la colada . Durante la fusión, mantener el baño (metal liquido) cubierto con carbón de madera (eucalipto). La desoxidación y desgasificación se realiza en la callana, se saca un testigo y el metal queda listo para verterlo en la matriz.

#### **3.4. Vertido del metal**

El vaciado del metal se hará teniendo las siguientes consideraciones: a una temperatura de 1200 grados centígrados y cuando la máquina centrifugadora a estabilizado su velocidad máxima de rotación, una vez vaciado todo el metal de la callana abrir la llave de la tubería de refrigeración del agua de esta manera se procede al enfriamiento del metal contenido en la matriz.

#### **3.5. Extracción de la matriz.**

La extracción de la matriz se realizará cuando se observe que el interior de la pieza presente una coloración oscura signo de estar fría momento en que se procede a presionar el botón de parada de la centrifuga, se procede a cerrar la llave del sistema de refrigeración de agua cuando la centrifuga se detenga.

#### **3.6. Maquinado de la matriz**

Es importante tener en cuenta que las empresas certificadoras solicitarán como medida de acabado 2mm de tolerancia con respecto a las medidas finales.

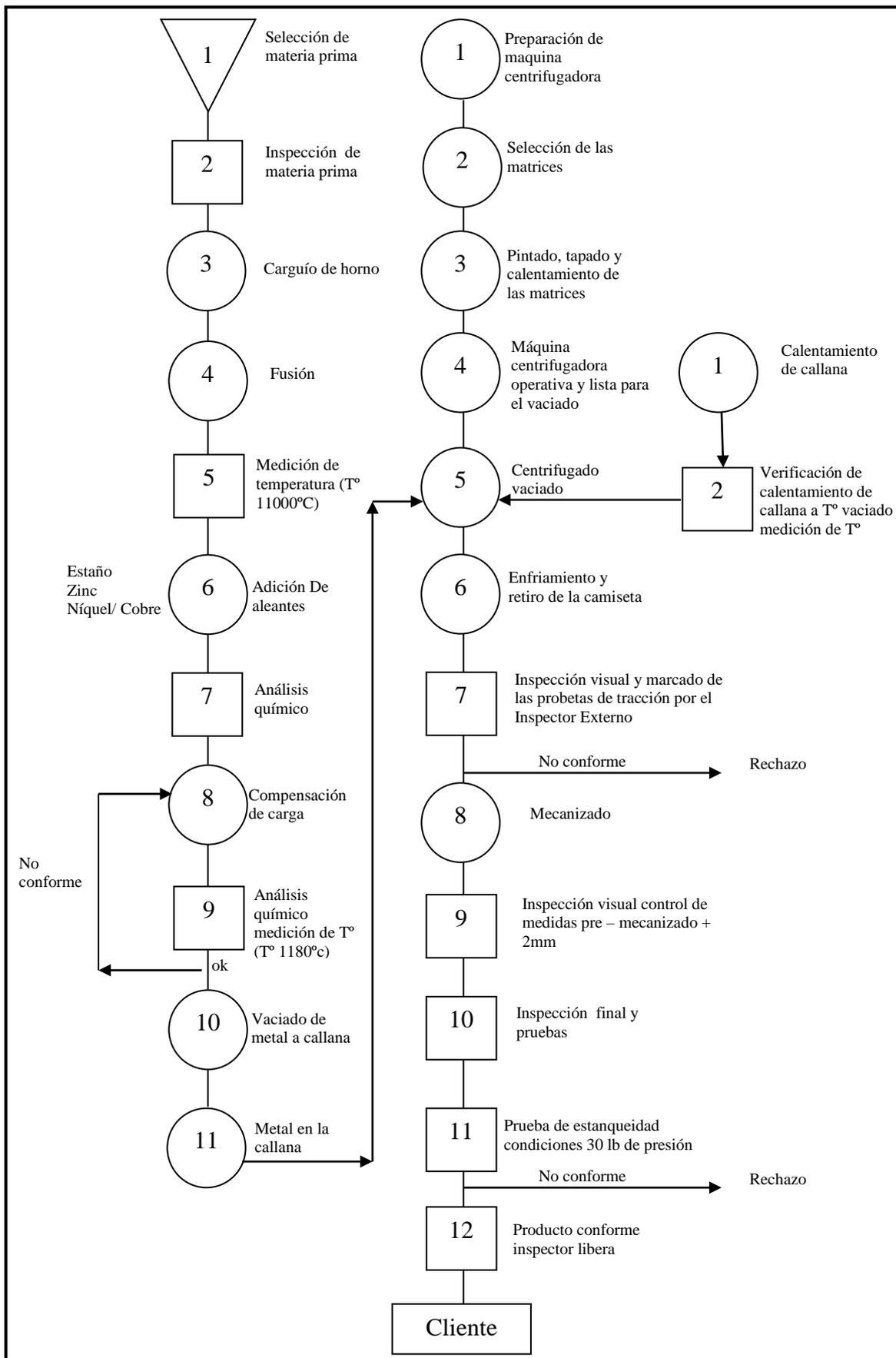


Fig. 3.1 Diagrama de operaciones del proceso de fabricación de la camiseta naval

## **CAPITULO IV**

### **ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL PRODUCTO**

#### **4.1. ALCANCES**

En el capítulo 3 sección 2 del manual materiales metálicos edición 1998 la empresa GERMANISCHER Lloy indica las especificaciones técnicas para la certificación y construcción en la industria naval, estas especificación son aplicables para fundición de aleaciones de cobre en la fabricación de válvulas, carcasas de bomba, ejes, bocinas o camisas para sistema de propulsión y partes similares.

#### **4.2. FABRICACION**

El método de fabricación definirá la técnica a fundir.

Fundición en arena, en coquilla, fundición centrifugada y colada continua pueden ser usados, para la obtención del producto.

La fundición puede ser suministrada en condición de fundido ó con tratamiento térmico siendo esta una opción de los fabricantes a menos que esto se especifique en la orden de compra.

