



**INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE FUNDICIÓN EN LA FABRICACIÓN  
DE CONECTORES DE LATÓN PARA TUBERÍAS DE GAS EN EL PROCESO  
DE CENTRIFUGACIÓN COMPAÑÍA PENAGOS HERMANOS S.A.**

**DIEGO ANDRÉS SARMIENTO CARVAJALINO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
BUCARAMANGA**

**2010**



**INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE FUNDICIÓN EN LA FABRICACIÓN  
DE CONECTORES DE LATÓN PARA TUBERÍAS DE GAS EN EL PROCESO  
DE CENTRIFUGACIÓN COMPAÑÍA PENAGOS HERMANOS S.A.**

**DIEGO ANDRÉS SARMIENTO CARVAJALINO**

**Trabajo de grado para optar el título de  
Ingeniero Metalúrgico**

**Director**

**ARNALDO ALONSO BAQUERO  
INGENIERO METALÚRGICO UIS  
ESPECIALISTA EN FUNDICIÓN E.S.F. FRANCIA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN DESARROLLO Y TECNOLOGÍA DE NUEVOS  
MATERIALES  
BUCARAMANGA  
2010**

## AGRADECIMIENTOS

A MI MADRE HERMOSA QUE SIEMPRE ME HA APOYADO EN TODO POR CUANTO HE PASADO, LE DEBO TODO LO QUE SOY Y LO QUE SERE EN UN FUTURO, SUS VALORES MI MEJOR REGALO, ELLA MI “CUCHIS” MI MAYOR FORTUNA.

*“El porvenir de un hijo es siempre obra de su madre”*

*Diego Sar.*

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION	13
RESEÑA HISTÓRICA	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	16
1. OBJETIVOS	17
1.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2. FUNDAMENTO TEÓRICO [1]	18
2.1 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES	18
2.1.1 Fuerza Centrifuga	18
2.1.2. Inclusiones	20
2.2 VARIABLES DE PROCESO Y CALIDAD DE LA FUNDICIÓN	21
2.2.1 Velocidad de rotación	21
2.2.2 Temperatura de colada	21
2.2.3 Velocidad de colada	21
2.2.4 Temperatura del molde	21
2.3 FUNDICIÓN CENTRIFUGA	21
2.3.1 Fundición Centrifuga real	22
2.3.2 Fundición Semicentrífuga	22
2.4 TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN	24
2.4.1 Producción de bujes	25
2.5 DEFECTOS EN EL PROCESO DE MOLDEO POR CENTRIFUGACIÓN	26

2.5.1 Segregación	26
2.5.2 Lluvia de metal	26
2.5.3 Variación en el espesor de pared	27
2.5.4 Porosidades	27
2.5.5 Vibración	27
2.5.6. Protuberancias.	27
3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	29
3.1. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN.	30
3.2 DISEÑAR Y FABRICAR LA COQUILLA PARA EL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN.	31
3.2.1 Coquilla del prototipo de centrifugación	31
3.2.2 coquilla de producción industrial	32
3.2.3 Caracterización metalográfica de las fundiciones de las empresas contratistas de Penagos Hermanos.	33
3.3 CARACTERIZACIÓN METALOGRAFICA DE LAS PROBETAS INICIALES DE CENTRIFUGACIÓN	40
3.3.1 Análisis químico elemental por Fluorescencia de Rayos X (FRX)	40
3.4 PROTOTIPO DE CENTRIFUGACION	41
3.5 FUSIONES	44
35.1 Probetas centrifugadas del prototipo de centrifugación.	44
3.5.2 Análisis metalográfico de las aleaciones consideradas	57
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFIA	62

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Relación entre la fuerza de rotación y el diámetro para varias magnitudes	20
del factor G	20
Figura 2. Disposiciones típicas de la cabeza para el alimentador en la fundición semicentrífuga. a) cabeza central conectada a la fundición de diámetro pequeño.	23
b) cabezas de segmento aplicado a fundiciones de diámetro más grande	23
Figura 3. Montaje refractario del molde, fundición centrífuga con eje vertical	23
componentes formados	23
Figura 4. Esquema de la máquina centrífuga (eje horizontal), para la producción de bujes cortos	25
Figura 5. Protuberancias de metal [9]	28
Figura 6. Diseño de la coquilla	31
Figura 7. Vista interna derecha de la coquilla.	31
Figura 8. Vista interna izquierda de la coquilla.	32
Figura 9. Vista de la coquilla de producción industrial	32
Figura 10. Micrografía a 35x	33
Figura 11. Micrografía a 105x	33
Figura 12. Micrografía a 560x	34
Figura 13. Micrografía a 140x	34
Figura 14. Micrografía a 560x	35
Figura 15. Micrografía a 560x – Medicion de Esteadita	35
Figura 16. Micrografía a 560x – Medicion del grafito	36
Figura 17. Micrografía a 35x	36
Figura 18. Micrografía a 105x	37
Figura 19. Micrografía a 560x	37
Figura 20. Micrografía a 140x	38

Figura 21. Micrografia a 560x	38
Figura 22. Micrografia a 560x – Medicion de Esteadita	39
Figura 23. Micrografia a 560x – Medicion del grafito	39
Figura 24. Micrografia a 105x	40
Figura 25. Prototipo inicial	41
Figura 27. Montaje del sistema de moldeo por centrifugación	42
Figura 28. Montaje de moldeo por centrifugación	43
Figura 29. Primera fusión, unto N° 1; conectores obtenidos	44
Figura 30. Primera fusión, unto N° 1	45
Figura 31. Primera fusión, unto N° 1	45
Figura 32. Primera fusión, unto N° 1	46
Figura 33. Primera fusión, unto N° 2	46
Figura 34. Primera fusión, unto N° 2	47
Figura 35. Primera fusión, unto N° 2	47
Figura 36. Primera fusión, unto N° 2	48
Figura 37. Agujero central de la pieza	48
Figura 38. Latón 70 -30	50
Figura 40. High Brass	51
Figura 42. Maquinado – 1.3 mm	51
Figura 43. Latón 60 - 40	52
Figura 45. Tipos de flujos en relación al espesor del conector	53
Figura 46. Agujero central de la pieza	54
Figura 47. Modificaciones al diseño del prototipo de centrifugación	54
Figura 48. Latón 60 - 40	55
Figura 50. High Brass	56
Figura 52. Metalografía Latón 70 – 30 a 100x	57
Figura 53. Metalografía de alta resistencia a 100x	57
Figura 54. Metalografía Latón 60 – 40 a 100x	58

## RESUMEN

**TITULO:** INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE FUNDICIÓN EN LA FABRICACIÓN DE CONECTORES DE LATÓN PARA TUBERÍAS DE GAS EN EL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN  
COMPAÑÍA PENAGOS HERMANOS S.A.\*

**AUTOR:** SARMIENTO CARVAJALINO, Diego Andrés.\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Centrifugación, Latón, Conector.

### DESCRIPCIÓN:

La investigación realizada se enfocó en la obtención de conectores en latones de alta resistencia obtenidas por centrifugación, para tuberías en gas domiciliario, debido a sus excelentes propiedades mecánicas y de corrosión. Las excelentes características mecánicas, de cavitación, como también su alta colabilidad, determinan la decisión de elaborar los conectores en esta aleación.

Se estudiaron tres aleaciones de latón, las aleaciones evaluadas fueron los latones 70/30, 60/40 y un latón de alta resistencia con contenido de aluminio del 3%. Las aleaciones 60/40 y el latón de alta resistencia mostraron las mejores características metalúrgicas y mecánicas para la elaboración de los conectores, entre las propiedades consideradas a tener en cuenta por parte de la empresa, fueron la colabilidad, textura, resistencia a la corrosión y mecánica. Aunque el latón 60/40 mostro interesantes características de acabado superficial, el latón de alta resistencia fue seleccionado para la fabricación de los conectores porque además de un excelente acabado superficial no mostro la presencia de defectos ni externos ni internos.

La solidificación de la aleación bajo la acción de la fuerza centrífuga permite obtener piezas de alta calidad, sin porosidades y con un tamaño de grano pequeño, producto de la alta velocidad de enfriamiento del molde.

La adaptabilidad del proceso a la producción en series moderadas y altas, facilita a la empresa regular la fabricación de las piezas a las variaciones del mercado.

---

\* Proyecto de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela Ingeniería Metalúrgica y Ciencia Materiales. Director Arnaldo Alonso Baquero.

## ABSTRACT

**TITLE:** INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF CASTING MANUFACTURE OF HIGH BRASS CONNECTORS FOR GAS PIPELINES IN THE PROCESS OF CENTRIFUGE PENAGOS BROTHERS COMPANY Inc. \*

**AUTHOR:** Carvajalino SARMIENTO, Diego Andrés. \*\*

**KEYWORDS:** Spin, Brass, Connector.

### DESCRIPTION:

The research focused on the acquisition of high brass connectors in high strength obtained by centrifugation for home gas pipes, due to its excellent mechanical properties and corrosion. The excellent mechanical properties of cavitation, as well as its high castability, determine decision to draw the connectors in this alloy.

