

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción.**

“Producción de Barras Perforadas de Bronce por medio de
Máquina Centrifugadora Horizontal”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentado por:

William Anthony Martrus Oliveros

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2009

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de una u otra manera me ayudaron en la realización de este trabajo y en especial al Ing. Ignacio Wiesner Falconí, Director de Tesis, y a la Ing. Mónica Gómez por todo el apoyo brindado.

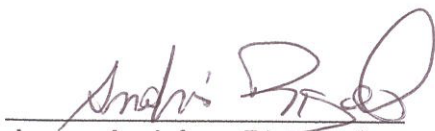
DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Andrés Rigail C.
DELEGADO POR EL
DECANO DE LA FIMCP



Ing. Ignacio Wiesner F.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Rodrigo Perugachi B.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



William A. Martrus Oliveros

RESUMEN

En la empresa Intramet se hicieron pruebas para la producción de barras perforadas en bronce SAE 64 con máquina centrifugadora horizontal para cambiar los métodos artesanales, que no le han permitido competir con los productos importados dentro del mercado de los materiales de construcción porque la calidad del producto es variable.

Antes de cumplir con este objetivo, se requirió hacer pruebas preliminares en aluminio para encontrar obtener los parámetros óptimos de operación de la máquina mediante ensayos de prueba y error, de esta forma se fueron ajustando: la velocidad de rotación, el método de moldeo con arenado de sílice-silicato de sodio y CO₂ con la que se hace la superficie exterior del tubo a fundir y el motor requerido para altas velocidades de giro.

Una vez eliminadas varias fallas de operación se procedió a realizar las barras perforadas en bronce SAE 64 y su calidad fue verificada por medio ensayos de: análisis químico, análisis metalografico y de dureza, estos datos fueron comparados con material existente en el mercado, se homologaron y se comprobó que se tiene un material de la calidad de la norma norteamericana.

Con este método de producción masiva se logrará eliminar las debilidades y falencias que tiene esta empresa y le dará la oportunidad de posesionarse en el mercado puesto que calculando el costo de producción se tiene un amplio margen venderlo a menor precio y con la confiabilidad de una calidad ajustada a norma.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO 1

1. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	4
1.1 Descripción y características de la máquina centrífugadora horizontal.....	6
1.2 Diseño del sistema de producción	18
1.3 Bronces apropiados para la producción centrífugada.....	23

CAPÍTULO 2

2. CONTROL DE LA CALIDAD DE BRONCE SAE 64 CENTRIFUGADO.....	32
2.1. Ensayos de laboratorio para homologar el bronce SAE 64.....	32
2.2. Ensayos de colado por gravedad del SAE 64.....	43

2.3. Parámetros de la centrifugación para la producción.....	47
--	----

2.4. Ensayos de laboratorio para la homologación del SAE 64 centrifugado.....	59
---	----

CAPÍTULO 3

3. EVALUACION ECONOMICA DE LA PRODUCCION.....	63
---	----

3.1. Estimación de costos	63
---------------------------------	----

3.2. Cálculos de la recuperación de la inversión.....	64
---	----

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
--	----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

Rpm	Revoluciones por minuto
ASM	American Society for Materials
Min.	Minutos
m	Metros
m/s	Metros por segundo
N	Newton
Kg	Kilogramos
m/s ²	Metros por segundo al cuadrado.
°C	Grados centígrados
CO ₂	Dióxido de carbono.
UNS	Unified National Standard.
BHN	Brinell.
gr/cm ³	Gramos por centímetros cúbicos.
Sn	Estaño
Cu	Cobre
Pb	Plomo
Hr	Hora

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Esquema de la máquina de prueba.....	11
Figura 1.2 Máquina centrifugadora horizontal.....	12
Figura 1.3 Los subsistemas de la centrifugadora horizontal.....	13
Figura 1.4 Presentación fotográfica del equipo de fusión y colado.....	14
Figura 1.5 Presentación grafica del sistema de impulsión, transmisión de poder y control de velocidad.....	15
Figura 1.6 Presentación grafica del sistema de impulsión, transmisión de poder y control de velocidad.....	16
Figura 1.7 Presentación fotográfica del sistema de enfriamiento.....	17
Figura 1.8 Mecanismo de amortiguación de vibraciones.....	18
Figura 1.9 Esquema del diseño del sistema de producción.....	19
Figura 1.10 Modelos para molde de arena.....	20
Figura 1.11 Preparación de molde de arena en el tubo centrifugador.....	21
Figura 1.12 Precalentamiento del molde	22
Figura 1.13 Fabricación de aleación en horno	23
Figura 1.14 Tipos de barras que se pueden producir	29
Figura 2.1 Representación fotográfica de laboratorios intranet contrastados con los laboratorios de la ESPOL y otros laboratorios.....	33
Figura 2.2 Probeta de bronce SAE 64 para homologar.....	34
Figura 2.3 Desbaste de material en torno.....	35
Figura 2.4 Espectrofotómetro de absorción atómica de INTRAMET	36
Figura 2.5 Pulido inicial en mesa diseño de INTRAMET.....	38
Figura 2.6 Mesa de pulido con pasta de diamante.....	39
Figura 2.7 Microestructura de Bronce SAE 64 sin ataque químico.....	39
Figura 2.8 Ataque químico con reactivo en sorbona.....	40
Figura 2.9 Microestructura de Bronce SAE 64 con ataque químico.....	41
Figura 2.10 Durometro Brinell: Diseño de INTRAMET	42
Figura 2.11 Medición de Identación.....	42

Figura 2.12	Horno de laboratorio hasta 1500°C en 15 min., con sistema de control automático de precisión de temperatura + - 10°C Diseño de INTRAMET.....	44
Figura 2.13	Esquema de equipos utilizados.....	45
Figura 2.14	Ataque químico en sorbona.....	46
Figura 2.15	Regulador de velocidades con graduación de velocidades...	51
Figura 2.16	Secuencia fotográfica del proceso para la obtención de barras perforadas de aluminio centrifugadas.....	52
Figura 2.17	Secuencia fotográfica del proceso para la obtención de barras perforadas de aluminio centrifugadas.....	52
Figura 2.18	Presentación fotográfica de defectos de tubos.....	54
Figura 2.19	Presentación fotográfica de los ajustes que se le hicieron a la máquina.....	55
Figura 2.20	Fotografías del proceso de centrifugación.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Especificaciones de diferentes aleaciones de Cobre.....24
Tabla 2	Comportamientos de bronce en medio ambientes corrosivos.....26
Tabla 3	Comparación de composiciones químicas según normas de tres aleaciones estudiadas.....30
Tabla 4	Comparación de propiedades mecánicas de tres aleaciones estudiadas.....30
Tabla 5	Resultados de composición química.....37
Tabla 6	Mediciones de dureza.....43
Tabla 7	Resultados de composición química.....46
Tabla 8	Mediciones de dureza.....47
Tabla 9	Medidas para la producción de barras perforadas de aluminio.....53
Tabla 10	Parámetros de colada.....53
Tabla 11	Resultados de la observación visual de los tubos centrifugados.....57
Tabla 12	Resultados de ensayos de laboratorio de las pruebas en aluminio centrifugado.....58
Tabla 13	Medidas para la producción de barras perforadas de Bronce SAE 64.....61
Tabla 14	Parámetros de colada.....61
Tabla 15	Resultados de composición química.....62
Tabla 16	Resultados de ensayos de laboratorio de microscopia y dureza del bronce SAE 64 centrifugado pruebas 1 y 2.....62
Tabla 17	Costos de Producción del bronce SAE 64.....64
Tabla 18	Flujo de caja para el primer año de producción y venta de Bronce SAE65
Tabla 19	Flujo de caja para el segundo año de producción y venta de Bronce SAE.....66

INTRODUCCION

INTRAMET, "Industrias de Transformación Metalúrgica", es una empresa Ecuatoriana de Servicios de Ingeniería que produce piezas y componentes fundidos con más de 40 aleaciones diferentes y los más altos estándares de fabricación para el mantenimiento de maquinaria industrial, se encuentra localizada en el Campus Politécnico Gustavo Galindo Velasco, en la ciudad de Guayaquil, cuyo propietario es el Ing. Ignacio Wiesner F., que trabaja desde hace 33 años en el campo de la investigación aplicada, la transferencia de tecnología de aleaciones y procesos de manufactura como profesor de la FIMCP.

Son pocas las empresas en Guayaquil que ahora se dedican a la actividad de la fundición de metales, los fundidores de metales ferrosos como el hierro gris, fundido en cubilote existen dos y solo existe Intramet como empresa fundidora dedicada a la producción de aceros y no lo hace como actividad industrial sino artesanal o sea que su producción es muy limitada.

Como parte del grupo de investigadores de INTRAMET, en la presente Tesis de grado se presenta un material tradicional, como es el bronce SAE 64, con la diferencia que se lo hace solidificar con una máquina centrifugadora que mejora las propiedades del material y se puede mantener una calidad homogénea y libre de defectos como porosidades que denigran la calidad.

El objetivo principal de este trabajo de tesis es producir barras perforadas de bronce aplicando una tecnología diferente a las aplicadas comúnmente en INTRAMET o sea el moldeo en arena o en molde metálico llenados por gravedad. La centrifugación no es una técnica nueva, ya data desde el siglo XIX, pero recién a comienzos del siglo XX se han podido hallar los parámetros adecuados para su uso.

Entre los principales objetivos específicos propuestos para el desarrollo de este trabajo de tesis, se tienen los siguientes:

- Estudiar el funcionamiento de la máquina centrifugadora horizontal para conocer los parámetros y posteriormente recomendar las mejores condiciones para la producción masiva del bronce SAE 64.
- Mejorar la calidad de las barras perforadas de bronce SAE 64, en cuanto a propiedades físicas, microestructurales y mecánicas, lo cual se analizará mediante ensayos a nivel de planta piloto.
- Competir con calidad y precio en el mercado de los bronce especiales a nivel nacional, ya que tienen costos elevados debido a que son importados desde Europa.

- Demostrar que INTRAMET está preparada para producir un material de calidad Globalizada porque cumple con la especificación de calidad Internacional.

CAPÍTULO 1

1. DEFINICION DEL PROBLEMA

Intramet, es una empresa que produce piezas y componentes mecánicos en aleaciones de cobre, aluminio, hierro, aceros ordinarios, especiales y su material “**estrella**” es el acero inoxidable, su sistema de producción es artesanal al 100% en todas las etapas del proceso de fundición. Realiza servicios de Ingeniería y utiliza los procesos de manufactura para resolver problemas industriales relacionados con partes de maquinaria que llega a la obsolescencia y no existen repuestos en el mercado internacional.

Desde el 2008 la Gerencia de esta empresa ha tomado la decisión de cambiar sus métodos de producción artesanal por métodos de producción

masiva. El mercado de productos intermedios en aleaciones de cobre, como son las barras macizas y barras perforadas, son frecuentemente consumidas por las empresas de todos los sectores de la producción y en especial en el sector industrial, la decisión del cambio trajo aparejado el diseño y construcción de 2 máquinas centrifugadoras: una de tipo horizontal y la otra de tipo vertical, con las que se eliminan las falencias y debilidades que tiene la producción artesanal y que principalmente son las siguientes: calidad variable, menor producción, mano de obra calificada y poca productividad. En el presente proyecto se califica la producción de bronce SAE 64, de uso intensivo en maquinaria pesada de los ingenios azucareros y en sistemas de reducción de velocidad sinfín-corona y otros elementos mecánicos que se constituyen como piezas de desgaste y que requieren sustitución periódica.