### **4.3. SELECCIÓN DE LA ALEACIÓN ADECUADA**

Los grados de las aleaciones fundidas deben ser adecuados para la aplicación conveniente sujeto a estas condiciones, los siguientes grados pueden ser usados:

**4.3.1.** Grados conformados por: DIN 1705, DIN 1716 y DIN 17658

(Tabla 4.1).

**4.3.2.** Grados conformados para otros estándares o especificaciones, con tal de que su adecuación haya sido confirmada por el instituto.

### **4.4. CARACTERISTICAS DE LA FUNDICION**

Todas las fundiciones deben proporcionarse en una condición pre mecanizado (limpia). ellos deben ser libres de fisuras de contracción, poros, sopladuras, grietas, inclusiones y otros defectos que perjudican su uso y la durabilidad del producto pequeños defectos superficiales pueden ser removidos esmerilándolo, proporcionando de tal manera que las tolerancias dimensionales no sea excedida (anexo N° 6 , anexo N° 7)

Donde los defectos serán reparados por soldadura, se someterán los detalles del proceso al inspector para la aprobación, antes de que el proceso de la

reparación se inicie el inspector será notificado de la ubicación, naturaleza y tamaño de los defectos.

Las bocinas y las placas de aleaciones de Cu - Pb – Sn, resisten pero no pueden ser soldadas. El objetivo de soldar es mejorar el aspecto de la fundición que podría no ser aceptable.

**TABLA 4.1.- GRADOS DE LAS ALEACIONES DE COBRE <sup>(12)</sup>**

Designación del Material	Designación del material abreviado	Composición Química para	Aplicación recomendada
Bronce CuSn 90/10	G-Cu Sn10	DIN 1705	Válvulas y carcazas de bombas
Gunmetal 88/10/2	G-Cu Sn 10 Zn	DIN 1705	Camisetas, bocinas
Leaded Gunmetal 83/7/4/6	G-CuSn 7 ZnPb	DIN 1705	Camisetas, bocinas
Leaded Gunmetal 85/5/5/5	G-CuSn 5 ZnPb	DIN 1705	Bocinas, válvulas, anillos
Bronce al Plomo 85/5/10	G-Cu Pb 5 Sn	DIN 1716	Válvulas y carcazas de bombas
Cobre-Niquel 90/10	G-Cu Ni 10	DIN 17658	Válvulas y carcazas de bombas
Cobre-Niquel 70/30	G-Cu Ni 30	DIN 17658	Camisetas, válvulas y carcazas de bombas

#### **4.5. TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS**

Las tolerancias dimensionales y geométricas serán aquéllas especificadas en las normas pertinentes. Las normas se indicarán en la orden de compra y se dará a conocer al inspector.

#### **4.6. RESISTENCIA A LA PRESION HIDROSTATICA**

Las piezas fundidas están sujetas a presiones internas por el medio en que trabajan, por lo tanto, deben pasar las pruebas de estanqueidad a la presión respectiva indicada en la norma.

#### **4.7. ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL**

La composición química y las propiedades mecánicas deben estar conformes a las normas pertinentes o a las especificaciones aprobadas. La tabla 4.2 contiene propiedades mecánicas de los grados de las aleaciones fundidas especificadas en la tabla 4.1.

**TABLA 4.2.- PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ALEACIONES DE COBRE DE ACUERDO AL PARAMETRO SOLICITADO <sup>(12)</sup>**

<b>Designación del material abreviado</b>	<b>Método de Fundición</b>	<b>Prof. Stress <math>R_{p 0.2}</math> (N/mm<sup>2</sup>) min.</b>	<b>Tensile strenght <math>R_m</math> (N/mm<sup>2</sup>) min.</b>	<b>Elongation <math>A_5</math> (%) min.</b>	<b>Hardness HB 10 min.</b>
G-Cu Sn 10	Sand cast	130	270	18	70
G-Cu Sn 10 Zn	Sand cast	130	260	15	75
	Centrifugally cast	150	270	7	85
	Continuosly cast	150	250	7	80
G-CuSn 7 ZnPb	Sand cast	120	240	15	65
	Centrifugally cast	130	270	13	75
	Continuosly cast	130	270	16	70
G-Cu Sn 5 ZnPb	Sand cast	90	240	18	60
G-Cu Pb 5 Sn	Sand cast	130	240	15	70
G-Cu Ni 10	Sand cast	150	310	18	100
G-Cu Ni 30	Sand cast	230	440	18	110

#### **4.8. PROTOCOLO DE ENSAYOS Y RESULTADOS**

Las siguientes pruebas deben ser realizadas:

##### **Prueba de composición química.**

El fabricante debe determinar la composición química de cada colada y debe emitir el certificado pertinente donde la fundición es hecha con lingotes de retorno de material virgen sin significativas adiciones a la colada, el certificado del fabricante del material virgen puede aceptarse como prueba de la composición química, adiciones menores para compensar las pérdidas de fusión de la colada pueden ser consideradas despreciables, en caso de duda de la composición se determinará analizando la colada.

##### **Ensayo de tracción.**

Para este propósito se tomará un testigo de cada colada y sujeto a prueba. Si el peso de la colada excede 1000 kg., se solicitará un segundo testigo de prueba.

Los testigos se tomarán como sigue:

- En el caso de fundición en arena y fundición en coquilla el testigo será tomado íntegramente de una barra fundida o separadamente como una muestra de pieza fundida (probeta). y debe provenir de la misma colada.
- En el caso de la fundición centrifugada y colada continua el testigo deberá ser tomado de la misma pieza.
- Cuando las piezas son suministradas con la condición de ser tratados térmicamente, la probeta deberá ser sometida a las mismas condiciones de tratamiento térmico.

**Examen de las superficies final y dimensiones.**

El fabricante inspeccionará cada pieza considerando para esto la superficie final y cumpliendo con geometría de la pieza y las tolerancias dimensionales, después cada pieza puede ser presentada al inspector para la revisión final (Anexo N°8).

**Prueba de presión hidrostática**

Esta prueba se aplicará en piezas de ensamble, las piezas serán sometidas a una prueba de presión hidráulica en presencia del inspector, las camisas serán probadas a una presión de al menos 2 bar para todos los otros componentes la presión de prueba es normalmente 1.5 veces la presión de operación.