We studied three brass alloys, alloys evaluated were the brasses 70/30, 60/40 and a brass high strength aluminum content of 3%. The 60/40 alloy brass showed high resistance the best metallurgical and mechanical characteristics for the development of connectors, including properties considered to be considered by the company were the castability, texture, resistance to corrosion and mechanical. Although the 60/40 brass showed interesting features of surface finish, High strength brass was selected for the manufacture of connectors because in addition to a excellent surface finish did not show the presence of external or internal defects.

The solidification of the alloy under the action of centrifugal force can obtain high quality parts, without porosity and small grain size, result of the high cooling rate mold.

The adaptability of the production process in series moderate to high, provides the company's regular parts manufacturing to market variations.

---

\* Graduation Project.

\*\* Faculty of Engineering. School Metallurgical Engineering and Materials Science. Director Arnaldo Alonso Baquero.

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LAS PIEZAS OBTENIDAS POR CENTRIFUGACIÓN	24
Tabla 2. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	30
Tabla 3. DISEÑO EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN	30
Tabla 4. Composición química del latón elaborado	41
Tabla 5. Equivalencias entre la Frecuencia y velocidad de giro	42
Tabla 6. Relación de temperaturas en el sistema respecto a las velocidades de giro de la coquilla	43
Tabla 7. Relación de temperaturas en el sistema respecto a los latones para fabricar la coquilla.	50
Tabla 8. Relación de temperaturas y tiempos de colada en el sistema respecto a los latones para fabricar la coquilla.	55

## INTRODUCCION

La fundición centrífuga es el proceso más usado en la fabricación de tubos. El proceso de moldeo por centrifugación para elaborar los conectores de gas domiciliario en la empresa Penagos Hermanos S.A. es una de sus más recientes líneas de producción; por tal motivo, el siguiente estudio tiene como finalidad mejorar el proceso de centrifugación inicialmente adoptado, para disminuir los problemas de costos que actualmente afectan la fabricación de este tipo de piezas. Fabricados inicialmente en acero AISI 12L14 por el método de mecanizado, su baja resistencia a la corrosión y su costo elevado han llevado a la empresa a incursionar en otro proceso de manufactura para la fabricación de los conectores.

## RESEÑA HISTÓRICA

La tradición industrial de PENAGOS HERMANOS se remonta a finales del Siglo XIX, con la conformación de una Sociedad para el estudio, la promoción y ejecución de Proyectos Industriales.

Hacia los años cuarenta, se hacen las primeras exportaciones de maquinaria agrícola hacia América Latina, estableciendo de esta manera el inicio de la que hoy es reconocida como una de las más extensas y eficientes líneas de comercialización y distribución de productos industriales a nivel internacional.

Desde entonces PENAGOS HERMANOS se ha caracterizado por proveer soluciones integrales para el sector industrial y en especial para la agroindustria, iniciando con la fabricación de trapiches, motores hidráulicos Pelton, tornos, taladros entre otros.

Los años ochenta marcaron una época brillante para PENAGOS HERMANOS, pues se incorporan tecnologías de Italia y Brasil para modernizar la línea de maquinaria agrícola, y se incursiona en la fabricación de equipos para el procesamiento del café, revolucionando por completo los sistemas tradicionales de beneficio húmedo del café, recibiendo por ello el reconocimiento de importantes entidades nacionales e internacionales. Hoy en día estas máquinas son utilizadas con éxito en la gran mayoría de los países productores de Centroamérica, Grupo Andino y También en algunos países lejanos y exóticos de África, Asia y la Polinesia.

En la década de los 90 PENAGOS HERMANOS empezó a fabricar los accesorios para la instalación de gas y su comercialización, especialmente con las gaseras más importantes del país.

Hoy PENAGOS HERMANOS orgullosamente es una empresa reconocida a nivel mundial, y durante su trayectoria ha sido galardonada con: El Premio Nacional de Exportaciones en 1994, Premio Nacional a la Innovación Tecnológica Empresarial en 1995 y premio de Ecología Planeta Azul en 1996-1997.

En Agosto de 2007 recibe la certificación ISO 9001 para el diseño, producción y comercialización de equipos agropecuarios, agroindustriales, producción y comercialización de accesorios para la instalación de gas domiciliarios. En Septiembre del 2008 World BASC<sup>1</sup> Organization, INC. Otorga la certificación N° COLBAG00010-3.

---

<sup>1</sup> BASC -Business Alliance for Secure Commerce-, es una alianza empresarial internacional que promueve un comercio seguro en cooperación con gobiernos y organismos internacionales.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Penagos Hermanos es una empresa dedicada a la fabricación de maquinaria agrícola. Actualmente la empresa elabora los conectores para reguladores de gas domiciliario en acero AISI 12L14 por el proceso de mecanizado. Esta aleación presenta las siguientes desventajas: elevada tendencia a corroerse en ambientes costeros y una baja resistencia a la erosión. Se plantea por consiguiente la fabricación de estos conectores por el proceso de centrifugación en una aleación en latón de alta resistencia. La selección del proceso de moldeo por centrifugación se elige, entre otras razones por su bajo costo adaptabilidad al proceso, fabricación en serie y la posibilidad real de fabricar los equipos en la empresa.

La alta resistencia a la corrosión que presentan las aleaciones de Cu – Zn, a la mayoría de los medios agresivos, su alta colabilidad, su elevada aptitud al mecanizado y su buen acabado superficial, las hacen muy atractivas para este tipo de aplicaciones.

El análisis de las condiciones de trabajo en las cuales se utilizan estos conectores no son exigentes ya que la presión máxima que soporta es de  $1,74 \pm 0,5$  KPa, con un bajo torque. Se busca con este modo de fabricación llegar a un nuevo mercado ofreciendo un mejor producto a menores costos.

## JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La empresa Penagos Hermanos fabrica conectores para reguladores de gas domiciliario en acero AISI 12L14. Este acero se adquiere en barras, a partir de las cuales se fabrican los conectores los cuales se mecanizan completamente para darle simetría dimensional. Las consideraciones para no seguir fabricando estas piezas en acero por el proceso de mecanizado se desprenden de las siguientes razones:

- Proceso costoso.
- Material poco apto para trabajar en las condiciones de servicio exigidas a la pieza.
- Aleación de baja resistencia a la corrosión.

El mecanizado es un proceso costoso, lo cual eleva los precios de la pieza, ante esto, la empresa busca cambiar el proceso de manufactura por uno que le permita disminuir los costos, para así poder competir.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1. OBJETIVO GENERAL

- Identificar la influencia de los parámetros de fundición en la fabricación de conectores de latón para tuberías de gas en el proceso de centrifugación.

### 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer los valores de los parámetros de funcionamiento del proceso de centrifugación para la aleación considerada.
- Diseñar y fabricar la coquilla para el proceso de centrifugación.
- Valorar diferentes tipos de recubrimientos para recubrir la coquilla metálica.
- Establecer parámetros de selección de la composición definida del latón de alta resistencia.
- Realizar pruebas y valorar los defectos producidos.
- Valorar las características micro estructurales de la aleación.

## 2. FUNDAMENTO TEÓRICO [1]

### 2.1 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

**2.1.1 Fuerza Centrifuga.** La fuerza centrífuga que actúa sobre un cuerpo en rotación es proporcional al radio de rotación y al cuadrado de la velocidad:

$$F_C = mrw^2 = \frac{mv^2}{r}$$

Donde:

F = Fuerza centrifuga(N; pdl)

m = Masa (kg;lb)

r = Radio (m; ft)

w = Velocidad angular (rad/s)

v = Velocidad periférica (m/s; ft/s)

La fuerza gravitacional sobre la misma masa:

$$F_g = mg$$

Donde g = aceleración debido a gravedad (m/s<sup>2</sup> ft/s<sup>2</sup>).

De la relación entre la fuerza centrifuga y la fuerza gravitacional se obtiene el factor G:

$$G_{FACTOR} = \frac{F_C}{F_g} = \frac{rw^2}{g}$$

Expresado en las unidades de velocidad más convenientes de revoluciones por minuto (N), luego la expresión se hace:

$$G_{FACTOR} = \frac{r}{g} \left( \frac{\pi}{30} \right)^2 N^2 = \frac{0.011rN^2}{g}$$

$$N = \left( \frac{G_{FACTOR} \times g}{0.011r} \right)^{1/2} = 29.9 \left( \frac{G_{FACTOR}}{r} \right)^{1/2} = 42.3 \left( \frac{G_{FACTOR}}{D} \right)^{1/2}$$

Donde D es el diámetro de rotación (m).

Estas relaciones entre la velocidad de rotación, el diámetro y la fuerza centrífuga se ilustran gráficamente en la Figura 1. Ellas permiten seleccionar la velocidad, según la magnitud de la fuerza centrífuga requerida.