Históricamente, Intramet ha sido proveedor en los Ingenios Valdez, La Troncal y San Carlos, pero ha tenido problemas de calidad debido al método artesanal de producción que utiliza, pero las circunstancias actuales coloca la situación del mercado como una oportunidad para reemplazar las importaciones con materiales que tengan una calidad invariable, que sea calificada por medio de normas norteamericanas para conseguir la credibilidad requerida y revertir la disposición de los ingenios como consumidores de bronce nacionales.

1.1 Descripción y Características de la Máquina Centrifugadora Horizontal.

La fundición centrífuga es una técnica que tiene un rango amplio de aplicaciones industriales y artísticas. Este proceso es más ampliamente usado para la producción de tubos, camisas cilíndricas, coronas dentadas y bocines entre otros que sean cuerpos de revolución cilíndricos, para lo cual el metal derretido o líquido es vertido a una temperatura idónea dentro de un molde en rotación y es dejado solidificar a otra velocidad más elevada

Las propiedades mecánicas de un material dependen entre otras cosas de la densidad de la estructura, por lo tanto son influenciadas bajo la presión con que el líquido se esta solidificando que es generada como consecuencia de la centrifugación.

En el caso de la fundición por gravedad la presión del líquido es dependiente de la altura del vaciado. Sin embargo cuando se habla de fundición centrífuga, la presión del metal líquido aumenta debido a la aceleración centrífuga del molde que se usa, la cual puede ser varias veces mayor que la aceleración gravitacional.

El proceso de solidificación es el corazón de la manufactura de las piezas, donde esta involucrado el cambio de fase, líquido a sólido y la distribución de partículas de la fundición en el caso del SAE 64, el plomo solidificando en la matriz del material. La calidad y propiedades de la fundición centrífuga son principalmente gobernadas por el proceso de solidificación bajo presión.

Velocidad rotacional en la fundición centrífuga

En la fundición centrífuga, la velocidad rotacional y la fuerza centrífuga juegan un papel importante porque la estructura y la distribución de partículas de plomo son dependientes de ella, a medida que se introduce el material, grandes cantidades de líquido comienzan a moverse hacia las paredes del cilindro que actúa desde el centro de rotación hacia la periferia del elemento giratorio. Para no tener defectos en la fundición es necesario controlar la velocidad que varia entre los 300 a 3000 rpm, de acuerdo como es vertido el material fundido dentro del molde metálico o combinado metal-arena como en el presente caso

Cálculo de la velocidad de rotación en la fundición centrífuga

El cálculo la velocidad de rotación según el ASM HANDBOOK volumen 15, Casting, señala lo siguiente:

Para calcular la velocidad de rotación de la fundición centrífuga se utiliza la siguiente ecuación:

$$F = \frac{mv^2}{R}$$

$$GF = \frac{F}{W} = \frac{mv^2}{Rmg} = \frac{v^2}{Rg}$$

Donde:

F = fuerza (N)

m = masa (Kg)

v = velocidad (m/s)

R = radio interior del molde (m)

W = mg es su peso (N)

g = aceleración de la gravedad (m/s²)

El factor-G es la relación de fuerza centrífuga dividida por el peso

La velocidad v puede expresarse como $2\pi RN / 60 = \pi RN / 30$, donde N velocidad rotacional *rev/min*. Al sustituir esta expresión en la ecuación anterior, se obtiene:

$$G = \frac{R \left(\frac{\pi N}{30} \right)^2}{g}$$

Con un arreglo matemático para despejar la velocidad rotacional N y usando el diámetro D en lugar del radio, se tiene que:

$$N = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2gGF}{D}}$$

Donde:

D = diámetro interior del molde (m)

N = velocidad de rotación (rev/min)

Si el factor-G es demasiado bajo en la fundición centrífuga, el metal líquido no quedará fijado a la pared del molde durante la mitad superior de la ruta circular sino que “lloverá” dentro de la cavidad.

Ocurren otras fallas durante la solidificación del metal, tal como los deslizamientos entre el metal fundido y la pared del molde, lo cual significa que la velocidad rotacional del metal es menor que la del molde. Empíricamente, los valores de G fijados entre 60 a 80 son apropiados para la fundición centrífuga horizontal, aunque esto depende hasta cierto punto del metal que se funde por la variación del peso específico.

Determinación del peso de la barra: El espesor indica la cantidad de material en peso que se va a fundir, entonces se resuelve la siguiente ecuación:

$$W = \rho * \frac{\pi(D_m^2 - D_p^2)}{4}$$

Donde:

W = Peso del metal en molde

ρ = Densidad del metal

D_m = Diámetro del molde

D_p = Diámetro interior de la pieza a construir.

Descripción de la máquina centrífugadora horizontal

La máquina centrífugadora horizontal que se usa en este trabajo, es una máquina construida por el Ing. Gustavo Salazar en el desarrollo de su tesis de grado en INTRAMET, mentalizada y supervisada por el Ingeniero Ignacio Wiesner F, en la que el autor de la presente tesis tuvo la oportunidad de ser parte de los constructores, en este caso se realizaron ensayos de producción de tubos de hierro dúctil.

Este equipo es un sistema de vaciado centrífugo que consiste en darle vuelta a un molde en su eje horizontal mientras que el metal fundido, bronce, aluminio o acero, se introduce por medio de un dispositivo cónico que permite la distribución radial de la colada que en pocos segundos empieza a solidificarse dando lugar a la formación homogénea de la barra perforada.

Durante el proceso de solidificación la temperatura permanece elevada a más de 900°C, lo cual dificulta el manejo del metal y pueda ser extraído del molde. Para enfriar el metal solidificado existe una serie de toberas que atomizan agua en el exterior del cuerpo del cilindro centrífugador, el agua a presión es impulsada por una bomba y distribuida a través de tuberías y terminan con las toberas sobre el cuerpo exterior del cilindro y hacer la transferencia de calor para bajar la temperatura a un promedio de 200° C. A continuación se presenta un esquema de la instalación de la planta piloto donde se identifican los componentes.

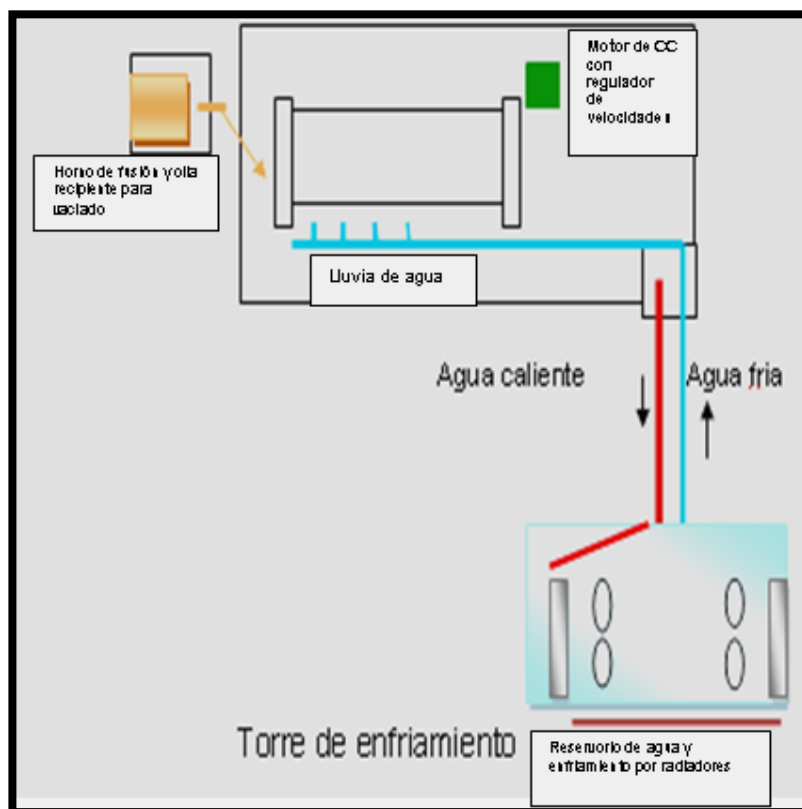


FIGURA 1.1 ESQUEMA DE MÁQUINA DE PRUEBA

Las instalaciones de centrifugación suelen ser muy costosas y sólo se amortizan fabricando grandes series lo cual no es el caso del mercado local. Este método de conformación por moldeo centrifugado tiene su génesis en el desarrollo de las tuberías para saneamiento.

Como la colada centrífuga es adecuada para la fabricación de cuerpos de revolución huecos, las piezas más comunes hechas por este método son: tubos para conducción de líquidos, cilindros de laminación, y también casquillos de cojinetes.

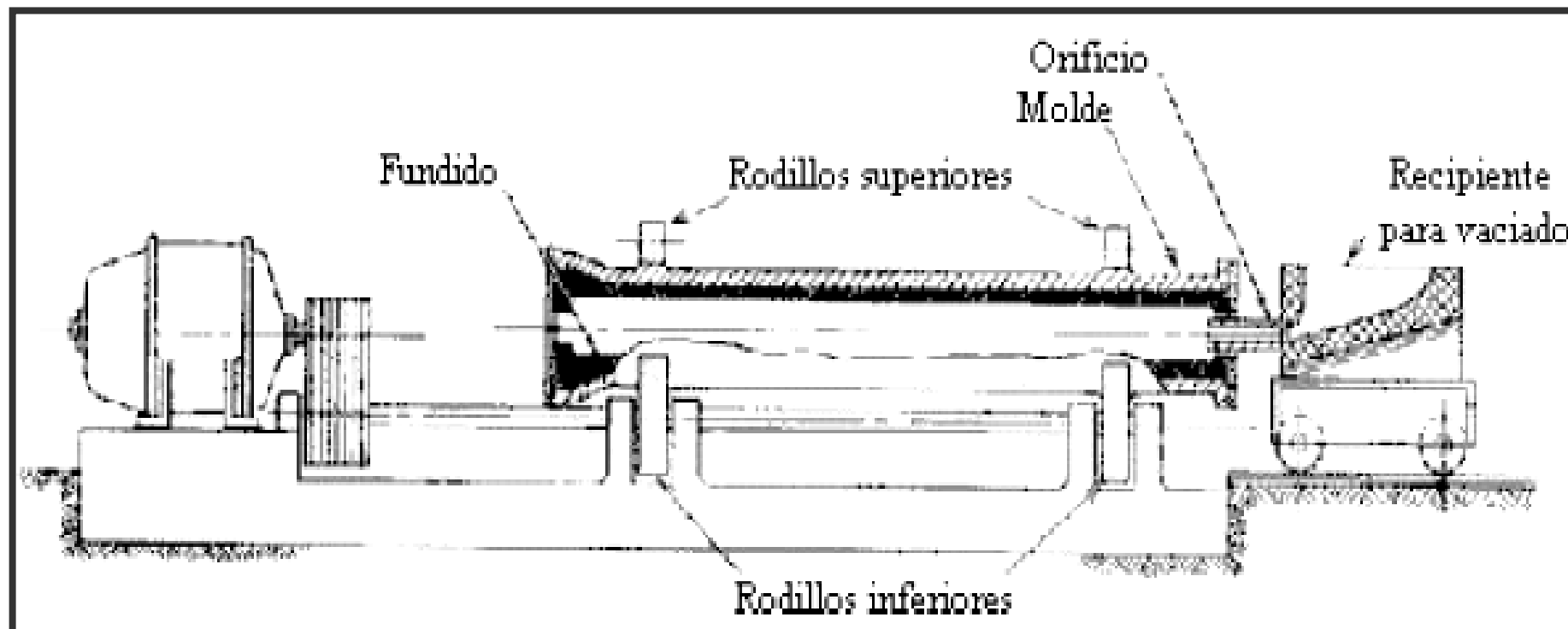


FIGURA 1.2 MÁQUINA CENTRIFUGADORA HORIZONTAL

Partes de la máquina centrifugadora horizontal

A continuación se muestra un esquema de los subsistemas de la centrifugadora horizontal y posteriormente una comparación fotográfica de cada uno de los elementos mecánicos.