**Identificación y marcado.**

- El fabricante debe emplear un sistema de monitoreo que permita que todas las piezas fundidas, tengan trazabilidad después de la colada. a petición del inspector se le entregará un testigo a fin de permitir la trazabilidad.
- Antes de la inspección final por el inspector cada pieza será marcada por el fabricante como sigue
  - a) La marca del fabricante.
  - b) La designación corta de la aleación.
  - c) Número de colada o una marca de código que permita que el proceso de fabricación pueda ser trazado.

- d) Número de probeta.
- e) Datos de la prueba.
- f) Prueba de presión, donde sea aplicable.

A petición del inspector, el número del certificado de prueba también será sellado en el caso de las piezas fundidas pequeñas producidas en serie, por ejemplo: los alojamientos de válvulas, el marcado será de forma que permita la situación ser contrastado con el certificado de prueba.

### **Certificados de prueba**

Para cada envío el fabricante debe suministrar al inspector un certificado de prueba o entregar la especificación que contengan los siguientes detalles:

- a) Comprador y número de orden.
- b) Número y peso de las piezas fundidas.
- c) Designación del material y condición en el cual son suministrados.
- d) Composición de la colada (o del material virgen cuando se requiera)
- e) Método de fabricación.
- f) Resultado de las pruebas mecánicas realizadas por el fabricante.
- g) Prueba de presión cuando sea aplicable.

## **CAPITULO V**

### **PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD**

**5.1. Estanqueidad.** – Consiste en someter a la camiseta a una prueba hidrostática a 30 lbs. de presión a fin de detectar micro poros, micro fisuras y la compactibilidad de las paredes de la camiseta que solo se obtiene centrifugando el producto.

La prueba se realiza en las instalaciones de la fundición y en presencia del inspector.

**5.2. Tracción.-** El inspector solicita previamente una probeta (anexo 9 y 10) para la prueba de tracción la cual es preparada según norma establecida, prueba que determina la resistencia a la tracción, punto de fluencia y su elongación esta prueba es importante debido a que al momento de encamisar los ejes de propulsión deben mostrar sus mejores propiedades elásticas pues estas se pre calientan a 200 grados centígrados con el fin de aumentar su diámetro para poder encamisar los ejes estos cambios no deben modificar sus propiedades mecánicas y evitar las fisuras de contracción.

La prueba se realiza en los laboratorios del SIMA, UNIVERSIDAD CATOLICA, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA en presencia del inspector de la empresa certificadora.

**5.3. Dureza.-** Considerando que las camisetas protegen a los ejes de la corrosión y trabajan a fricción y rozamiento con esta inspección se medirá el rendimiento de la camiseta durante su uso pudiendo predecir fallas de desgaste que afectaría la performance de la camiseta.

**5.4. Análisis químico.-** Esta prueba válida que los elementos aleantes como el cobre, estaño, zinc y los elementos nocivos como el aluminio, hierro estén en la proporción adecuada y dosificada según la norma establecida.

Los análisis químico se realizaron en un espectrómetro de la marca Baird modelo FQS, que analiza 22 elementos, la toma del testigo final y la quema del mismo en el espectro se realiza en presencia del inspector quien autoriza el vaciado del metal. (Tabla 2.3)

**5.5. Control dimensional.-** Este control valida las dimensiones de la camiseta con las que el taller entrega al cliente, estas medidas con sus tolerancias de maquinado deben registrarse en un plano y serán validadas por el inspector.

**5.6. Empresas certificadoras.-** Son entes debidamente registradas a nivel internacional y autorizados para validar los procesos y productos que una

empresa produce para atender el mercado interno y externo (productos navales como los sistemas de propulsión) por ende estos productos deben cumplir estándares internacionales de calidad, cada ente certificador definirá en su momento sus procedimientos de inspección y la trazabilidad del producto durante el proceso (Anexo N° 11).

La contratación de estas instituciones permite a las empresas navieras de otros países poder realizar el mantenimiento de sus naves en el Perú permitiendo a las empresas navieras poder validar el mantenimiento y reparación de sus embarcaciones ante las aseguradoras internacionales y mantener vigente su seguro de operación. Las instituciones mas connotadas son:

- GERMANISCHER LLOYD; LLOYD REGISTER; S G S. DEL PERU;  
BUREU VERITAS

## CONCLUSIONES

- Las piezas producto de fundición centrifugada presentan características de calidad superficial superiores a las obtenidas por gravedad. (Anexo 12)
- Mejoramiento de las propiedades físicas: las propiedades físicas tales como la resistencia a la tracción, ductilidad, dureza, son incrementados cerca de un 30% por encima de los métodos de fundición estática, debido a la densificación de la masa lo que permite obtener una estructura de micro cristales con propiedades mecánicas más elevadas.
- Económico: los procesos de fundición centrifugada proveen una producción económica de piezas de diferente tamaño y forma, siendo notorio la reducción en el manipuleo de moldes y mantenimiento de modelos.
- Económico: las indudables ventajas que presenta la fundición centrifugada la hace insustituible en aquellos casos en los que se requieran elevadas características mecánicas y una óptima calidad junto con unos costes razonables.
- Reducción de defectos: los defectos de fundición tales como burbujas, rechupes, inclusiones son mínimos por lo cual hacen de este método de fundición, una alternativa cuando de calidad se trata.
- Mayor performance: las piezas obtenidas por centrifugación, al mejorar sus propiedades físicas alargan su tiempo de vida, al resistir grandes cargas y deformaciones sin fractura.
- Ahorro de maquinado: en este método no es necesario gastar tiempo en el proceso de maquinado, ya que las medidas de las piezas son muy precisas

y presentan una superficie lisa y las tolerancias de maquinado se reducen hasta 2 mm versus los 5mm que requiere la fundición estática.