Cumberland estableció una gama de velocidades mínimas requeridas. Estas son representadas por la línea de puntos sobrepuesta sobre la Figura 1 y más o menos equivale a una velocidad constante periférica de 0.5 m/s (1000 pies/minutos). La fuerza requerida se disminuye con el aumento del diámetro.

$$w^2 = \frac{2gl}{r_t^2 - r_b^2}$$

Donde

L = Longitud axial (m; in)

rt = Radio superior (m; in)

rb = Radio inferior (m; in)

Por lo tanto:

$$N = \frac{30(2g)^{1/2}}{\pi} \times \left( \frac{l}{r_t^2 - r_b^2} \right)^{1/2} = 42.3 \left( \frac{l}{r_t^2 - r_b^2} \right)^{1/2}$$

Donde las dimensiones lineales son expresadas en metros.

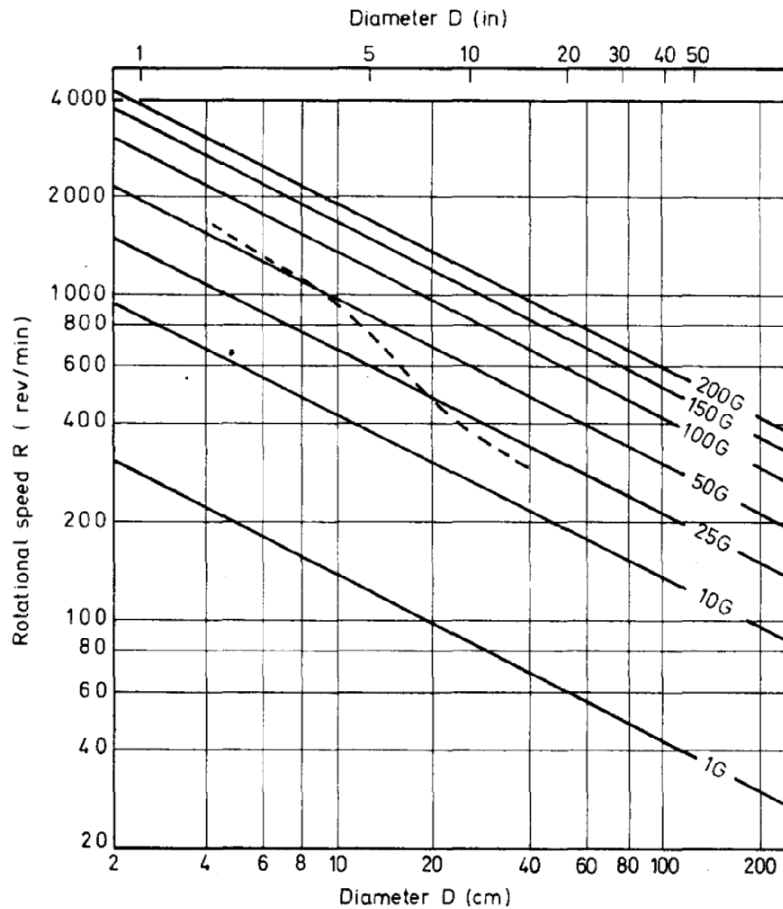


Figura 1. Relación entre la fuerza de rotación y el diámetro para varias magnitudes del factor G

Otros factores relevantes en la selección de la velocidad son las capacidades mecánicas del equipo y las tensiones generadas en la solidificación de la fundición. Aunque se ha podido exceder el valor de 200G en algunos casos, la mayor parte de los casos se trabaja dentro de la gama de 10-150G. Los valores más altos son usados para los componentes cilíndricos de pequeño diámetro, y los más bajos, para fundiciones semicentrífugas y de presión.

**2.1.2. Inclusiones.** Otra función que ejerce la fuerza centrífuga es hacer que las inclusiones no metálicas segreguen en la superficie interna del cilindro. En la colada estática, la separación de las inclusiones depende de la fuerza neta gravitacional que actúa en cada partícula suspendida, en la fundición centrífuga, esta fuerza es aumentada en el valor  $rw^2/g$ .

## 2.2 VARIABLES DE PROCESO Y CALIDAD DE LA FUNDICIÓN

Una vez que el proceso ha sido establecido, las variables principales que controlan la calidad son: la velocidad de rotación, la temperatura de vertido, velocidad de vertido y la temperatura del molde.

**2.2.1 Velocidad de rotación.** Los factores principales que influyen en la selección de velocidad fueron indicados en los fundamentos del proceso. El factor que gobierna la fundición centrífuga real o pura es la obtención del espesor contra la gravedad, evitando la rasgadura longitudinal por la tensión excesiva del aro. En fundiciones semicentrífugas y de presión, la alimentación de la presión es el criterio principal. La velocidad rotatoria también ejerce una influencia sobre la estructura. El efecto más común del incremento de la velocidad es promover el afinamiento del grano, aunque esto pueda elevar la turbulencia inducida por la inestabilidad de la masa líquida a bajas velocidades.

**2.2.2 Temperatura de colada.** La temperatura ejerce una influencia principal sobre el modo de solidificación y tiene que ser determinada, en parte, en relación con el tipo de estructura requerida. Las bajas temperaturas se asocian al refinamiento máximo del grano y con estructuras equiaxiales, mientras que temperaturas más altas, promueven crecimiento columnar en muchas aleaciones. Sin embargo, consideraciones prácticas limitan la gama disponible de temperatura de vertido, la temperatura debe ser suficientemente alta para asegurar un flujo metálico satisfactorio y libre de turbulencias, evitando estructuras con granos gruesos y el riesgo de desgarre debido al calentamiento excesivo.

**2.2.3 Velocidad de colada.** Está gobernada sobre todo por la necesidad de acabar el llenado antes de que el metal se solidifique, aunque, si es demasiado alta puede causar turbulencia y expulsión del metal. Una velocidad de colada lenta, ofrece como ventaja permitir una solidificación direccional y una alimentación más adecuada.

**2.2.4 Temperatura del molde.** La temperatura del molde es sólo de importancia secundaria en relación con la estructura. Su importancia principal está en su valor y el tiempo utilizado en el precalentamiento. La extensión de dicho tiempo disminuye el riesgo del agrietamiento de la pieza en la fundición centrífuga real.

## 2.3 FUNDICIÓN CENTRIFUGA

La fundición centrífuga es la introducción del metal fundido en un molde que gira durante el llenado, enfriamiento y la solidificación de la pieza. La fuerza centrífuga juega un papel importante en la eliminación de porosidades durante la solidificación y el enfriamiento de la pieza.

La fuerza centrífuga producida por la rotación es grande, comparada con fuerzas hidrostáticas normales. Actúa de dos modos. En primer término, la fuerza influye en la distribución del metal líquido sobre las superficies externas del molde, formando cilindros huecos y otras formas anulares. El segundo es el desarrollo de alta presión en la fundición durante la solidificación y el enfriamiento. Esto, en unión con la solidificación direccional, ayuda a la alimentación y acelera la separación de inclusiones no metálicas y gases inducidos. Las ventajas del proceso son: facilidad del metal líquido para llenar las formas externas de las piezas y alta calidad metalúrgica del producto.

Existen diferentes tipos de procesos de centrifugación: proceso de centrifugación pura, proceso de centrifugación semicentrífuga y proceso de centrifugación a presión. La centrifugación pura puede ser de eje horizontal, vertical o inclinado y permite obtener piezas de revolución sin machos. La centrifugación semicentrífuga también es de tres ejes pero las piezas de revolución con huecos, se obtienen por machos. La centrifugación a presión es de solo eje vertical y se puede obtener piezas de cualquier forma.

**2.3.1 Fundición Centrífuga real.** Como se indicó la centrifugación pura permite obtener piezas de revolución huecas sin necesidad de utilizar machos. El uso más amplio de fundición centrífuga es la producción de cilindros huecos, tubos sin costura, camisas y objetos simétricos. Los moldes se cuelan de manera uniforme y mientras que el molde gira sobre su eje de rotación.

**2.3.2 Fundición Semicentrífuga.** Los componentes de diámetro grande, normalmente son colados en moldes refractarios, en el cual, tanto superficies internas como externas son formados por el refractario. Para las fundiciones de pequeño diámetro interno una sola cabeza central de alimentación delgada es conectada a la fundición.

Las fundiciones de diámetro más grande requieren segmentos separados o anillos, y dependiendo de las dimensiones de estos, pueden comunicarse con el bebedero directamente o por corredores análogos usados en la fundición estática. Las fundiciones semicentrífugas, normalmente son realizadas sobre máquinas de eje verticales para facilitar el montaje del molde.