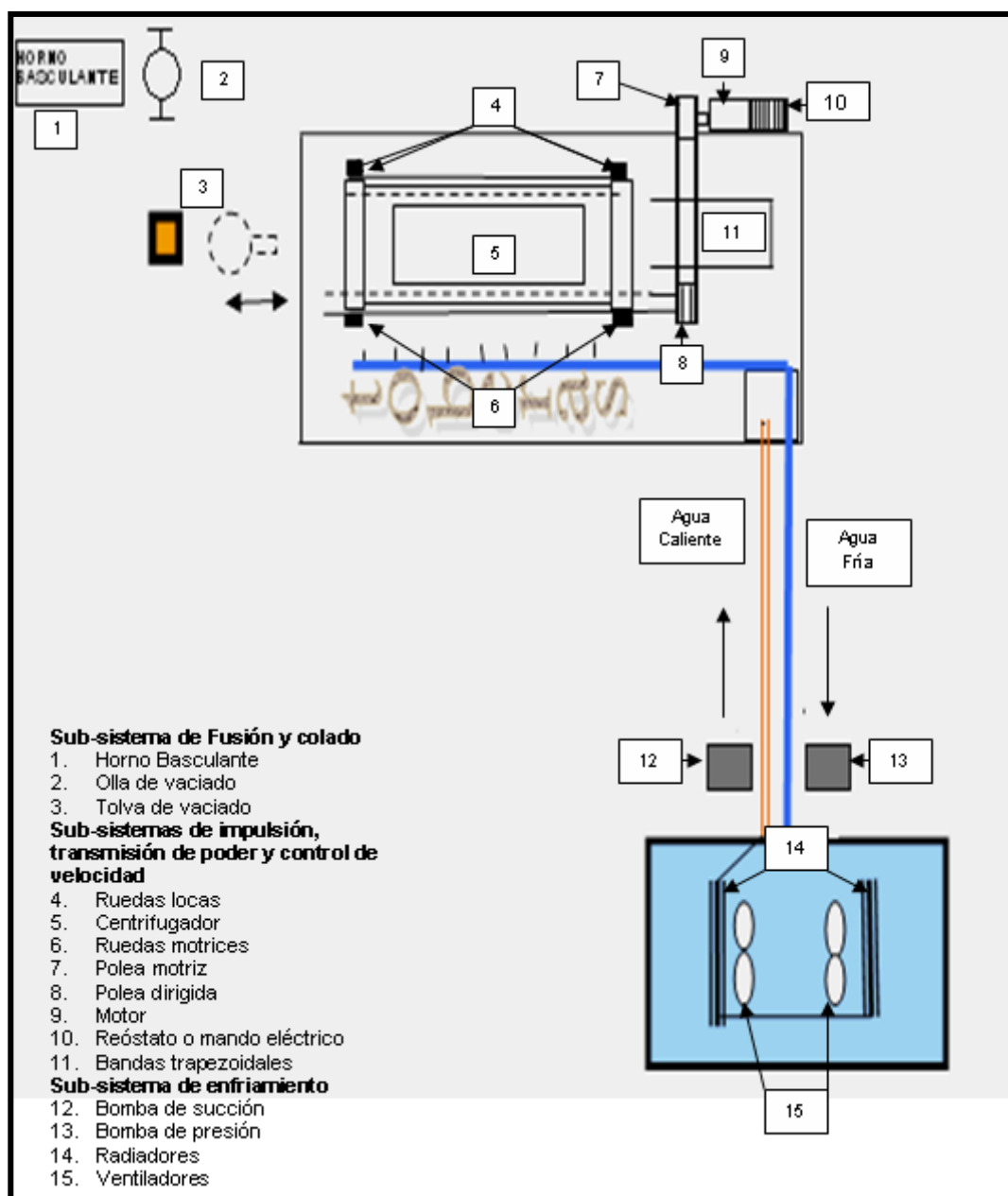


FIGURA 1.3 LOS SUBSISTEMAS DE LA CENTRIFUGADORA HORIZONTAL.

	Horno Basculante.- Con una capacidad de hasta 250 Kg para Bronce, utiliza una mezcla de aceite y gas como combustible para disminuir la contaminación.
	Olla de vaciado o callana.- revestida con arena para mantener el calor del material fundido y evitar que la temperatura disminuya y falle el llenado completo del molde.
	Dispositivo de vaciado, se la coloca en la tapa de entrada de material de la máquina en el momento de vaciar el material fundido, en su interior esta revestida con arena sílice mezclada con silicato de sodio.

FIGURA 1.4 PRESENTACIÓN FOTOGRÁFICA DEL EQUIPO DE FUSIÓN Y COLADO

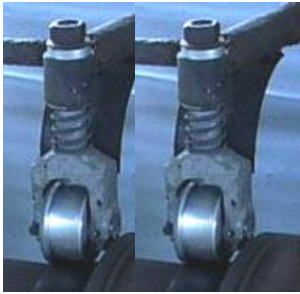
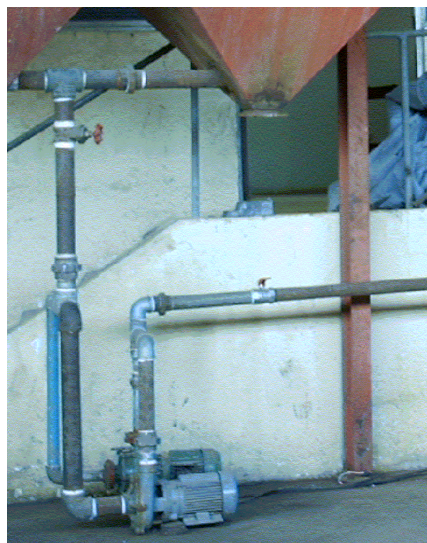
	Ruedas locas, están ubicados en el mecanismo de amortiguación de vibraciones, hechas con una aleación de aluminio y zinc con un diámetro de 4" y espesor de 3".
	Centrifugador, cilindro de acero laminado acoplado con unas bridas de acero fundido por medio de dilatación térmica. La longitud es de 1m y el diámetro de 290 mm
	Ruedas motrices, transmite el movimiento rotacional al cilindro centrifugador.
	Polea dirigida, recibe el movimiento rotacional del motor por medio de un par de bandas y lo transmite al eje motriz de la máquina, la transmisión es de 1:1

FIGURA 1.5 PRESENTACIÓN GRÀFICA DEL SISTEMA DE IMPULSIÓN, TRANSMISIÓN DE PODER Y CONTROL DE VELOCIDAD

	Motor elèctrico, transmite el movimiento rotacional a través de bandas y poleas, además es regulado por el variador de velocidades.
	Reóstato (regular velocidad del motor), el regulador de velocidad del motor para sincronizar la cantidad de rpm que necesita la máquina, de acuerdo al valor de G que requiera el material a fabricar.
	Banda trapezoidal para la transmisión de poder.- entre la polea que esta acoplada al motor (motriz), y la polea acoplada al eje motriz de la máquina.

FIGURA 1.6 PRESENTACIÓN GRÀFICA DEL SISTEMA DE IMPULSIÓN, TRANSMISIÓN DE PODER Y CONTROL DE VELOCIDAD



Bombas de succión y de presión, el sistema de enfriamiento es el que va a permitir el suministro de agua de enfriamiento al cilindro centrifugador.



Radiadores y ventiladores, por donde pasa el agua caliente de retorno para ser enfriado y mantenga la temperatura del agua baja

FIGURA 1.7 PRESENTACION FOTOGRAFICA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Opcionalmente para amortiguar la vibración, se instaló un mecanismo compuesto de resorte y rueda que absorbe cualquier vibración generada por la rotación e impide el deslizamiento axial del cilindro a través de una ceja de la rueda que está en contacto con la superficie externa de la brida.

Este mecanismo de amortiguación se colocó en cada extremo del cilindro.

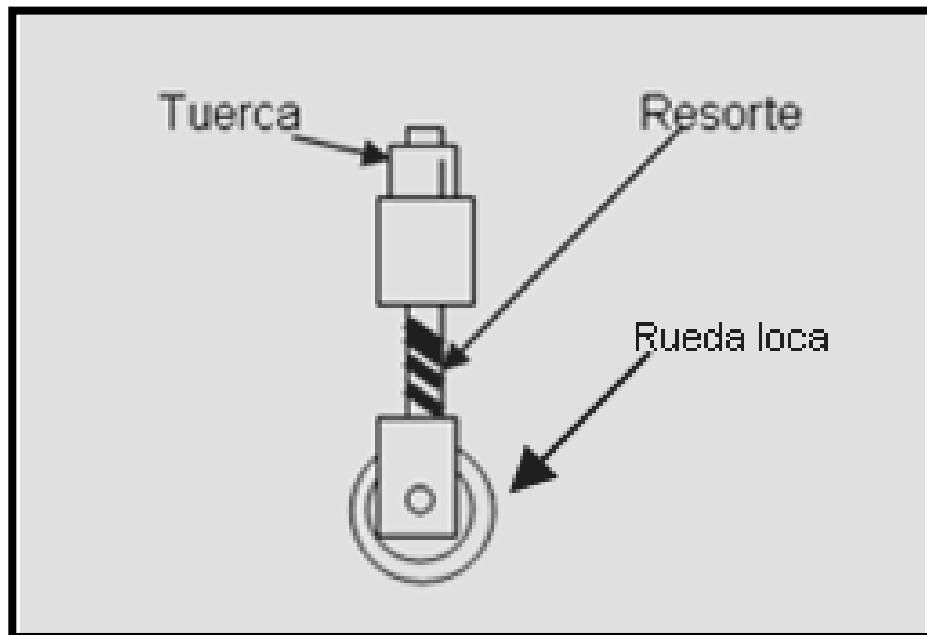


FIGURA 1.8 MECANISMO DE AMORTIGUACIÓN DE VIBRACIONES

1.2 Diseño del Sistema de Producción.

A continuación se presenta un esquema del diseño del sistema de producción que se realizó:

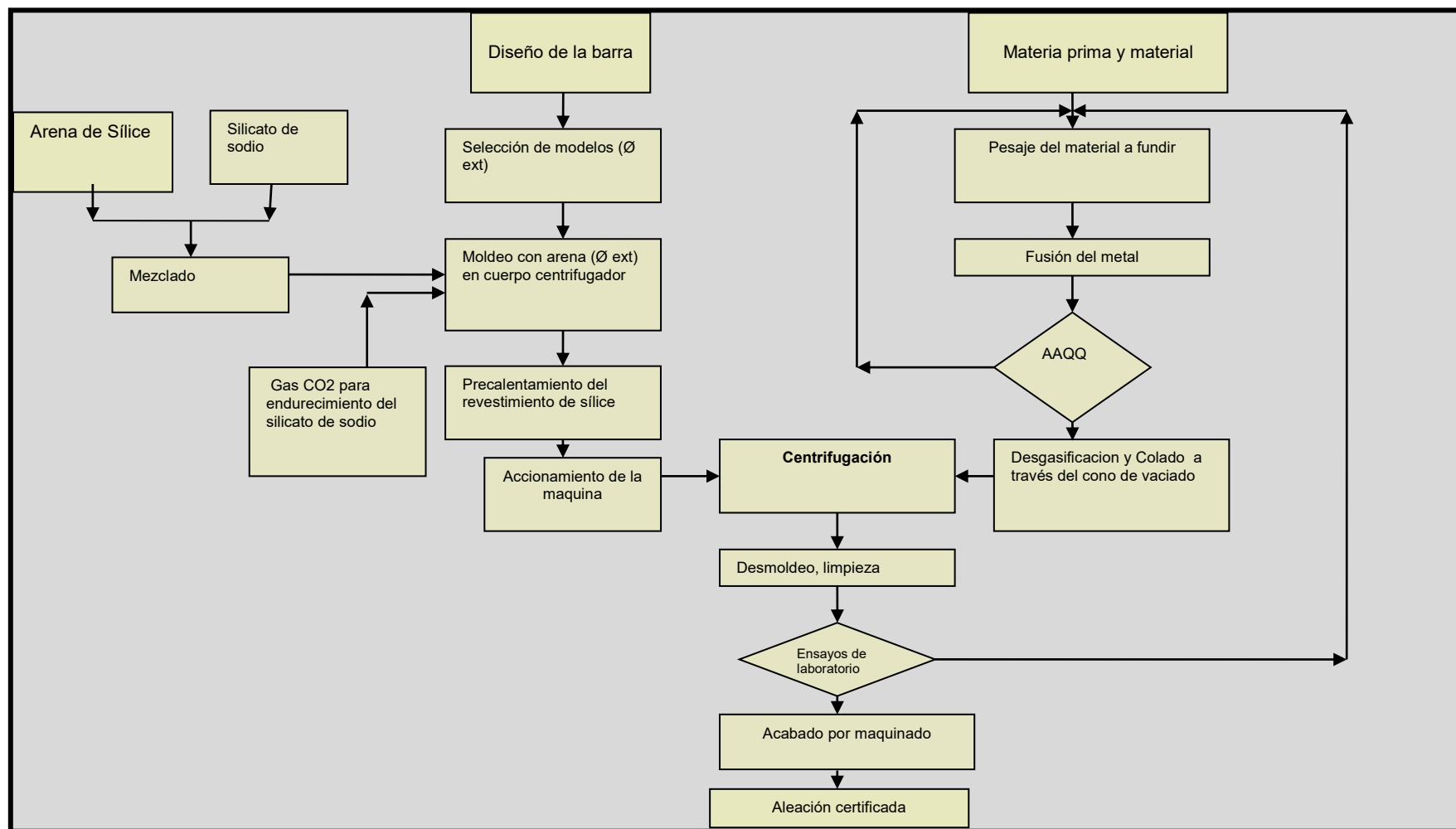


FIGURA 1.9 ESQUEMA DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE BARRAS HUECAS

Diseño de la barra perforada a producir:

El diseño de la barra depende de la demanda, cabe recordar que la forma exterior no solo puede ser redonda, y además no solo se puede hacer hasta un diámetro de 200mm, la existencia de tubos centrifugadores de diferente diámetro y el uso del moldeo con arena de sílice y silicato de sodio, da al proceso versatilidad en la producción de barras perforadas.

Modelos para moldeo en arena

En este caso los modelos son tubos rolados que se usan para dar forma a la barra que se desea preparar.



FIGURA 1.10 MODELOS PARA MOLDE DE ARENA

Moldeo con arena:

Se realiza primero una mezcla con silicato de sodio y arena de sílice, una vez teniendo la mezcla al modelo se coloca concéntrico al cuerpo centrifugador y se comienza a rellenar con la arena mezclada

para compactarla de tal manera que al sacar el modelo tome la forma de su diámetro exterior.

Finalmente se lo gasea con CO₂ para el endurecimiento final.



FIGURA 1.11 PREPARACIÓN DE MOLDE DE ARENA EN EL TUBO CENTRIGUGADOR

Precalentamiento o temperatura del molde

Numerosos investigadores han estudiado la relación entre la temperatura inicial del molde y la estructura de la fundición resultante y ésta varia de acuerdo al espesor del molde y el espesor de la pared de la barra que se va a fundir, aunque se ha determinado que no afecta la estructura de la fundición resultante, pero si afecta el tamaño de grano, afinándolo, por ello la resistencia mecánica es mejor. Se llega a la temperatura apropiada del molde a través de un quemador a gas, esta operación también sirve para

eliminar la humedad que se encuentra en el molde con arena y así queda lista para recibir la colada.



FIGURA 1.12 PRECALENTAMIENTO DEL MOLDE

Fusión del metal

Se prepara las cantidades de los metales participantes en la aleación que se requiere, para luego llevarlos al horno basculante para la fusión del metal.

Antes de pasar al colado se debe realizar un control de calidad del metal que se esta fundiendo, en donde se analiza visualmente el tamaño de grano y además que sea una mezcla homogénea.

Para el proceso de fundición de la aleación propiamente dicho, se necesita la ayuda del horno basculante.



FIGURA 1.13 FABRICACIÓN DE LA ALEACIÓN EN HORNO

Control de calidad

Es importante para garantizar la calidad de la barra perforada, mediante ensayos de laboratorio, como son:

- Análisis Metalografico
- Análisis Químico
- Ensayos de dureza y tracción

1.3 Bronces apropiados para la producción centrifugada.

Antes de comenzar a describir a los bronce apropiados para la centrifugación, se define lo que es una aleación de cobre, cuales son sus aplicaciones y sus principales propiedades.

Aleaciones de cobre

Las aleaciones de cobre tienen su aplicación donde la dureza y resistencia mecánica son más importantes que la conductividad

eléctrica, entonces las aleaciones como bronce y latón son aplicadas en lugar de cobre puro.

La manera más común de clasificar al cobre y sus aleaciones es dividir las en grupos y estos son:

- Cobre puro desgasificado para aplicaciones eléctricas
- Latones se hacen de baja, media y alta resistencia a la tracción
- Bronces , - se fabrican de baja, media y alta resistencia a la tracción
- Cupro – níquel de alta resistencia mecánica y alta resistencia a la corrosión en agua de mar

TABLA 1

ESPECIFICACIONES DE DIFERENTES ALEACIONES DE COBRE

Nombre genérico	Numero UNS*	Composición
Cobre	C 80100 – C81100	>99% Cu
Latón rojo	C 83300 – C 85800	Cu – Zn – Sn – Pb
Bronce al manganeso	C 86100 – C 86800	Cu – Zn – Mn – Fe – Pb
Bronce al silicio	C 87300 – C87900	Cu – Zn – Si
Bronce al estaño y plomo	C 90200 – C 94500	Cu – Sn – Zn – Pb
Bronce al estaño y níquel	C94700 – C 94900	Cu – Ni – Sn – Zn – Pb
Bronce al aluminio	C95200 – C96800	Cu – Al – Ni – Fe
Cupro - níquel	C96200 – C97800	Cu – Ni – Fe

* Unified Nacional Standard

Propiedades mecánicas

Muchas aleaciones de cobre que contienen estaño, plomo o zinc poseen moderado punto de fluencia, baja a media dureza y gran elongación, cuando se requiere mayor fluencia, el bronce al aluminio, bronce al manganeso, bronce al silicio y cupro - níquel son usados.

Otras propiedades de importante relevancia en la fabricación de los distintos bronce de acuerdo a las normas ASM* son:

- Resistencia a la corrosión
- Conductividad eléctrica
- Conductividad térmica
- Color
- Facilidad de fabricación

* American Society for Metals

Resistencia a la corrosión

Aunque el cobre puro es muy resistente a la corrosión existen algunos medios en los que a las aleaciones de cobre no son recomendados exponerlas. La tabla que se muestra a continuación indica algunos de los diferentes donde se recomienda su exposición para que funcionen mejor.

TABLA 2
COMPORTAMIENTOS DE BRONCES EN MEDIO AMBIENTES
CORROSIVOS.

Medio ambiente	Bronce al estaño	Bronce al estaño y plomo	Latón rojo con plomo
Acetileno(a)	C	C	C
Acido láctico	A	A	A
Acido Nítrico	C	C	C
Agua condensada	A	A	A
Agua potable	A	A	A
Azufre	C	C	C
Agua de mar	A	A	A
Alcohol	A	A	A
Asfalto	A	A	A
Butano	A	A	A
Dióxido de azufre	A	A	A
Cloruro de sodio	A	A	A
Gas Natural	A	A	A
Gasolina	A	A	A
Glucosa	A	A	A
Goma	A	A	A
Jarabe de caña de azúcar	A	B	B
Leche(b)	A	A	A
Licores	C	C	C

De esta tabla se aprecia e manera clara que el bronce que tiene mejor comportamiento en los diferentes medios corrosivos es el bronce al estaño sumando a su excelente resistencia mecánica y

acompañado de Pb, que actúa como lubricante, es el mejor para aplicaciones relativas a cojinetes antifricción para soportar cargas elevadas a bajas velocidades de giro del árbol, es por estas razones que se ha seleccionado para la producción de Intramet.

Facilidad de fabricación

La facilidad de fabricación es un término relacionado a la habilidad para reproducir finos detalles sobre una superficie. Esto se refiere a la facilidad con que una aleación se pueda fundir sin requerir especiales técnicas como agitación, fusión, acondicionamiento de arena, o de alguno de los otros factores involucrados para hacer una buena fundición.

Desoxidantes

El litio, sodio, berilio, boro, carbón, sílice, fósforo, pueden ser usados para desoxidar aleaciones de cobre. En algunos casos el magnesio zinc y calcio son llamados desoxidantes a pesar de que ellos cumplen diferentes roles dentro de la aleación. En el caso del bronce al Estaño se usa fosfuro de cobre al 14% como desoxidante.