- Se concluye que el uso de horno de inducción para la fusión de las aleaciones base cobre y el método de la fundición centrifugada permitirá obtener camisetas para los sistemas de propulsión de las embarcaciones a bajos costos y de excelente calidad.
- Se recomienda tener en cuenta que la selección de la materia prima y el muestreo del mismo darán como resultado una composición química bastante uniforme.
- Cuando se detecten fisuras longitudinales en las camisetas del sistema de propulsión, se recomienda para evitar el fenómeno, verificar el método de llenado y la velocidad rotativa de la matriz. para ello se empieza con un número muy reducido de revoluciones mientras se llena la matriz y luego paulatinamente el número de revoluciones se eleva hasta el valor adecuado.
- Se recomienda controlar la fluidez del metal en el momento de verter a la matriz para evitar la formación de burbujas así mismo verificar la limpieza superficial interior de la matriz.
- El arranque a tensión reducida que posee la máquina centrifugadora puede ser cambiado por un variador de velocidad, ya que este tiene una mayor ventaja debido a que el motor arrancara con velocidad cero hasta llegar a la nominal, esto es favorable ya que debe vencer el peso de la matriz.
- Un adecuado mantenimiento de la estructura de la máquina y una verificación y lubricación de los cojinetes, evitarían vibraciones al

momento de verter el metal en la matriz, evitando de esta manera que se produzcan grietas al momento de solidificar la camiseta.

## BIBLIOGRAFIA

1. ANDREW, Pytel, Resistencia de materiales, México; 1994.
2. ASTIGARRAGA U, J; Hornos Industriales de Resistencias, Mc – Graw - Hill; España; 1995; sexta edición.
3. BAUMISTER, TIM y AVALLONE, Edgar; Mark's; Manual del Ingeniero Mecánico. 8va Edición, Mc Graw – Hill; New York.
4. Centrifugal Casting, Janco Nathan Illinois, 1988.
5. Centrifugal Casting Finishing Rolls, Modern Casting, p 46, January 1975.
6. Centrifugal Casting Firm Increases Capacity With Induction Melting equipment Industrial Heating pp 1258 – 1260: July 1973.
7. GERMANICSHER LLOYD, Ruler Ford Classification and construction, tomo II, Material and welding technology, parte I – Metallic Materials, Chapter 1-5. Edición 1998.
8. Investigation of Centrifugal casting conditions influence on part quality, department of metal and manufacturing technology, National Technical University of Athens Greece.
9. Influence of the rotational speed in centrifugal casting, international advanced materials and composites (ICAM-2007) Ict 24-26 2007.
10. KALPAKJIAN, S; Manufactura, Ingeniería y Tecnología; Cuarta Edición, México, Editorial Pearson, Educación 2002.
11. Modern casting, revista fundi expo 2000.
12. NATHAN JANCO, Centrifugal casting, American Foundrymen's Society, INC. Edición 1992.

13. ROBERT L. NORTON. Diseño de Maquinaria. Editorial Me Graw Hill, México 2000.
14. SAE HANDBOOK, part 1, 1979.
15. TITOV, STEPANOV, Tecnología de los procesos de Fundición, Editorial Mir, 1981.

# **ANEXOS**

### ANEXO N° 1 A



Extracción de la camiseta de una centrífuga vertical (Empresa TULSA)

### ANEXO 1 B



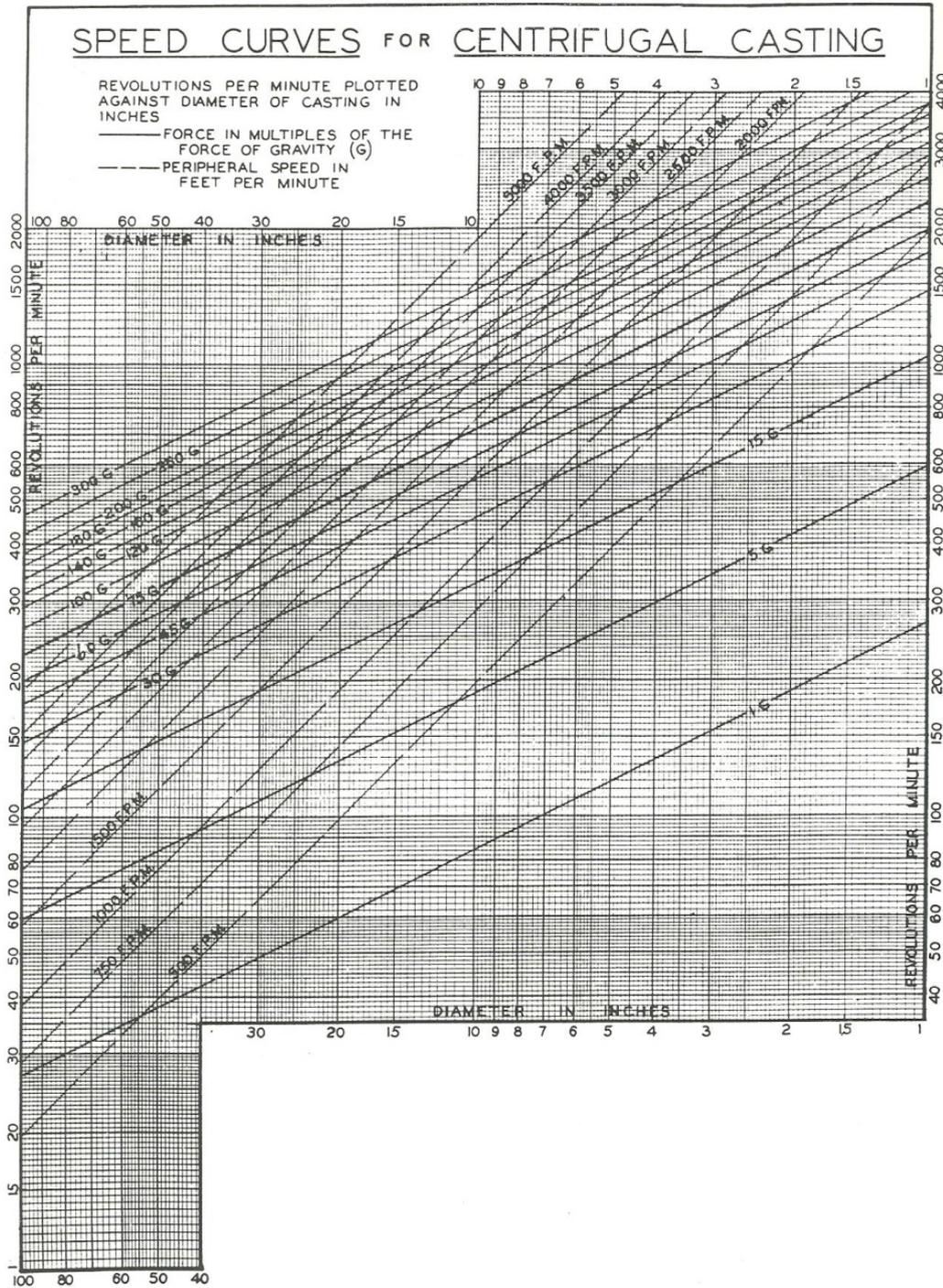
Vertido de metal de la callana en la máquina centrífuga vertical. (Empresa IRIDIUM SA.)