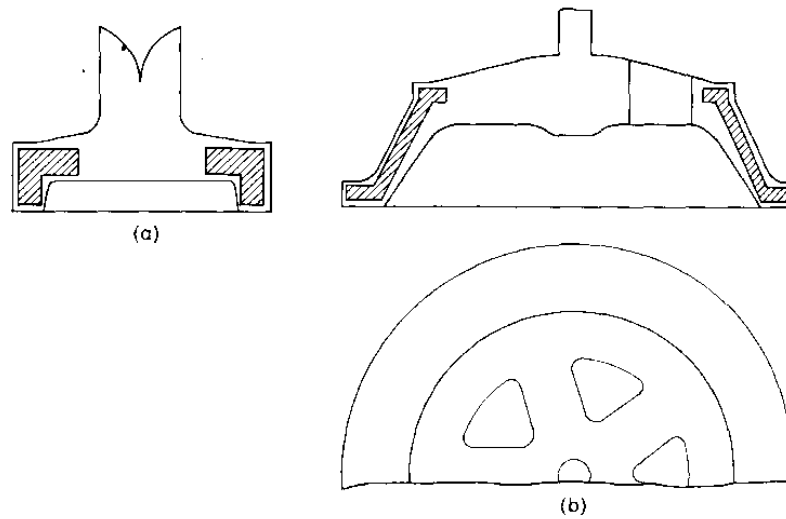


Figura 2. Disposiciones típicas de la cabeza para el alimentador en la fundición semicentrífuga. a) cabeza central conectada a la fundición de diámetro pequeño. b) cabezas de segmento aplicado a fundiciones de diámetro más grande

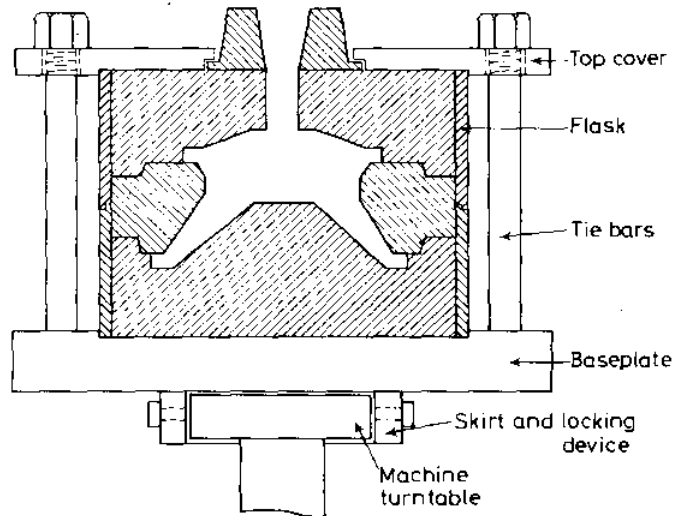


Figura 3. Montaje refractario del molde, fundición centrífuga con eje vertical componentes formados

Tabla 1. ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LAS PIEZAS OBTENIDAS POR CENTRIFUGACIÓN

Variable	Efecto	Tendencia Estructural
Aumento en la temperatura de vertido	Disminuye el índice de enfriamiento e inhibe la nucleación	Columnar
	Aumenta el gradiente de temperatura a un grado óptimo	Columnar
	Disminuye el gradiente de temperatura más allá del grado óptimo	Equiaxial
Disminución de la temperatura del molde	Aumenta el índice de enfriamiento y promueve la nucleación	Equiaxial: Fino
	Aumenta el gradiente de temperatura	Columnar
Disminución de la velocidad de vertido	Incrementa el gradiente de temperatura	Columnar
	Aumenta el disturbio mecánico; promueve la fragmentación cristalina y perturba el enfriamiento de capa	Equiaxial: Columnar Fino
Aumento de velocidad de rotación	Aumenta el disturbio mecánico; promueve la fragmentación cristalina y perturba el enfriamiento de capa	Equiaxial: Columnar Fino

Fuente: RODRIGUEZ G.N, DEFECTOS DE FUNDICIÓN EN LAS CAMISAS CENTRIFUGADAS DE LA LÍNEA INDUSTRIAL EN INDUSTRIAS LAVCO.2008. Universidad Industrial de Santander. p. 38.

## 2.4 TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN

Las variaciones en la práctica de esta técnica de moldeo hace referencia en el eje de rotación, tipo de molde y manera de introducción del metal fundido: estos rasgos gobiernan el diseño de máquinas y equipos usados.

En general, las máquinas de eje horizontales son preferidas para las piezas de alta longitud en proporción al diámetro, mientras que para fundiciones de diámetro mayor a su longitud, se usan más comúnmente coladas en eje vertical, aunque existan excepciones en ambos casos.

El material de molde es determinado en parte por la forma y por el número de piezas requeridas. Para formas simples, el moldeo en coquilla metálica, por lo general es preferido sobre el moldeo en materiales cerámicos refractarios. Las coquillas metálicas pueden ser de acero o de hierro fundido, apoyado en una lámina de acero. Ellos son usados con varios tipos de capa para la protección y la facilidad de remoción: sobre las capas de pinturas refractarias se encuentran mezclas que contienen grafito, ferrosilicio y otras sustancias, que sirven tanto como aislantes o inoculantes. Para formas más complejas o para partes requeridas en pequeñas cantidades, normalmente son usados moldes refractarios cerámicos. Los moldes de grafito también han sido usados para usos especiales.

**2.4.1 Producción de bujes.** Los bujes de longitud corta pueden ser producidos en máquinas de eje horizontal o vertical. Un tipo de máquina de eje horizontal, este principio es usado en la producción de cilindros. El molde, por lo general, consiste en un dado de metal intercambiable apoyado dentro de un sostenedor de acero. Un material conveniente para el dado en si es la fundición de hematita, que muestra buena resistencia al choque térmico y a la distorsión.

Varios tipos de mecanismos de colada son usados. Máquinas de eje horizontal son alimentadas comúnmente por una proyección de canalón ajustable por la cubierta al final del ensamble del molde para depositar el metal directamente sobre la pared del dado. Para bujes de diámetro grande normalmente se prefiere la fundición con eje vertical. En este caso el metal puede ser introducido por un canalón que descarga tangencialmente dentro de la cavidad de molde Figura 4, o puede ser vertido directamente.

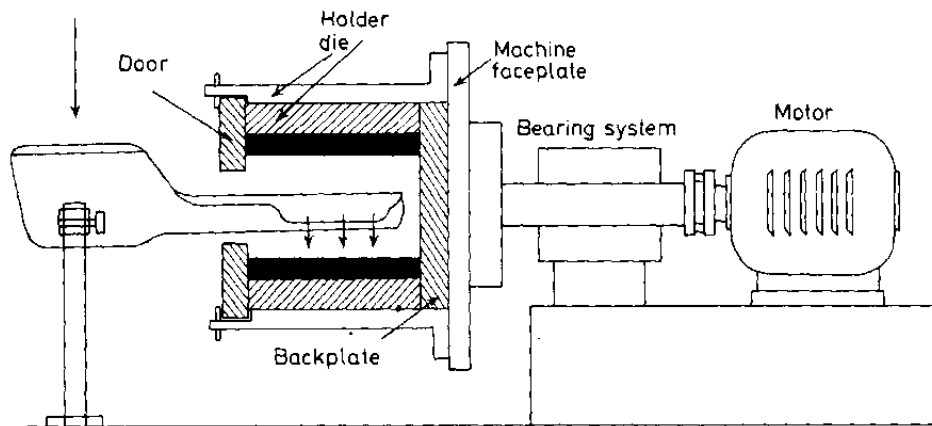


Figura 4. Esquema de la máquina centrífuga (eje horizontal), para la producción de bujes cortos

## 2.5 DEFECTOS EN EL PROCESO DE MOLDEO POR CENTRIFUGACIÓN

En las piezas fabricadas por el proceso de moldeo por centrifugación aparecen la mayor parte de los tipos de defectos encontrado en fundiciones estáticas, aunque haya menos sensibilidad al encogimiento interno, porosidad de gas e inclusiones no metálicas. Tales defectos pueden estar en las superficies externas o internas, dando una probabilidad fuerte de detección sin el recurso de la radiografía o pruebas ultrasónicas.

Los defectos más comunes son segregaciones conocidas con el nombre de “banding”, lluvia de metal y la variación en el espesor de la pieza, burbujas de aire, vibración y grumos de metal. En general, los tubos hechos en fundición centrífuga tienen menos defectos de fabricación que los tubos hechos en colada estática de moldes en arena. Sin embargo, los problemas que ellos realmente tienen son variados y pueden ser perjudiciales para el funcionamiento del tubo.

**2.5.1 Segregación.** Se llama así, una zona con alto contenido de componentes de bajo punto de fusión que bajo el efecto de la fuerza centrífuga generan zonas características demarcadas por líneas en las fundiciones centrífugas. Hay varias formas de segregación. La de mayor gravedad es la segregación llamada “banding”. Esto ocurre raras veces en fundiciones de pared delgada. A pesar de la impresión general, el “banding” ocurre tanto en la fundición centrífuga horizontal como en vertical.

El “banding” son zonas anulares de segregado, componentes de bajo punto de fusión, como fases eutécticas y óxido o inclusiones de sulfuros.

La mayor parte de aleaciones son susceptibles a la segregación, pero entre mayor sea el rango de solidificación más pronunciado puede ser el efecto. Este defecto se ha asociado cuando se usa el nivel crítico de la velocidad de rotación y al uso de velocidades muy bajas que producirían el levantamiento esporádico del metal fundido. Ambos mecanismos pueden estar implicados. Normalmente mientras menores ajustes se hagan a las variables de operación de la fundición como, la velocidad de rotación, la rata de vertido, el metal y la temperatura del molde, menores presencia del defecto de segregación se perturban.