El primer requerimiento para un desoxidante es que tenga una afinidad para atrapar oxígeno en el cobre derretido. Probablemente otro requerimiento relativo es que no sea caro para no aumentar costo de producción además que sea altamente reactivo con el

oxígeno para usar poca cantidad durante la operación de acondicionamiento del metal.

Aplicaciones de los bronce

Los bronce se emplean, principalmente en la construcción de maquinaria, siempre que se trate de obtener condiciones especiales de resistencia, precisión y aptitud para los rozamientos, las cuales son indispensables para determinar la clase de bronce conveniente para los distintos órganos de las máquinas. Son de aplicación muy general pero donde se usan más intensivamente son en los siguientes sectores de la producción.

- Fabricantes de maquinaria, para elementos de máquinas
- Mantenimiento de ingenios azucareros y molinos de laminación de metales y en las explotaciones mineras
- Industria Petroquímica
- Industria Naval

Las piezas de mayor fabricación en el sector industrial con bronce son las siguientes:

- Engranajes
- Coronas dentadas
- Camisas de soportes de eje

- Piezas centrifugadas y mecanizadas además de barras huecas se las pueden realizar por el método de centrifugación horizontal.



FIGURA 1.14 TIPOS DE BARRAS QUE SE PUEDEN PRODUCIR

Bronces a estudiar

Basado en lo anteriormente expresado se presentan tres bronce : SAE 62, SAE 64, SAE 40 con gran demanda y de mucha aplicación en el sector industrial, cabe recalcar que esta definición se la da en base a una encuesta que se hizo a dos empresas dedicadas al comercio del bronce, tales empresas son Iván Bohman y Metales Perforados.

La siguiente tabla describe la composición química de 3 aleaciones distintas según norma AISI/ SAE

TABLA 3
COMPARACIÓN DE COMPOSICIONES QUÍMICAS SEGÚN NORMAS DE
TRES ALEACIONES ESTUDIADAS

Composición Química de aleaciones de Bronce SAE / AISI (%)			
Elemento	SAE-62	SAE-64	SAE-40
Cobre (Cu)	86-89	78-82	84 - 86
Estaño(Sn)	9-11	9-11	4 – 6
Plomo(Pb)	0.3	8-11	4 – 6
Zinc(Zn)	1-3	0.75	4 - 6
Níquel(Ni)	1	0.75	1
Hierro(Fe)	0.15	0.15	0.3
Fósforo(P)	0.05	0.05	0.05
Antimonio(Sb)	0	0.55	0.25

La siguiente tabla muestra los valores resumidos de las propiedades mecánicas de los mismos bronce.

TABLA 4
COMPARACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE TRES
ALEACIONES ESTUDIADAS

CALIDAD	Peso específico gr/cm ³	Resistencia a la tracción Kg/mm ²	Alargamiento %	Dureza Brinell HB
SAE 40	8,7 / 8,8	20 a 25	8 a 11	65 a 75
SAE 62	8,6 / 8,8	28 a 34	5 a 12	85 a 95
SAE 64	8,6 / 8,8	20 a 30	3 a 5	80 a 110

La aleación de cobre elegida para la aplicación de centrifugación horizontal es el Bronce SAE 64 por dos razones:

- El Estaño tiene un alto porcentaje en peso dentro de la aleación, lo cual es adecuado puesto que incrementa la dureza, la resistencia mecánica y disminuye el coeficiente de fricción.
- El alto porcentaje de plomo dentro de la aleación es importante porque reduce el coeficiente de fricción debido a su gran propiedad de auto lubricación, razón por la cual este bronce es usado para bocines antifricción y que son preferidos en muchas máquinas rotativas, por ejemplo: Turbinas Pelton, molinos de laminación de metales y molinos de caña donde todavía esta aleación se considera irremplazable.

CAPÍTULO 2

2. CONTROL DE LA CALIDAD DE BRONCE SAE 64 CENTRIFUGADO.

En esta sección se analiza el material producido en INTRAMET en comparación con el que se vende en el mercado nacional, con la finalidad de demostrar que se cumple la NORMA SAE 64 (80-10-10) establecida en el capítulo anterior para reemplazar los broncees importados puesto que tiene el mismo grado de confiabilidad que le proporciona el cumplimiento de la norma de fabricación.

2.1 Ensayos de laboratorio para homologar el bronce SAE 64

Se requirió una muestra de Bronce SAE 64, misma que fue comprada en una de las empresas distribuidoras de este producto, con medidas finales de 60mm de diámetro por 150mm de largo.

Se analiza este material que se considera Patrón de calidad, ya que tiene prestigio en el medio, para ello se hacen los siguientes exámenes. A fin de certificar los equipos de laboratorio de Intramet se procedió a usar máquinas de otros laboratorios de la ESPOL que tienen equipos certificados.

Ensayos	Intramet	Laboratorios en la ESPOL
Análisis químico Vía Absorción atómica con Equipo Perkin Elmer		
Preparación de probetas para el análisis microscópico		
Ensayo de Dureza En máquina Versa – Tester acoplada a computadora con programa Lab-View		

FIGURA 2.1 REPRESENTACIÓN FOTOGRÁFICA DE LABORATORIOS INTRAMET CONTRASTADOS CON LOS LABORATORIOS DE LA ESPOL Y OTROS LABORATORIOS



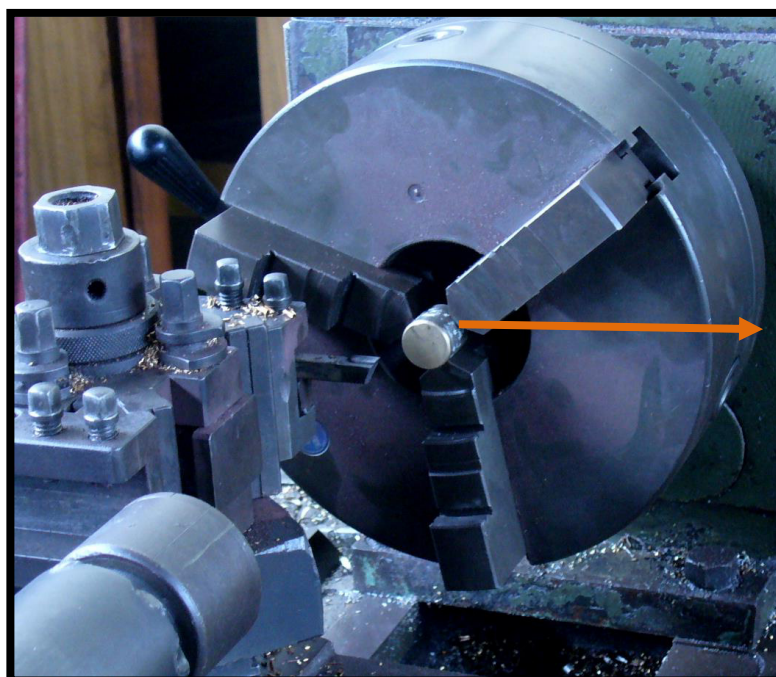
FIGURA 2.2 PROBETA DE BRONCE SAE 64 PARA HOMOLOGAR

Este bronce es analizado por medio de ensayos de laboratorios para establecer la calidad de los mismos y así considerarlo como patrón de calidad y tener una referencia para el trabajo que se realizará.

PROCEDIMIENTO PARA OBTENER RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO

El análisis químico se realiza en un material para conocer el porcentaje de cada elemento aleante, para este caso se necesitó saber el porcentaje de Sn, Pb, Zn, Fe y Ni para lo cual se realizaron los siguientes pasos:

1. La probeta de bronce se colocó en el torno para ser desbastada y así conseguir la cantidad necesaria de viruta (mínimo 3 g) para su análisis químico.



Probeta

FIGURA 2.3 DESBASTE DE MATERIAL EN TORNO

2. Se peso en Balanza de Precisión aproximadamente 3 gramos de viruta.
3. La viruta se colocó dentro de un matraz para ser diluida con ácidos fuertes y agua destilada, luego se hicieron varias diluciones para disminuir la concentración de los aleantes , y luego

4. El metal disuelto y diluido anteriormente obtenido anteriormente se analizò en el espectrofotómetro de absorción atómica de INTRAMET y los datos obtenidos fueron corroborados en el laboratorio de instrumental de la ESPOL.



**FIGURA 2.4 ESPECTROMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE
INTRAMET**

Los porcentajes de los elementos que componen la aleación se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 5
RESULTADOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

Laboratorios	%Cu	%Sn	%Pb	%Zn	%Ni	%Fe	%Sb	P
INTRAMET	El resto	9.51	9.92	0.75	0.69	0.09	0.08	0.05
ESPOL	El resto	9.72	9.58	0.61	0.68	0.09	0.08	0.06

La desviación existente entre los resultados de las máquinas de Intramet y de la ESPOL es mínima y en ambos casos se verifica que la composición resultante cumple con la norma SAE 64.

PROCEDIMIENTO PARA OBTENER RESULTADOS DE METALOGRAFÍAS

Ensayo metalografico

En adelante se sigue la secuencia en operaciones para preparación del metal hasta que esté apto para la observación microscópica, actividad que no es fácil ya que las aleaciones en base de Cu con Pb y Sn son muy suaves y la preparación es delicada.

- **PASO 1** A diferencia de lo común que es pulido en corriente de agua, se efectúa una variante que es pulido en seco con lubricante de parafina por medio de lijas de carburo de silicio en mesas de pulido con diseño de Intramet hechos con base de

vidrio y canales de acrílico. Estas permiten que la dirección del pulido siempre sea la correcta y evitan el contacto con impurezas.



FIGURA 2.5 PULIDO INICIAL EN MESA DISEÑO DE INTRAMET

- **PASO 2** el pulido final se hizo con pasta de diamante de 0,5 micras en una mesa también con diseño de Intramet para pulido manual, esto se hizo cuando la probeta se encontraba libre de rayas, es el acabado que se le da a la probeta y por lo cual se debe realizar con mucho cuidado, al girar la probeta sobre el paño para obtener pulidos ultrafinos y ultrarrápidos, cabe recalcar que esta es una técnica aprendida y aplicada en INTRAMET con mucho éxito.

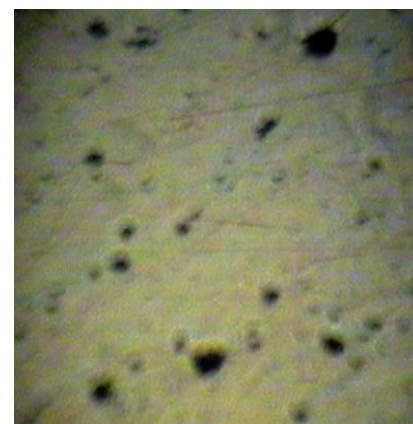


FIGURA 2.6 MESA DE PULIDO CON PASTA DE DIAMANTE

- **PASO 3** Observación microscópica del material sin ataque químico para poder notar la cantidad y la forma que se encuentra la fase de plomo en la microestructura.