ANEXO N° 2



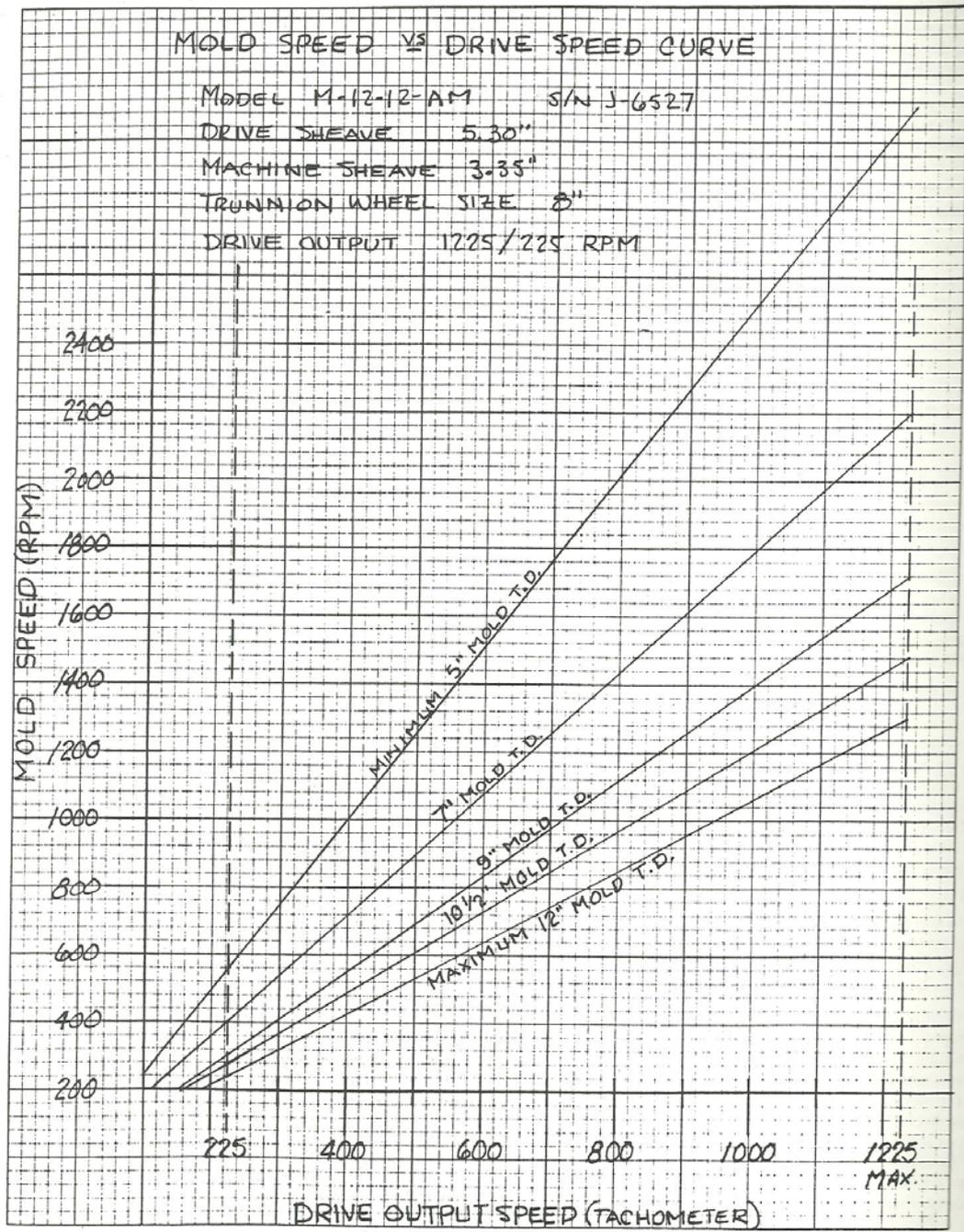
Centrifuga en operación y operarios en el momento de vaciado del metal. (Fundición IRIS)

ANEXO N° 3



Curvas de velocidad para la fundición centrifugada <sup>(12)</sup>.

ANEXO N° 4



Mold speed versus drive speed, curve <sup>(12)</sup>.

## ANEXO 5

Tabla de especificaciones técnicas de aleaciones de cobre (bronce) (Empresa FUNESPA)