**2.5.2 Lluvia de metal.** En una máquina horizontal, si el molde se hace girar a una velocidad demasiado baja o el metal se vierte en el molde demasiado rápido, ocurre el defecto conocido como “raining” o lluvia de metal. Es decir, el metal fundido en realidad se cae de la parte superior del molde a la parte inferior. Este fenómeno puede ser visto examinando en el extremo del molde rotativo al finalizar la colada.

La lluvia de metal ocurre porque el metal fundido no alcanza a rotar a la velocidad del molde. Si la fricción del metal fundido contra la pared del molde es baja, debido a una velocidad demasiado lenta, el metal fundido no alcanzará una alta velocidad rotatoria que venza la fuerza de gravedad y caerá de la parte superior del molde.

Una causa podría ser la temperatura inadecuada. Si el metal fundido tiene alta temperatura a la entrada del molde, su fluidez será alta y su viscosidad será baja. Será difícil para el metal fundido acelerar rápidamente la velocidad de rotación necesaria para vencer la fuerza de gravedad. Esto puede ser remediado con una velocidad de rotación más alta o reduciendo la velocidad de vertido.

**2.5.3 Variación en el espesor de pared.** La variación del espesor de la pared es causada por cambios de la velocidad de flujo de metal de la cuchara en el molde. Esto puede ser un problema si la pared de tubo disminuye considerablemente por lo permitido por las normas usadas en el diseño del tubo.

**2.5.4 Porosidades.** Normalmente no se esperaría encontrar poros originados por el aire o gases en tubos de fundición centrífuga. El aire tiene una distancia muy corta para viajar y escaparse del tubo metálico, ya que este sólo debe viajar por el espesor del tubo antes de que el metal solidifique, no en su longitud. Sin embargo, el aire a veces también es atrapado en las paredes de este tipo de tubo. Las causas no son claras, pero pueden estar relacionadas con la temperatura del metal fundido que puede ser baja. De modo que este se solidificará más rápidamente que los tubos.

**2.5.5 Vibración.** La vibración de la máquina, el establecimiento de frecuencias resonantes y el equilibrio dinámico impropio son las condiciones que producen dos tipos de fundiciones de mala calidad. Un tipo demuestra un agujero central en el molde en la parte más baja de la fundición. Esta diferencia en el tamaño de agujero es acompañada por manchas oscuras segregadas en el centro del tubo, que contienen las segregaciones de carbono, azufre, fósforo, e inclusiones no metálicas. Severas vibraciones de la máquina también producen fundiciones sujetas al carbono circunferencial, el fósforo, y aros de segregación de azufre durante la solidificación; los aros se hacen más frecuentes y pronunciados con los aumentos de la vibración.

**2.5.6. Protuberancias.** Los tubos también pueden tener grumos de metal que soporta la superficie de tubo. El metal normalmente fundido sería extendido fuera por el proceso de repujado. La presencia de los grumos sugiere que el tubo de metal fuera refrigerado deseablemente durante el proceso de fundición, permitiendo a los grumos solidificarse en el lugar.

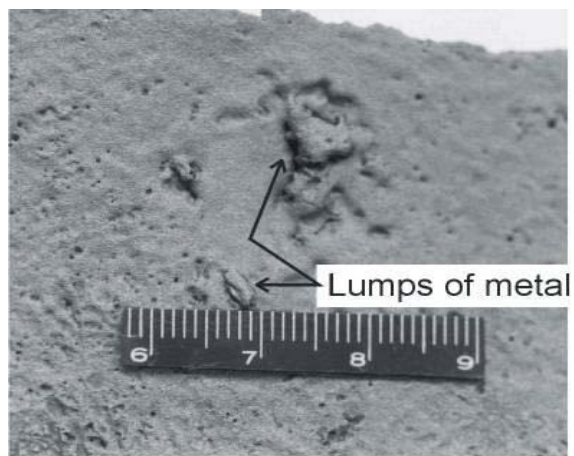


Figura 5. Protuberancias de metal [9]

### 3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Basados en los objetivos que se planteados para este proyecto, a continuación se señalan las actividades que se llevaran a cabo para el cumplimiento de la investigación:

- *Actividad 1:* Consulta bibliográfica.
- *Actividad 2:* Diagnostico.
- *Actividad 3:* Preparación metalografía inicial.
- *Actividad 4:* Diseño y construcción de la coquilla
- *Actividad 5:* Establecer los parámetros de selección de la composición definida del latón de alta resistencia
- *Actividad 6:* Construcción y puesta en marcha de la máquina de centrifugación.
- *Actividad 7:* Evaluación del proceso de centrifugación mediante ensayo de torsión.
- *Actividad 8:* Primeras pruebas resultados de análisis químico, metalográfico y mecánico.
- *Actividad 9:* Análisis de los resultados e informe final.

Tabla 2. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividad	Mes					
	1	2	3	4	5	6
Consulta Bibliográfica	x	x	x	x	x	x
Preparación y análisis metalográfico inicial	x					
Diseño y construcción de la coquilla	x	x				
Construcción y puesta en marcha de la máquina de centrifugación			x	x		
Evaluación del proceso de centrifugación mediante ensayo de torsión				x	x	
Primeras pruebas resultados de análisis químico, metalográfico y mecánico					x	
Análisis de los resultados e informe final					x	x

Fuente: Autor.

### 3.1. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN.

Para la ejecución del proyecto se decidió trabajar con centrifugación horizontal con tres probetas (muestra, contra muestra y testigo), con tres fuerzas G (4, 6 y 8), con dos untos diferentes (bentonita, negro de humo), para un total de 18 probetas.

Tabla 3. DISEÑO EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN

Probeta	Cantidad	Fuerza G			Unto		Total
		4	6	8	Bentonita	Negro de humo	
Chatarra de bronce	1	1	1	1	1	1	6
Latón 70-30	1	1	1	1	1	1	6
Latón de alta resistencia	1	1	1	1	1	1	6
Total	3	3	3	3	3	3	18

Fuente: Autor.

### 3.2 DISEÑAR Y FABRICAR LA COQUILLA PARA EL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN.

#### 3.2.1 Coquilla del prototipo de centrifugación

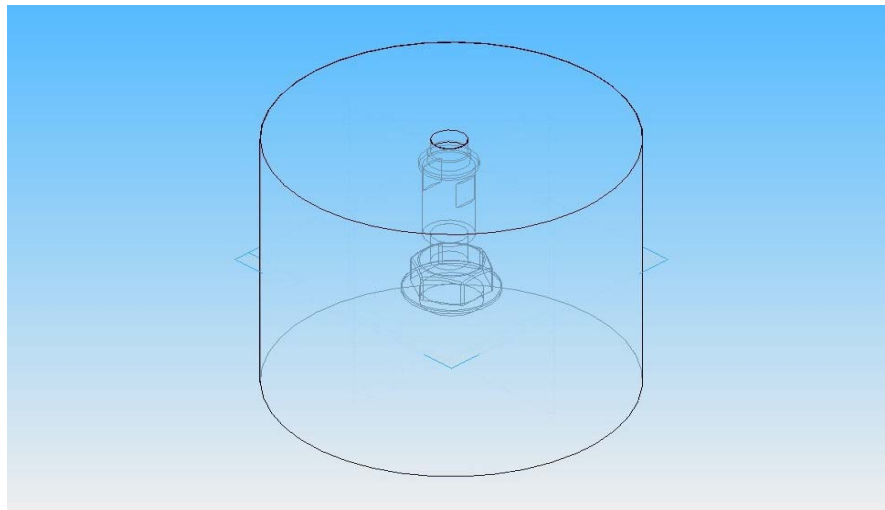


Figura 6. Diseño de la coquilla

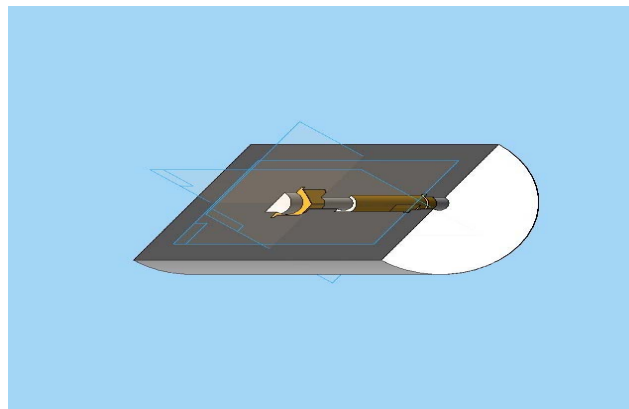


Figura 7. Vista interna derecha de la coquilla.

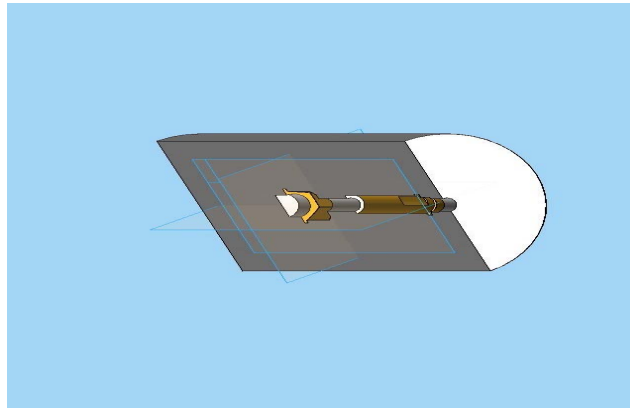


Figura 8. Vista interna izquierda de la coquilla.