Equipo conformado por microscopio Leitz, cámara digital y computadora con capturadora de video, adaptación hecha en Intranet para modernizar instrumentos de 40 años de duración



250 x sin ataque químico
Se nota la fase de plomo" puntos negros" con distribución homogénea

**FIGURA 2.7 MICROESTRUCTURA DE BRONCE SAE 64 SIN
ATAQUE QUÍMICO**

- **PASO 4** Luego de haber observado la cantidad de plomo que se encuentra en la aleación se realiza un nuevo pulido con pasta de diamante de 0.5 micras para dejar lista la probeta para el siguiente paso.
- **PASO 5** Se realiza el ataque químico en la Sorbona diseño y construcción de Intramet, con reactivo compuesto de amoníaco (NH_4) y Agua oxigenada, para hacer el ataque se debe tener mucha práctica para evitar el sobreataque superficial de la probeta, lo cual impediría su análisis.



FIGURA 2.8 ATAQUE QUIMICO CON REACTIVO EN SORBONA

- **PASO 6** Observación y comparaciones microscópicas. Luego de observar la probeta y con la técnica de tres veces de pulido, se procede hacer el último ataque químico y observación microscópica en la probeta y se obtiene la metalografía representativa, la cual al compararla con la metalografía conocida en el manual de Microestructuras de la ASM se obtiene:

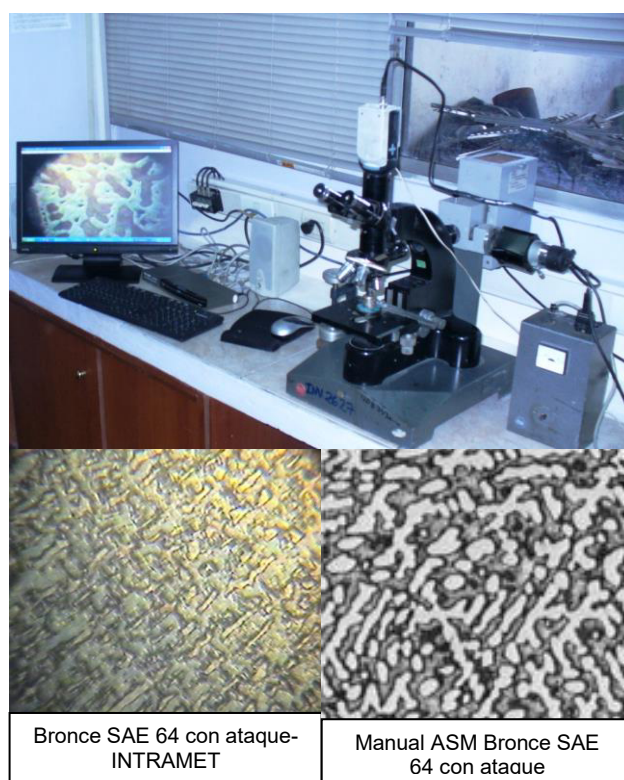


FIGURA 2.9 MICROESTRUCTURA DE BRONCE SAE 64 CON ATAQUE QUÍMICO

Las microestructuras son prácticamente iguales teniendo una fase α , constituida por una solución sólida de Sn en Cu, una segregación interdendrítica y el Pb en forma esferoidal.

Resultados de los ensayos de dureza

Fue ensayada la probeta con durómetro Brinell adaptado en la máquina Versa Tester 30 M y ensamblado al computador por medio del programa LAB-View.



FIGURA 2.10 DUROMETRO BRINELL: DISEÑO DE INTRAMET

OPERACIONES PARA ENSAYO DE DUREZA:

- Preparar una probeta con superficies paralelas
- Poner la carga con ayuda del monitor
- Medición del diámetro de indentación

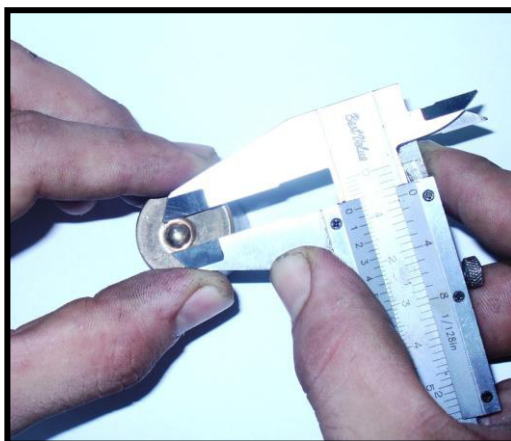


FIGURA 2.11 MEDICIÓN DE IDENTACIÓN

- Aplicación de la ecuación, mediante programa computacional
- Obtención de la dureza

Los resultados obtenidos son los que constan en la siguiente tabla:

TABLA 6
MEDICIONES DE DUREZA

Mediciones	Brinell
Punto 1	64 BHN
Punto 2	64 BHN
Punto 3	65BHN

El resultado promedial de las tres mediciones es **64 BHN** que es mayor al establecido en la norma y que de 60BHN, luego se define que el material no tiene inconformidades en cuánto a la dureza.

2.2 Ensayos de colado por gravedad del SAE 64.

El ensayo de colado por gravedad se realiza de manera artesanal en moldes con arena, como ya esta definido en el capítulo anterior este es el único proceso de fundición de INTRAMET, razón por la cual en esta sección se realizará este ensayo, que servirá para

analizar por medio de ensayos de laboratorio con el patrón de comparaciones definido en la sección anterior.

Para realizar este ensayo se necesitaron materiales y equipos los cuales se detallan a continuación:

MATERIA PRIMA

Chatarra de Cu

Estaño	99.9% Puro
Pb en forma de lingote	99.9% Puro
Níquel puro	99.9% Puro
Zinc Puro	99.9% Puro
Fósforo en forma de pastillas	desgasificante

Varillas de hierro, gas propano, vidrio molido y carbón vegetal



**FIGURA 2.12 HORNO DE LABORATORIO ULTRARAPIDO,
HASTA 1500°C EN 15 MIN. CON SISTEMA DE CONTROL
AUTOMÁTICO CON PRECISIÓN DE TEMPERATURA + - 10°C-
DISEÑO INTRAMET**

OTROS EQUIPOS UTILIZADOS

Balanza de 20 Kg., crisol de 6 Kg., Pinzas, barra de hierro (mover la colada), probetero metálico, horno de crisol, multímetro con termocuplas, guantes, mandil y casco



FIGURA 2.13 ESQUEMA DE EQUIPOS UTILIZADOS.

Una vez que se obtiene la probeta fundida de bronce SAE 64 se procede a realizar los mismos ensayos de laboratorio:

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO DE COLADO POR GRAVEDAD.

De igual manera se realizó en el espectrofotómetro de absorción atómica y los resultados fueron corroborados en el laboratorio de instrumental de la ESPOL, y los datos obtenidos son los que se muestran a continuación:

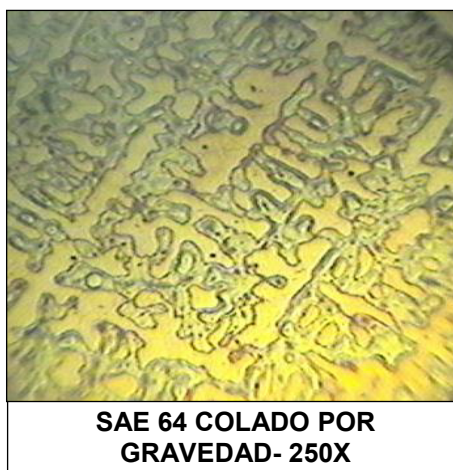
TABLA 7
RESULTADOS DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA

%Cu	%Sn	%Pb	%Zn	%Ni	%Fe
El resto	9.92	10.12	0.55	0.78	0.15

**RESULTADOS DE ANÁLISIS METALOGRAFICO DE COLADO
 POR GRAVEDAD**

Para el análisis metalografico se realizaron los mismos pasos que en la sección anterior, por esa razón se muestra a continuación un esquema representativo de fotos secuenciales en donde se describen los pasos y resultados obtenidos al realizarle la metalografía.

- Ataque químico en Sorbona
- Microestructura del material observado en microscopio adaptado en computadora



**FIGURA 2.14 MICROESTRUCTURA DE BRONCE SAE 64
 COLADO POR GRAVEDAD**

Se aprecia las mismas fases que en el calificado como patrón de calidad.

ENSAYO DE DUREZA DE COLADO POR GRAVEDAD

De la misma manera ensayada la probeta con durómetro Brinell adaptado en la máquina Versa Tester 30 M y programado al computador por medio del programa LAB-View, los resultados son los que constan en la siguiente tabla:

TABLA 8
MEDICIONES DE DUREZA

Mediciones	BHN
Punto 1	62
Punto 2	65
Punto 3	62

El resultado promedial de las tres mediciones es **62 BHN** y cumple la norma.

2.3 Parámetros de la centrifugación para la producción.

Mediante los fundamentos teóricos se sabe que para aplicar la centrifugación es necesario tener en cuenta algunos parámetros, que permiten hacer un material con excelente microestructura, alta

resistencia mecánica acabado superficial libre de porosidad y estar libre de defectos entre otras cosas.

Para ello se deben tener en cuenta estos parámetros que son:

- Tamaño de grano del material colado
- Aspecto superficial bueno y preciso de premaquinado
- La temperatura de vaciado del material
- Características del llenado de la pieza, laminar o turbulento
- La velocidad de rotación
- Temperatura del molde

Para poder hallar estos parámetros se realizaron varias pruebas en aluminio, donde pude calibrar la máquina con parámetros no conocidos, de tal manera que se optó por el método de inducción “prueba y error”, de esta manera se pudo conseguir su funcionamiento normal.

ENSAYOS DE CENTRIFUGACIÓN CON ALUMINIO

Los pasos para la producción de las barras perforadas de aluminio centrifugadas fueron similares en todas las 4 pruebas efectuadas con sus diferencias propias por cambio de parámetros.

El diseño usado para cada una de las pruebas se hace barras perforadas de 160mm de diámetro exterior, por 1000mm de largo.

CÀLCULO DE LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN

De acuerdo a la sección 1.1 la velocidad de rotación se la halla al usar la siguiente ecuación:

$$N = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2gGF}{D}}$$

Donde:

G = 60; Estimado empíricamente para el aluminio por ser de baja densidad.

D = 160 mm; Diámetro exterior del molde con arena

$$N = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2(9.8)(60)}{160}}$$

$$N = 810 \text{ rpm.}$$

Entonces la velocidad a la que se hace rotar a la máquina es 810 rpm, lo cual se la registró en la mascarilla del regulador de velocidades con la ayuda de un tacómetro.