ESPECIFICACIONES TECNICAS											
MATERIAL	CODIGO FUNESPA	ESPECIFICACIONES REFERENTES			ANALISIS QUIMICO				PROPIEDADES MECANICAS		
		A.S.T.M.	S.A.E.	D.I.N.	Sn	Pb	Zn	Ni	Pesist. Tracc. Kg/mm <sup>2</sup>	Alarga- miento %	Dureza Brinell 1,000 Kg.
<b>BRONCES</b>	FE-1	B 100 510		CuSn6	5				28	30	80
	FE-2	B 584 922	622		6	1,5	4,5		24	22	65
	FE-3	B 584 903	620		8		4		28	20	70
	FE-4	B 584 923	621		8	< 1	4		25	18	70
	FE-5	B 584 905	62	CuSn10Zn	10		2		28	20	75
	FE-6	B 505 927	63		10	2			25	10	77
	FE-7	B 505 907	65		11				25	10	80
	FE-8	B 505 925	640	CuSn10	11	1		1	25	10	80
	FE-9	B 427 908		CuSn12	12				28	15	90
	FE-10	B 505 910		CuSn14	14				21	1	105
					Sn	Pb	Zn	500 Kg.			
<b>BRONCES AL PLOMO</b>	FE-11	B 584 836	40	CuSn5ZnPb	5	5	5		21	20	60
	FE-12	B 584 932	660	CuSn7ZnPb	7	7	3		21	12	65
	FE-13				7	9	3		21	12	65
	FE-14	B 584 935	66		5	9			18	8	60
	FE-15	B 584 937	64	CuPb10Sn	10	10			18	8	60
	FE-16	B 584 938	67	CuPb15Sn	6	15			18	5	63
	FE-17	B 584 943			5	25			15	7	48
	FE-18	B 66 945			7	20			16	12	50
					Ni	Fe	1000 Kg.				
<b>CUPRO NIQUEL</b>	FE-19	B 584 947			5		Sn=5	Zn=2	32	25	85
	FE-20	B 369 962		CuNi10Fe	10	1,4			32	20	65
	FE-21	B 369 964		CuNi30Fe	30	0,9			42	20	85
					Fe	Al	Mn	Ni			
<b>CUPRO ALUMINIO</b>	FE-22				15	0,7	Co=1,5	Al=10	64	5	190
	FE-23	B 505 952	68 A	CuNi5Fe5	5	9	1,5	5	60	10	180
	FE-24	B 505 957		CuNi3Fe1	3	9	1	1	40	15	120

ANEXO N° 6



Camiseta obtenida por centrifugación horizontal sin mecanizar (Empresa ALTES SAC)

ANEXO N° 7



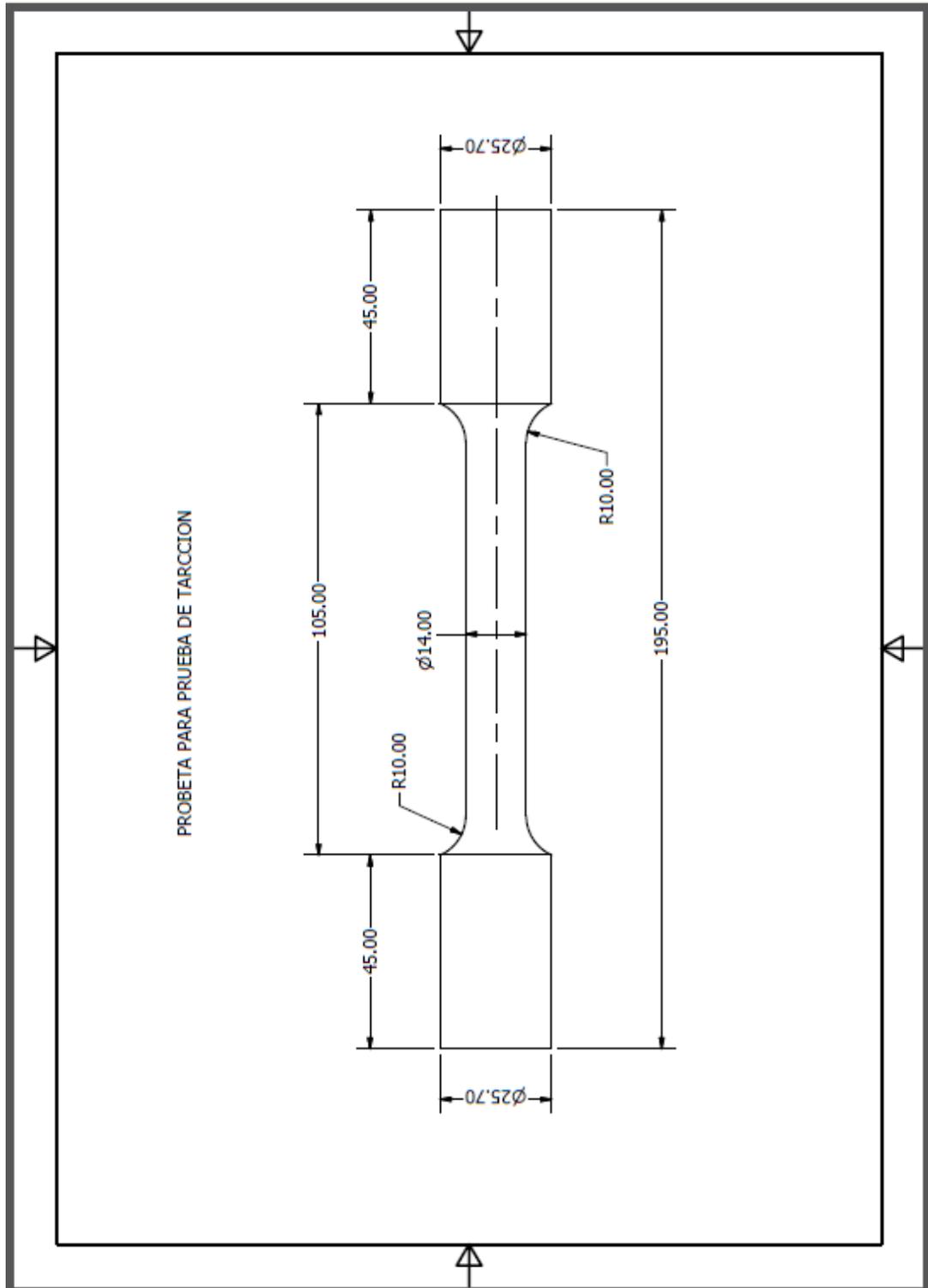
Camiseta fundida en molde de arena por fundición estática obsérvese los defectos de fisuras y porosidad en la parte interior, se ensayo con líquidos penetrantes (Empresa ALTES SAC)