### 3.2.2 coquilla de producción industrial

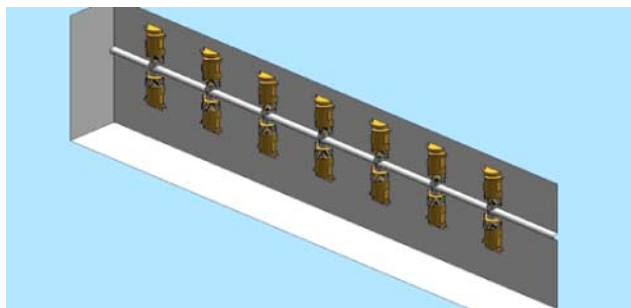


Figura 9. Vista de la coquilla de producción industrial

Para fabricar la coquilla, se hace necesario escoger el material en el cual se debe construir el sistema de centrifugación del proceso y este es fundición gris hiper-eutéctica debido a que este tipo de fundición absorbe las vibraciones que son intrínsecas al proceso de centrifugación, por lo que se hace indispensable escoger la fundición con mayor cantidad de grafito laminar para prevenir este efecto.

Para el proceso de escogencia de la fundición, se debe caracterizar las diferentes fundidoras que son contratistas de Penagos Hermanos, debido a que son de carácter artesanal y no trabajan con composiciones fijas en sus cargas metálicas.

Se recomienda la fabricación en fundición gris con las características indicadas pero no se garantiza que esa sea con la que se va a trabajar, debido a las condiciones logísticas de Bucaramanga que no permiten hacer el control necesario para tal fin.