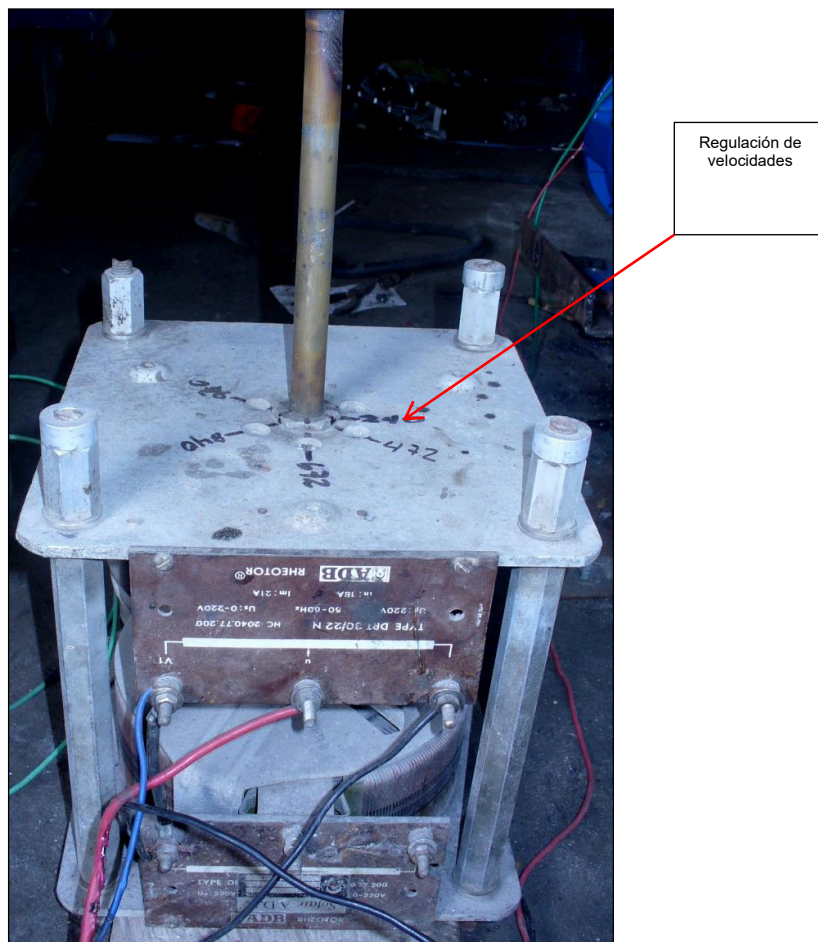


FIGURA 2.15 REGULADOR DE VELOCIDADES CON GRADUACIÓN DE VELOCIDADES

El proceso para la obtención de las barras perforadas se lo muestra de una forma más explícita a continuación con una secuencia de fotos representativas de cada uno de los pasos, detallando en cada una, la o las acciones que se realizan:

	Corte de los materiales para la aleación: ▪ Aluminio ▪ Zinc ▪ Acero inoxidable ▪ Cobre
	Fusión de la aleación en horno basculante Tiempo de fusión con un rango de aproximadamente 30 a 40 min.
	Pesaje de la callana e inmediatamente pesaje de la colada necesaria para fundir la barra perforada con el espesor, precalculado con anterioridad

**FIGURA 2.16 SECUENCIA FOTOGRÁFICA DEL PROCESO PARA
OBTENCIÓN DE BARRAS PERFORADAS DE ALUMINO
CENTRIFUGADAS**

	Desgasificación de la aleación en el crisol, permite obtener un mejor material eliminando la porosidad con nitrógeno.
	Vaciado del metal en la máquina centrifugadora horizontal en este paso se debe ser muy cuidadoso con la temperatura de vaciado.
	Puesta en marcha de la máquina centrifugadora horizontal se aumenta la velocidad hasta la velocidad de trabajo que es de 810 rpm
	La barra perforada se la obtiene después de unos 5 min. de rotación aproximadamente

**FIGURA 2.17 SECUENCIA FOTOGRÁFICA DEL PROCESO PARA
OBTENCIÓN DE BARRAS PERFORADAS DE ALUMINO
CENTRIFUGADAS**

TABLA 9
MEDIDAS PARA LA PRODUCCION DE BARRAS PERFORADAS DE
ALUMINIO

Pruebas	Ø(mm)	Espesor(mm)	Longitud(mm)	Peso(Kg)
1	160	15	1000	10
2	200	16	1000	15
3	200	18	1000	18
4	200	22	1000	22

PARAMETROS DE PRUEBAS DE BARRAS PERFORADAS DE
ALUMINIO

A continuación se presenta las tablas de los parámetros que se obtuvo por el método de inducción de las pruebas de barras de aluminio y son las siguientes:

TABLA 10
PARAMETROS DE COLADA

Prueba	Tiempo de fusión	Tiempo de desgasificación	Temperatura del molde	Temperatura de vaciado	Tiempo de solidificación
1	30 min.	45 s	200°C	700°C	3 min.
2	35 min.	1 min.	280°C	730°C	3 min.
3	45 min.	1 min.	300°C	770°C	5 min.
4	45 min.	1.5 min.	150°C	754°C	3 min.

PRUEBAS	TUBOS DE PRUEBAS	DEFECTOS
1		A lo largo del tubo fundido faltó metal no se completo: su longitud total, se verificó la temperatura del metal y se aumentó 50°C para la próxima colada
2		Se coló en 2 etapas interrumpiendo el flujo lo que provocó un derrame hacia los extremos en las próximas pruebas se cuidó de no repetir esta práctica
3		Se tiene como resultado superficie interior y exterior excéntricas debido a la falla en la velocidad de giro baja, se verificó y se aumento la velocidad
4		Se eliminaron todas las fallas presentadas en los experimentos anteriores y se consiguió un producto sano para ello se cambio la velocidad de giro, la temperatura de la colada y se alargó el dúcto del dispositivo cónico que deposita la colada dentro del molde

FIGURA 2.18 PRESENTACIÓN FOTOGRÁFICA DE DEFECTOS DE TUBOS

A continuación se presentan los ajustes que se realizó a la máquina centrífugadora:

1. Se hacen ajustes en la máquina centrífugadora con una aleación de Al, solo para ajustar los parámetros de la máquina , no se controla calidad de este metal

Ajustes	Antes	Después
Se Cambio motor porque se perdía velocidad a altas revoluciones con la carga en el cilindro. No hubo necesidad de calcular la potencia del motor porque son los únicos existentes.	 Motor CC 5HP	 Motor CC 10 HP
Presencia de lluvia Denotado por no tener tubo concéntrico y solidificación fuera del molde	 Defecto por lluvia	 Sin defecto
Se mejoró la posición de la colada haciendo una entrada más larga con esto se evito tubos longitudes incompletas, se elimino el descentrado de las superficies de los tubos		
Se cambio el tubo modelo y la guía, para el moldeo con arena ya que el anterior no estaba concéntrico con el cuerpo centrifugador		

FIGURA 2.19 PRESENTACIÓN FOTOGRÁFICA DE LOS AJUSTES QUE SE REALIZARON A LA MÁQUINA

3. Se corrigió la solidificación excéntrica

- Se corrigió el metal poroso desgasificando por más tiempo la colada con Nitrógeno.
- Se vio que los diámetros de las ruedas matrices son pequeñas y al futuro ya se reemplazarán con ruedas de diámetro mayor

4. Deben hacerse nuevas ruedas a tamaño Ø 10" para no perder velocidad y se prevé tener juegos de tubos de diámetros variados

5. Se corrigen las toberas y línea de retorno de agua, tubo perforado

6. Se compró otra bomba de retorno, la existente se quemó

7. Se hicieron poleas nuevas

8. Se hizo un nuevo núcleo para moldear el arena

A cada una de las barras perforadas de prueba se le realizó un examen visual para determinar aspectos de calidad a la vista como también internamente por medio de un ensayo de fractura por impacto. Estos ensayos aunque son visuales, ayudaron para realizar los cambios requeridos

TABLA 11
RESULTADOS DE LA OBSERVACIÓN VISUAL DE LOS TUBOS
CENTRIFUGADOS

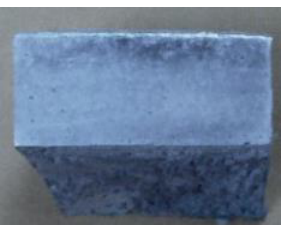
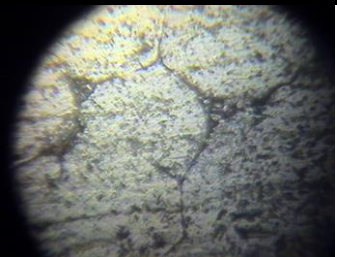
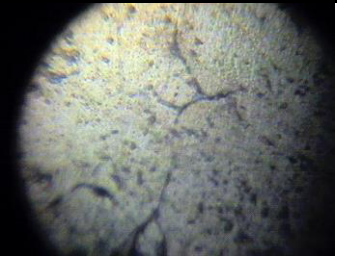
Pruebas	Porosidad			Tamaño de grano			Aspecto de la Fractura	
Prueba 1	A	M	B	P	M	G	F	D
	x					x	x	
Prueba 2	A	M	B	P	M	G	F	D
		x			x		x	
Prueba 3	A	M	B	P	M	G	F	D
		x		x			x	
Prueba 4	A	M	B	P	M	G	F	D
			x	x			x	

Cualificación visual de aspectos del metal colado

- A= ALTA P = PEQUEÑO F = FRAGIL
- M= MEDIANA M = MEDIANO D = DUCTIL
- B= BAJA G = GRANDE

Hasta ahora se han presentado datos visuales que se dieron a lo largo de cada prueba, esos datos ayudaban de manera macroscópica para certificar la calidad de las barras perforadas, de aquí en adelante se muestran los datos de laboratorio que certificaràn la calidad del material estudiado.

TABLA 12
RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE LAS
PRUEBAS EN ALUMINIO CENTRIFUGADO

Pruebas	Reactivo	Objetivo	Probeta	Microestructura
1	Acido Hidrofluorhídrico	250		
2	Acido Hidrofluorhídrico	250		
3	Acido Hidrofluorhídrico	250		
4	Acido Hidrofluorhídrico	250		
La observación microscópica de los tubos de aluminio centrifugado determinan un mejoramiento del tamaño de grano y se deben a los cambios efectuados especialmente el que se refiere a encontrar la velocidad apropiada				

2.4 Ensayos de laboratorio para la homologación del SAE 64 centrifugado.

El proceso de centrifugación es el mismo que se lo planteo en el capítulo uno, y se lo representa en la sección anterior con las pruebas para el aluminio. En este caso el material a usar es el bronce, por razones conocidas anteriormente, con esto se quiere dar solución al problema planteado.

A continuación se presenta una secuencia de fotos donde se indica los pasos que se siguieron para la producción de el bronce SAE 64 centrifugado. Como la densidad del bronce es casi 3 veces mas la del aluminio, entonces el valor del numero G se debe variar, como se expresó en el capítulo anterior este valor es empírico y para bronce se lo puede aproximar a 70, entonces a continuación se muestra el calculo para la velocidad de rotación, cabe recalcar que las dimensiones de la barra no varían.

$$N = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2gGF}{D}}$$

Donde:

G = 70

D = 160 mm

N=890 rpm



**FIGURA 2.20 FOTOGRAFIAS DEL PROCESO DE
CENTRIFUGACIÓN**

Una vez obtenida la barra perforada centrifugada se procede a realizarle los respectivos ensayos de calidad para certificar el material que se fabricó, se realizaron dos pruebas con bronce para lo cual las tablas que se muestran de aquí en adelante serán la muestras del material obtenido.