## ANEXO N°8



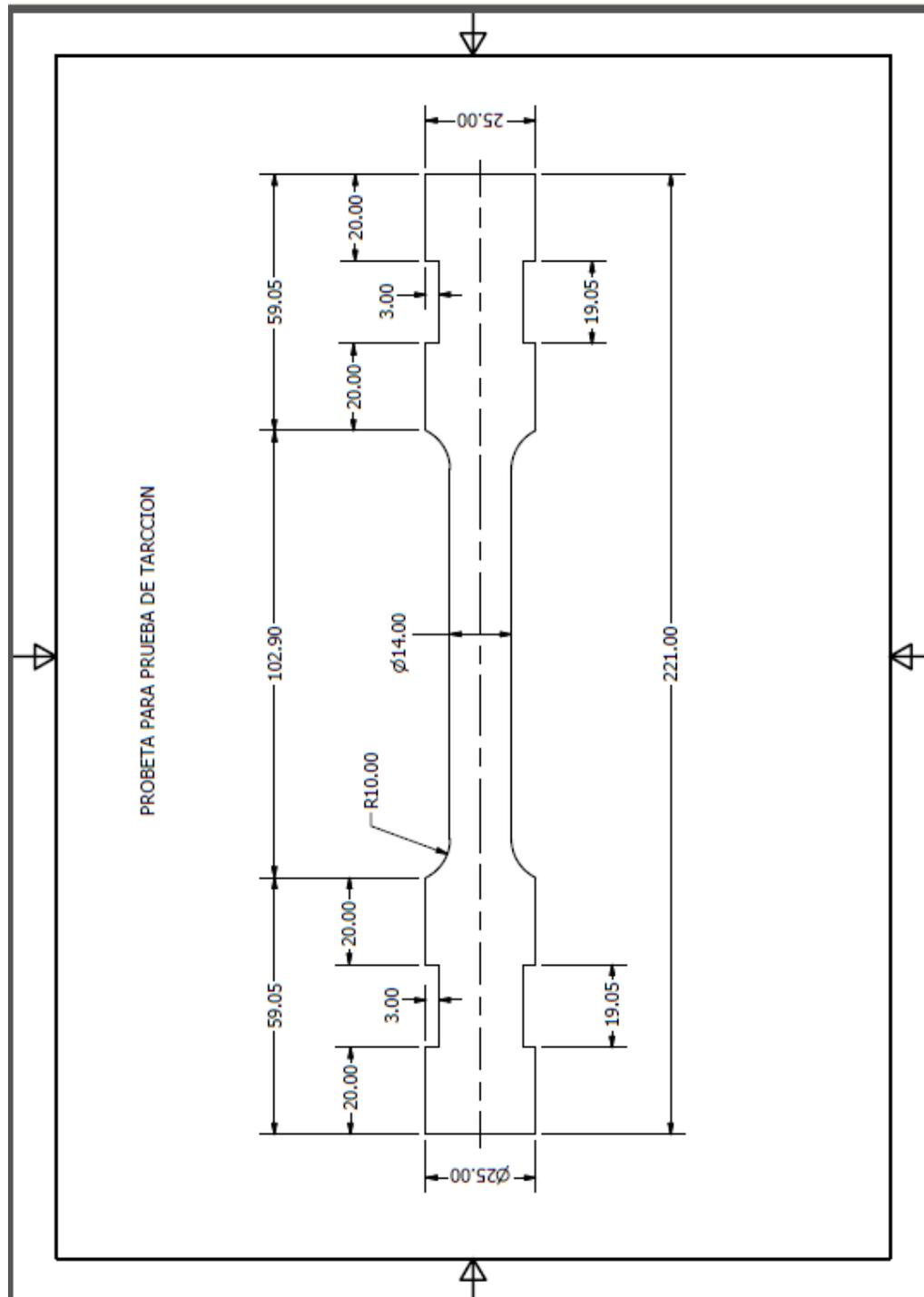
La foto muestra a la camiseta obtenida por el método de centrifugación mecanizada y totalmente acabada, es notorio su buen acabado superficial, libre de fisuras y porosidad (Empresa ALTES SAC).

ANEXO N° 9



La figura muestra el plano de la probeta con las medidas correspondientes solicitadas según norma técnica. (Laboratorios SIMA 1) <sup>(7)</sup>

ANEXO N° 10



La figura muestra el plano de la probeta con las medidas correspondientes solicitadas según norma técnica. (Laboratorios de Resistencia de Materiales de la PUCP)<sup>(7)</sup>

## ANEXO N°11



Se observa en la foto al inspector en el momento de la inspección de las camisetas  
navales (Empresa Fundición IRIS)