### 3.2.3 Caracterización metalográfica de las fundiciones de las empresas contratistas de Penagos Hermanos.

#### Fundiciones Hernández.

- Tipo de grafito

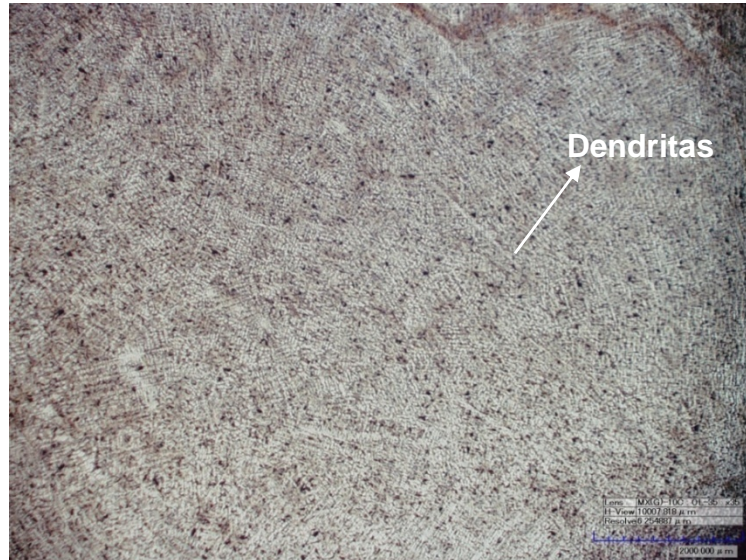


Figura 10. Micrografía a 35x

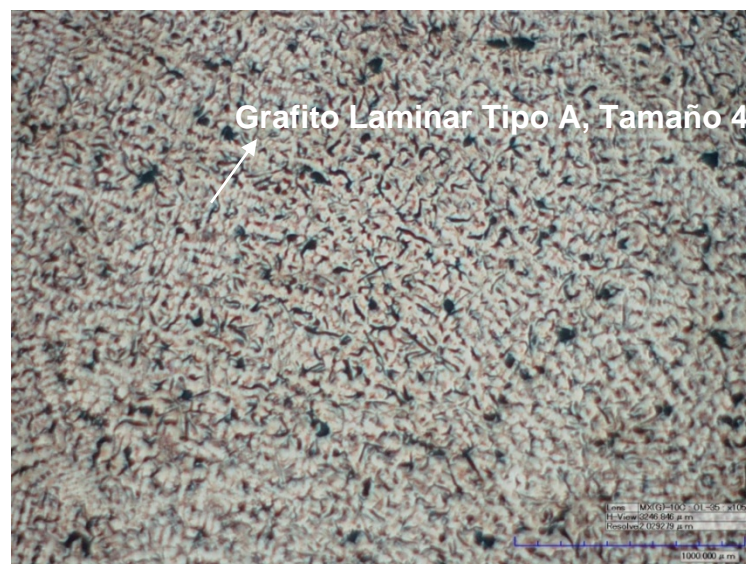


Figura 11. Micrografía a 105x

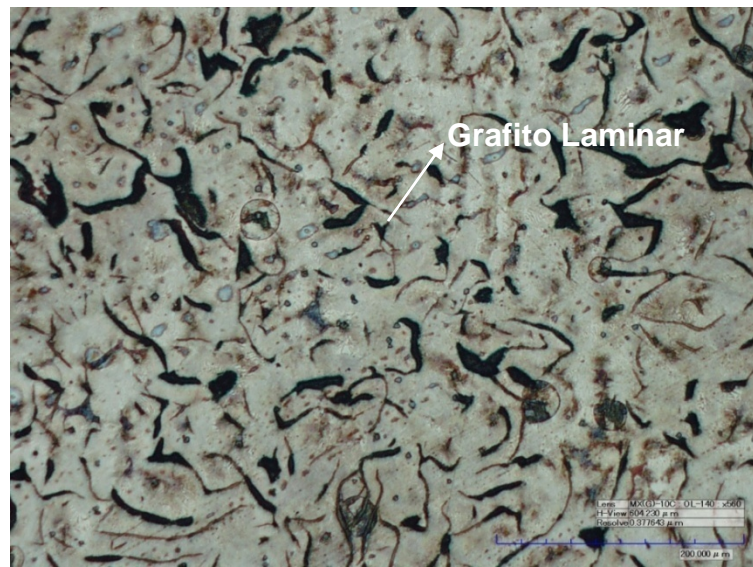


Figura 12. Micrografia a 560x

- Microestructuras

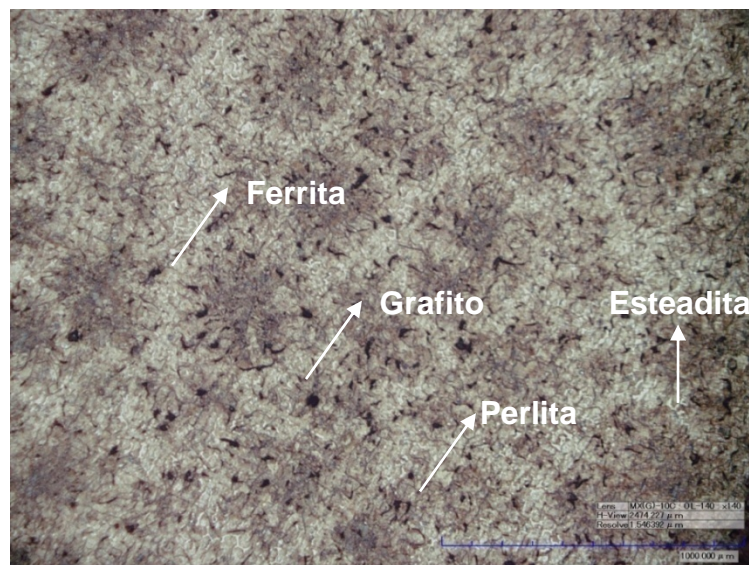


Figura 13. Micrografia a 140x

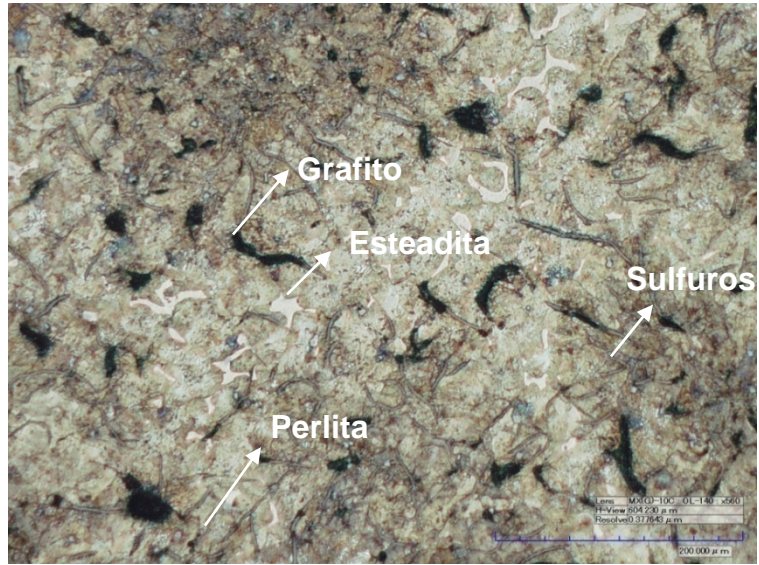


Figura 14. Micrografia a 560x

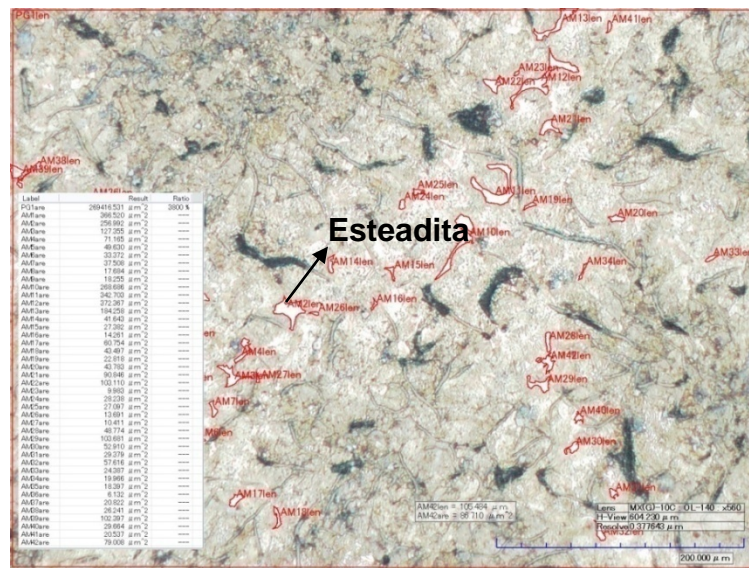


Figura 15. Micrografia a 560x – Medicion de Esteadita

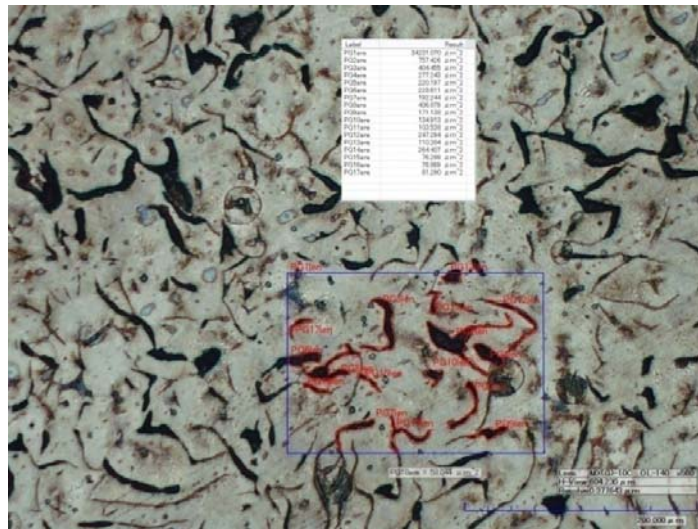


Figura 16. Micrografía a 560x – Medición del grafito

Las muestras analizadas presentan matriz perlítica fina, ferrita y esteadita (fosforo de hierro equivalente al 1.23% de la muestra), el cual imposibilita su uso para la construcción de la coquilla por tener un coeficiente de expansión térmico elevado, lo cual podría agrietar la coquilla rápidamente. Respecto al grafito, la muestra presenta un grafito tipo A tamaño 4 definido según la norma ASTM A247 – 07, la cantidad de grafito en la muestra es equivalente al 10.61%.