TABLA 13
MEDIDAS PARA LA PRODUCCION DE BARRAS PERFORADAS
DE BRONCE SAE 64

Pruebas	Ø(mm)	Espesor(mm)	Longitud(mm)	Peso(Kg)
1	160	10	1000	22
2	160	12	1000	26

Estas son las medidas de las barras perforadas hechas en las pruebas realizadas, con su valor en peso (Kg). Los parámetros que se usaron para este material son las que se presentan en la tabla a continuación, se nota la diferencia de valores de parámetros.

TABLA 14
PARAMETROS DE COLADA

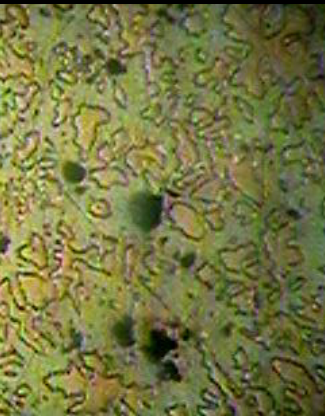
Prueba	Tiempo de fusión	Temperatura de vaciado	Tiempo de solidificación	Temperatura del molde	Tiempo de desgasificación en seg.
1	1hr.	950°C	8 min.	200°C	45
2	1hr.	950°C	8 min.	280°C	65

Ensayada en el espectrofotómetro por absorción atómica los resultados son los siguientes

TABLA 15
RESULTADOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

Prueba	Laboratorios	%Cu	%Sn	%Pb	%Zn	%Ni	%Fe	%Sb	P
1	INTRAMET	El resto	9.54	9.72	0.65	0.69	0.09	0.08	0.05
	ESPOL	El resto	9.72	9.58	0.61	0.68	0.09	0.08	0.06
2	INTRAMET	El resto	9.44	9.82	0.75	0.59	0.09	0.08	0.05
	ESPOL	El resto	9.62	9.88	0.61	0.68	0.09	0.08	0.06

TABLA 16
RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE
MICROSCOPIA Y DUREZA DEL BRONCE SAE 64
CENTRIFUGADO PRUEBAS 1 Y 2

Pruebas	Reactivo	Objetivo del microscopio	Probeta	Microestructura	Dureza BHN
1	Amonia co + agua oxigena da	250 X			64
2	Amoniac o + agua oxigena da	250 X			64

CAPÍTULO 3

3. EVALUACION ECONOMICA DE LA PRODUCCION

En el presente capitulo se realizó una evaluación económica de la producción de las barras perforadas de bronce, con la finalidad de analizar si es factible producir y distribuir a nivel nacional este producto, con la aleación requerida y a un costo más bajo que los importados.

Para el análisis económico de este proyecto se requirió una estimación de los costos de producción y el flujo de caja para los dos años en los que planea cancelar un préstamo de \$50.000.00 a la Corporación Financiera Nacional

3.1 Estimación de costos.

La evaluación económica no se hará de manera exacta sino aproximada con la finalidad de tener un valor referencial. En la siguiente tabla se exponen los costos de la operación con precios actualizados y en la condición ideal de tener una venta total de 5500 Kg. /mes que es la capacidad máxima del horno de fusión. El costo

de producción es realmente bajo con relación al precio del mercado que ya esta rebajado para clientes asiduos, que es del orden 30% menor al precio de venta en mostrador.

Por consiguiente este valor es referencial y podría darse a los dos años de trabajo cuando el producto este posicionado en el mercado. Posteriormente se hace un flujo de caja considerando una producción inicial del 50% (2750 Kg. /mes) y las ventas se establecen en 60% de esta cantidad inicial. El resultado es muy promisorio y debe tomarse muy en cuenta ya que este es el momento apropiado para realizar esta inversión

TABLA 17

COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL BRONCE SAE 64					
PRODUCCIÓN MENSUAL: 5500KG					
	Cantidades x semana			Mes 22 ds.	COSTO TOTAL
	Costo/Kg. gl,ton	Kg.	Personal		
MATERIA PRIMA Y MATERIALES					
Cobre	\$ 4,50	4.400		\$ 19.800,00	\$ 38.050,00
Estaño	\$ 30,00	550		\$ 16.500,00	
Ni	\$ 40,00	30		\$ 1.200,00	
Pb	\$ 1,00	550		\$ 550,00	
Total de materia Prima y materiales					
MANO DE OBRA					2.520,00
M.O.D	(\$80,00*4)		4	1.280,00	
MOI					
Vendedor y suministro	\$80,00*4		1	320,00	
Secretaria - Contadora	\$80,00*4		1	320,00	
Ingeniero	\$150,00*4		1	600,00	
OTROS GASTOS					
Arriendo				1000,00	
Refractario y Crisol				100,00	
Alimentación	\$2,00*22		7	308,00	
TOTAL					41.978,00
Costo de Producción por Kilo: \$ 7,63					
Coto Total de Producción \$ 41.978,00					
Producción Mensual 5500 Kg					

3.2 Cálculos de la recuperación de la inversión.

TABLA 18

FLUJO DE CAJA PARA EL PRIMER AÑO DE PRODUCCIÓN Y VENTA DE BRONCE SAE 64

Producción máxima
por capacidad del
crisol

5500 Kg

P.V. Bronce SAE 64

25 Kg

	feb-09	mar-09	abr-09	may-09	jun-09	jul-09	ago-09	sep-09	oct-09	nov-09	dic-09	ene-10	feb-10
PRODUCCION Kg	2.750	3.300	3.850	4.400	4.950	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500
VENTAS (Kg)	1.650	1.925	2.200	2.475	2.750	3.025	3.300	3.575	3.850	4.125	4.400	4.675	4.950
CREDITO CFN	56.593,00												
VENTAS (US\$)	41.250,00	48.125,00	55.000,00	61.875,00	68.750,00	75.625,00	82.500,00	89.375,00	96.250,00	103.125,00	110.000,00	116.875,00	123.750,00
GASTOS	25.476,50	29.277,00	35.649,97	39.450,47	43.250,97	47.051,47	47.051,47	47.051,47	47.051,47	47.051,47	47.051,47	47.051,47	47.051,47
M P y Materiales	19.002,50	22.803,00	26.603,50	30.404,00	34.204,50	38.005,00	38.005,00	38.005,00	38.005,00	38.005,00	38.005,00	38.005,00	38.005,00
MOD	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00
MOI	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00
Laboratorio	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00
Arriendo	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
Refractario y Crisol	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentación (11 pers.)	484,00	484,00	484,00	484,00	484,00	484,00	484,00	484,00	484,00	484,00	484,00	484,00	484,00
Préstamo CFN	0,00	0,00	2.572,47	2.572,47	2.572,47	2.572,47	2.572,47	2.572,47	2.572,47	2.572,47	2.572,47	2.572,47	2.572,47
DISPONIBLE CAJA	31.116,50	43.089,50	55.564,53	71.114,06	89.738,09	111.436,62	140.010,15	175.458,68	217.782,21	266.980,74	323.054,27	386.002,80	455.826,33

TABLA 19
FLUJO DE CAJA PARA EL SEGUNDO AÑO DE PRODUCCIÓN Y VENTA DE BRONCE SAE 64

Producción máxima
por capacidad del
crisol **5500kg**
P.V. Bronce SAE 64 **\$25,00Kg**

	mar-10	abr-10	may-10	jun-10	jul-10	ago-10	sep-10	oct-10	nov-10	dic-10	ene-11	feb-11	mar-11
PRODUCCION Kg	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500
VENTAS (Kg)	5.225	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500
VENTAS (US\$)	130.625,00	137.500,00	137.500,00	137.500,00	137.500,00	137.500,00	137.500,00	137.500,00	137.500,00	137.500,00	137.500,00	137.500,00	137.500,00
GASTOS	47.051,47	47.051,47	47.051,47	47.051,47	47.051,47	47.051,47	47.051,47	47.051,47	47.051,47	47.051,47	47.051,47	47.051,47	47.051,47
M P y Materiales	38.005,00	38.005,00	38.005,00	38.005,00	38.005,00	38.005,00	38.005,00	38.005,00	38.005,00	38.005,00	38.005,00	38.005,00	38.005,00
MOD	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00
MOI	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00	1.990,00
Laboratorio	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00
Arriendo	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
Refractario y Crisol	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alimentación (11 pers.)	484,00	484,00	484,00	484,00	484,00	484,00	484,00	484,00	484,00	484,00	484,00	484,00	484,00
Préstamo CFN	2.572,47	2.572,47	2.572,47	2.572,47	2.572,47	2.572,47	2.572,47	2.572,47	2.572,47	2.572,47	2.572,47	2.572,47	2.572,47
DISPONIBLE CAJA	532.524,86	616.098,39	706.546,92	796.995,45	887.443,98	977.892,51	1.068.341,04	1.158.789,57	1.249.238,10	1.339.686,63	1.430.135,16	1.520.583,69	1.611.032,22

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Con relación al objetivo general y los objetivos específicos establecidos en la introducción de esta tesis, comparándolos con los resultados encontrados durante la experimentación y análisis de inversión se tienen las siguientes conclusiones:

- La aplicación de la centrifugación en Intramet como técnica para la producción en serie de barras perforadas ha demostrado ser eficaz, por lo tanto se debe aplicar inmediatamente.
- Otro de los objetivos que satisface la centrifugación es que cumple las propiedades mecánicas exigidas para la aleación

SAE 64 y en las cantidades necesarias para proyectar una producción estable

- Se calculó el costo de producción y se comparó el precio de venta en el mercado y existe un margen muy amplio que asegura un posicionamiento del producto por las ventajas que puede ofrecer en calidad y precio
- Todas las partes requeridas para ensamblar la máquina fueron hechas en el propio taller con la particularidad del uso de materiales de reciclaje para construirlos, de esta forma se bajan los costos a niveles importantes y con una ventaja adicional se pueden producir las máquinas que se requieran y en cualquier momento.

Recomendaciones

- La fundición centrífuga requiere más estudios para utilizarla en otras aplicaciones y no solo producir barras perforadas, existen muchas formas de trabajar por este método por lo tanto se recomienda seguir experimentando con el proceso para resolver otros problemas de la fundición de partes con máquinas diseñadas y construidas por la Ingeniería Local. Ya ésta en planes de Intramet la centrifugadora vertical que en

primera instancia se la está proyectando para fundir barras macizas en diferentes diámetros que es otro producto bien solicitado en el mercado.

BIBLIOGRAFÍA

1. INVESTIGATION OF CENTRIFUGAL CASTING CONDITIONS INFLUENCE ON PART QUALITY, Department of marine and manufacturing Technology, national Technical university of Athens, Greece.
2. INFLUENCE OF THE ROTATIONAL SPEED IN CENTRIFUGAL CASTING, International conference on advanced materials and composites (ICAMC – 2007), Oct 24 – 26, 2007
3. Metal handbook, Ninth Edition, Tomos 2 y 15.
4. Fundición Centrifuga, UMSS – Facultad de Ciencias y tecnología, Capitulo II.
5. SAE HANDBOOK, Part 1, 1979.
6. CENTRIFUGAL CASTING, Janco, Nathan, Illinois, 1988