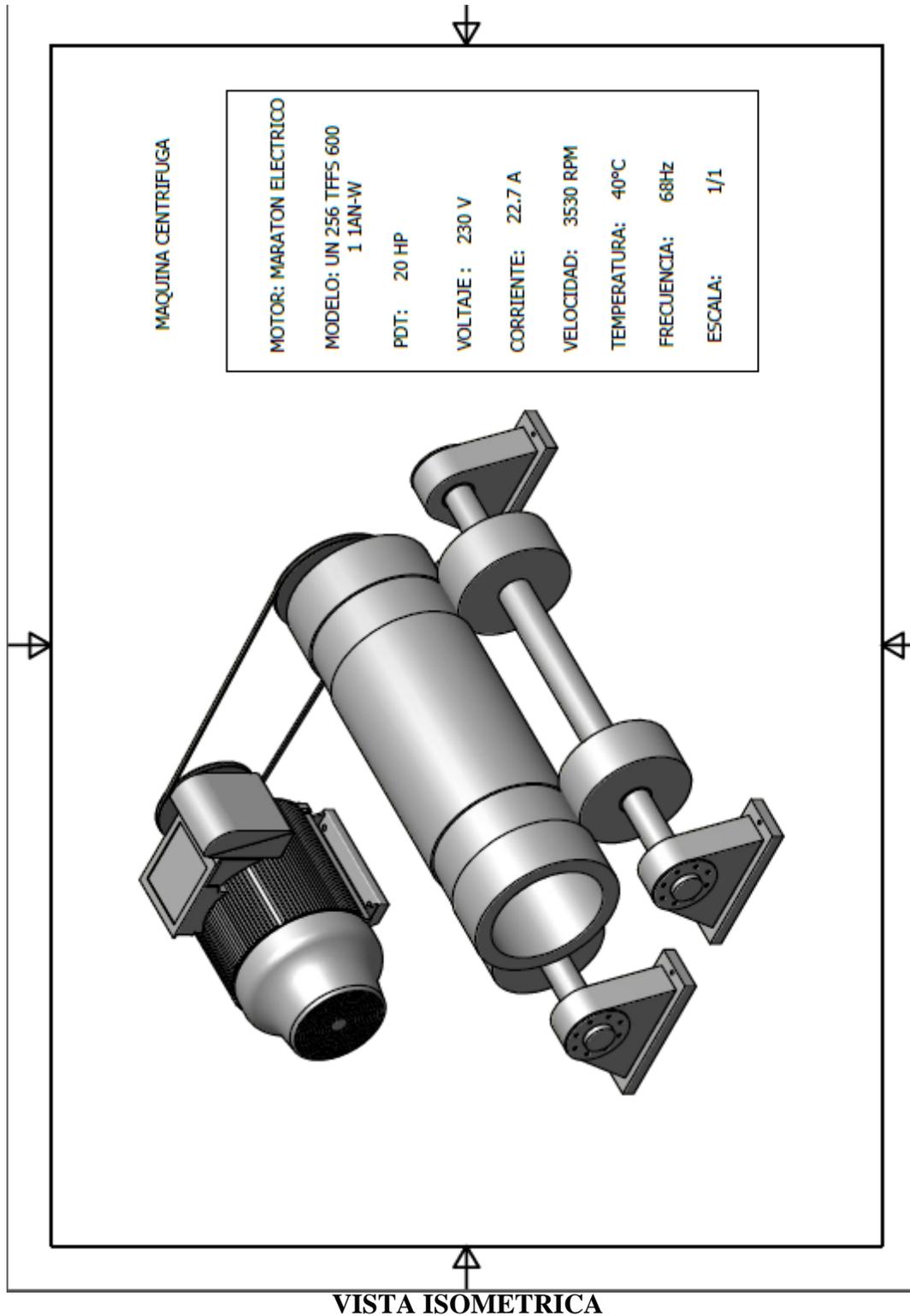
## ANEXO N° 12



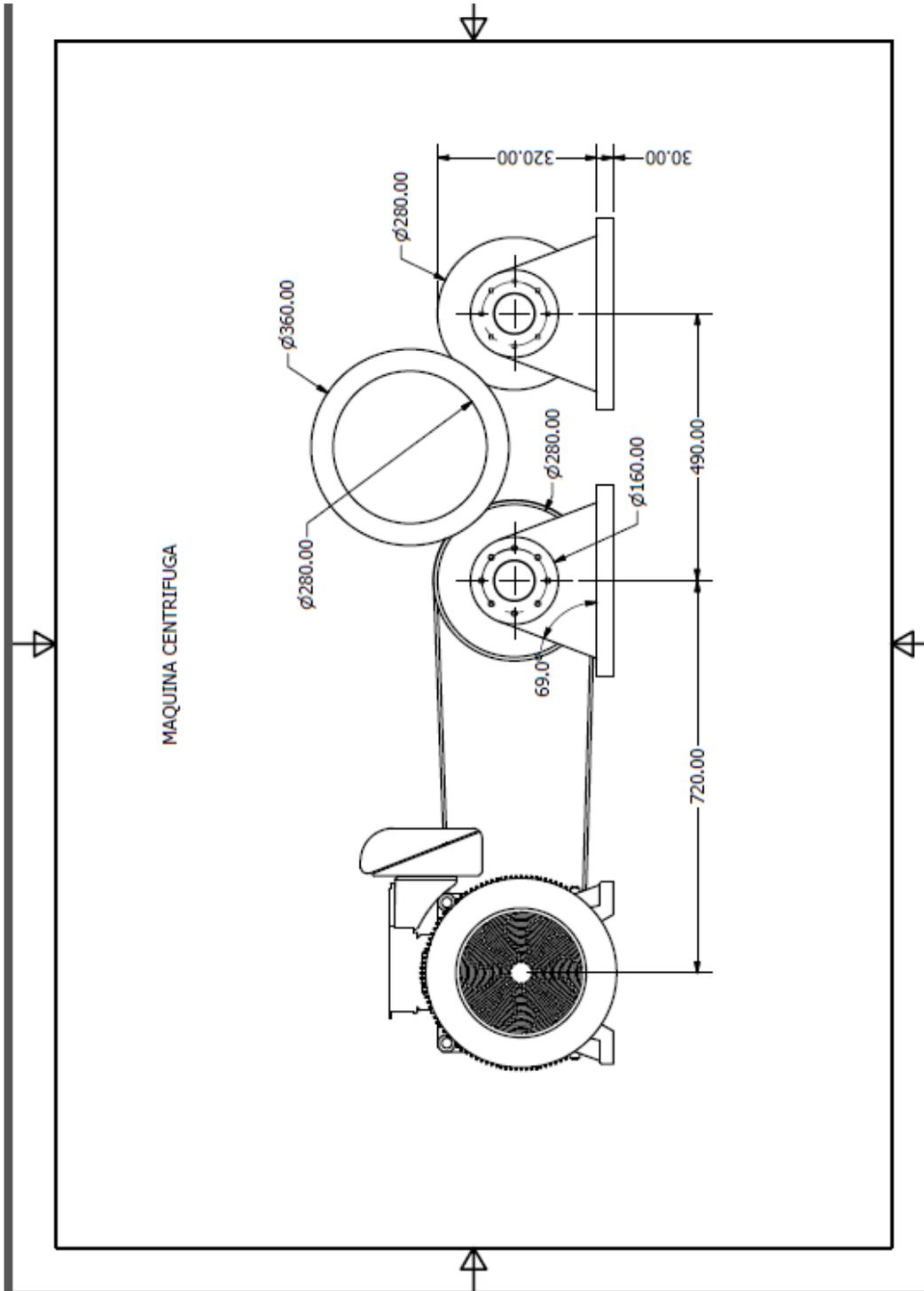
Piezas fundidas por el método de fundición centrífuga, nótese el acabado  
superficial de las piezas (Empresa ALTES SAC)

## ANEXO 13

### PLANOS DE MAQUINA CENTRIFUGA



ANEXO 14



ANEXO 15