### Falteco

- Tipo de grafito

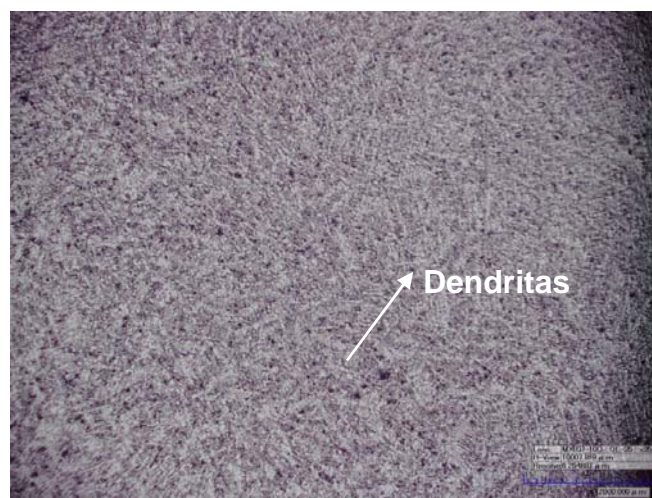


Figura 17. Micrografía a 35x

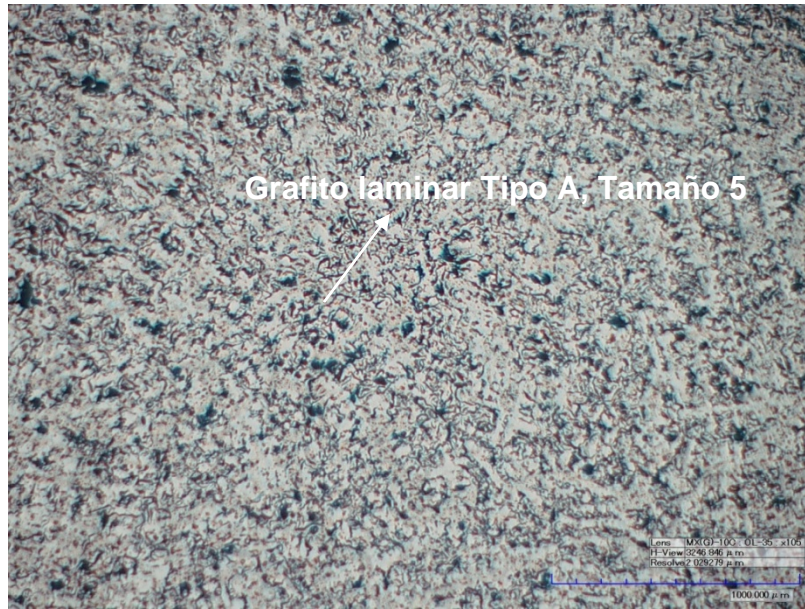


Figura 18. Micrografía a 105x

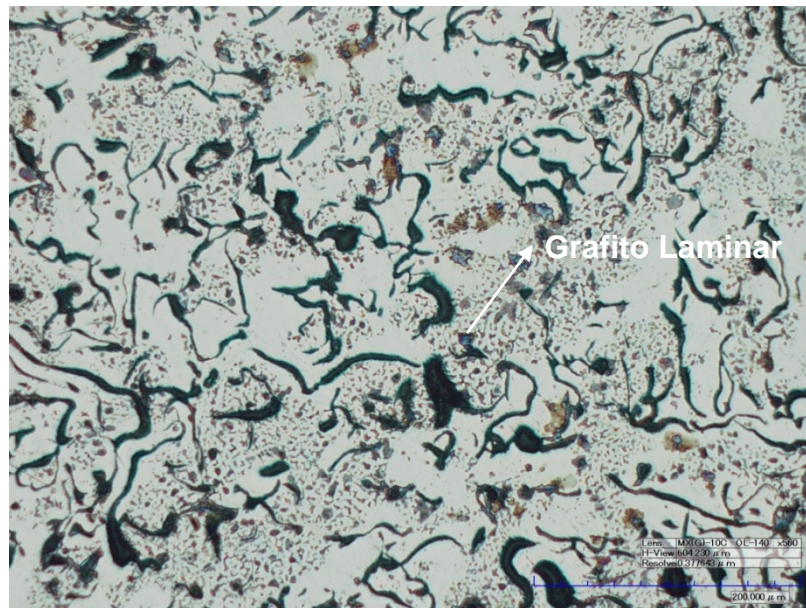


Figura 19. Micrografía a 560x

- Microestructuras



Figura 20. Micrografia a 140x

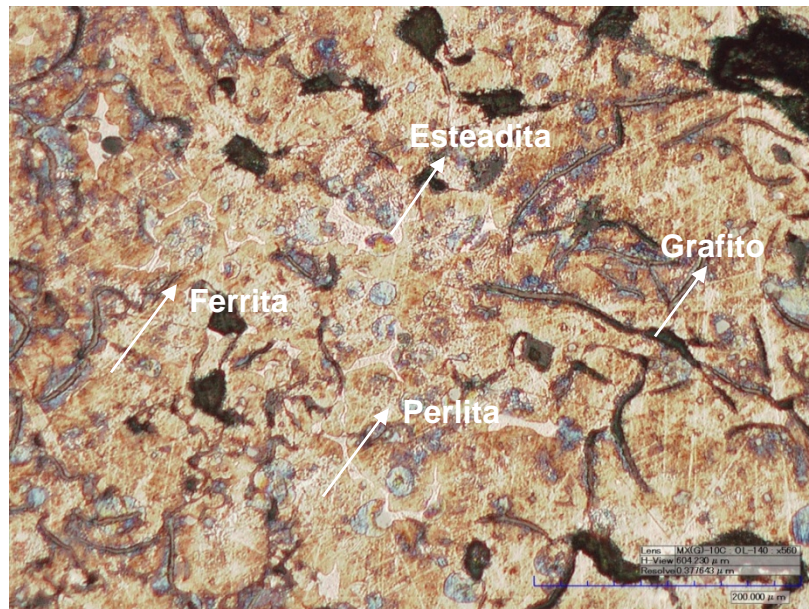


Figura 21. Micrografia a 560x



Figura 22. Micrografia a 560x – Medicion de Esteadita

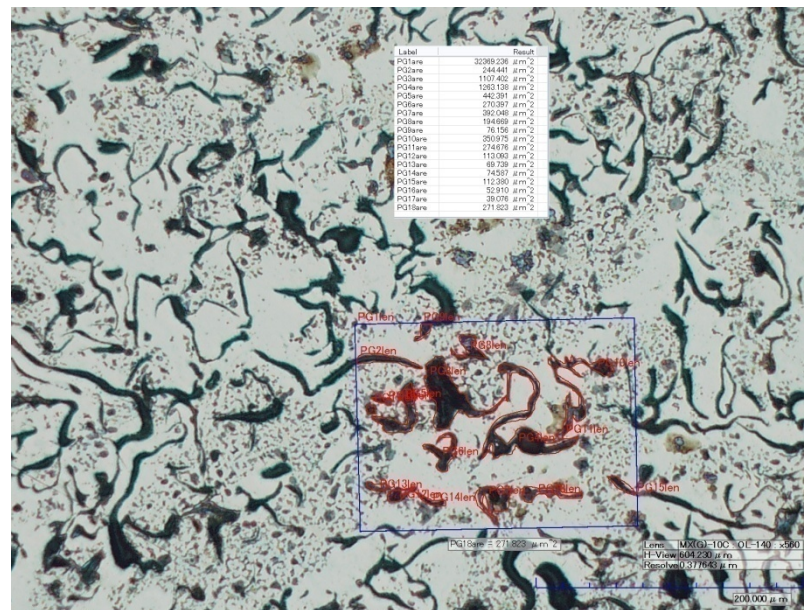


Figura 23. Micrografia a 560x – Medicion del grafito

Las muestras analizadas presentan matriz perlítica fina, ferrita y esteadita (fosforo de hierro equivalente al 0.63 % de la muestra), el cual imposibilita su uso para la

construcción de la coquilla por tener un coeficiente de expansión térmico elevado, lo cual podría agrietar la coquilla rápidamente. Respecto al grafito, la muestra presenta un grafito tipo A tamaño 5 definido según la norma ASTM A247 – 07, la cantidad de grafito en la muestra es equivalente al 16.53 %.

### 3.3 CARACTERIZACIÓN METALOGRAFICA DE LAS PROBETAS INICIALES DE CENTRIFUGACIÓN

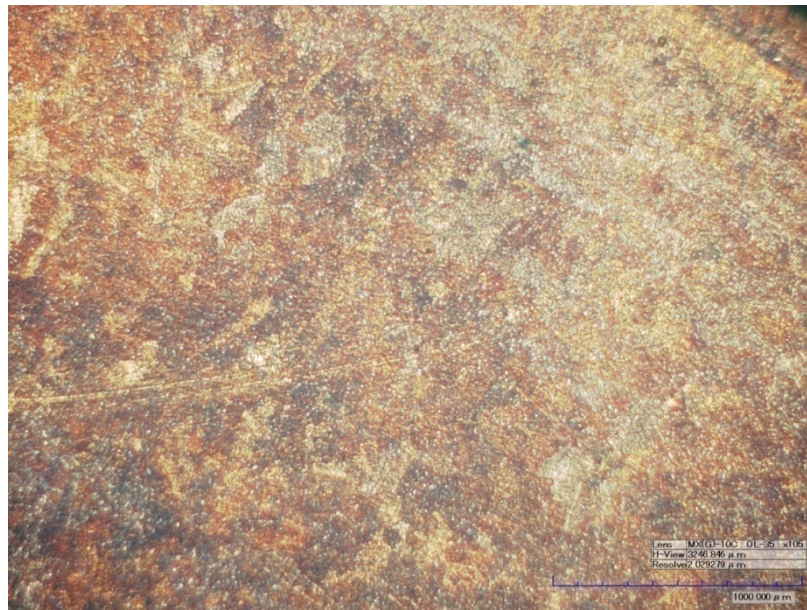


Figura 24. Micrografía a 105x

La muestra analizada corresponde a un latón bifásico, su metalografía se dificultó debido a que se raya con facilidad. Se realizó un ensayo de FRX que caracterizara los porcentajes de elementos de aleación de la muestra.

**3.3.1 Análisis químico elemental por Fluorescencia de Rayos X (FRX).** Los análisis fueron realizados en el Centro de Desarrollo Productivo de Joyería (C.D.P) en Bucaramanga, empleándose un Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X Shimadzu EDX 800 HS de energía dispersa.



uso negro de humo recomendado por la literatura obtenido a partir de la combustión incompleta del Acetileno para recubrir la coquilla metálica.

Una vez determinadas las composiciones de los untos, se procedió a establecer el montaje del mecanismo de moldeo por centrifugación que funciona a partir de una fuente de poder con corriente alterna, un variador de frecuencia y el prototipo de centrifugación.

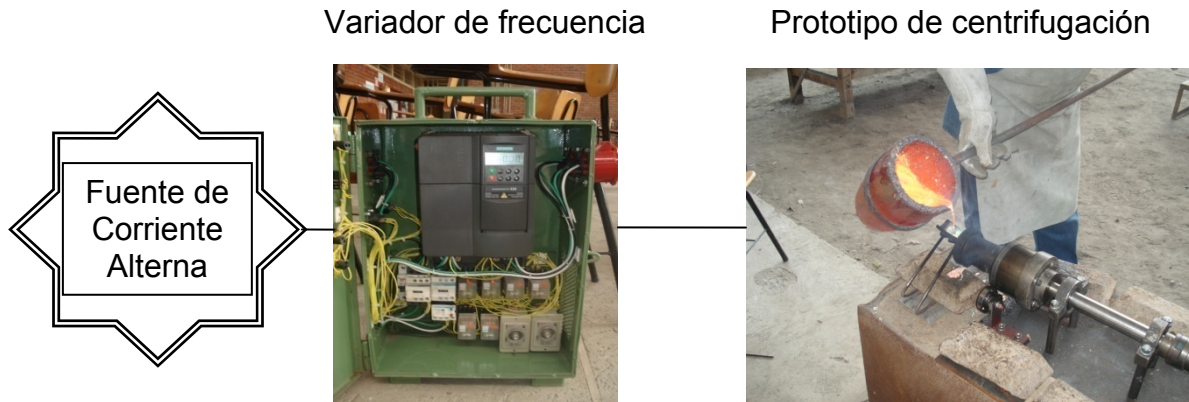


Figura 27. Montaje del sistema de moldeo por centrifugación

Por último se calibra el variador de frecuencia, el cual me permite establecer los valores de las fuerzas G, cambiando las revoluciones por minuto del motor así:

Tabla 5. Equivalencias entre la Frecuencia y velocidad de giro

Frecuencia	rpm	Fuerza G
10 Hz	600	4
15 Hz	800	6
17 Hz	900	8

Fuente: Autor

Una vez calibrado todo el sistema de centrifugación, se pone en marcha precalentándolo a temperaturas comprendidas entre los 123 y 287 °C. Esta diferencia es debida a un defecto de diseño del soporte primario de la coquilla que por tener un espesor mayor, crea un gradiente de temperatura que dificulta la circulación del metal a través de la coquilla.

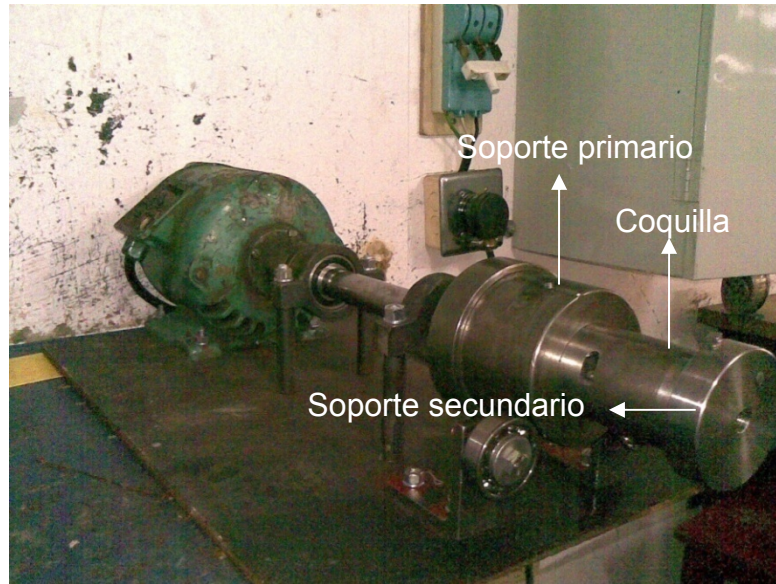


Figura 28. Montaje de moldeo por centrifugación

La temperatura del baño metálico recomendada por la AFS [10], para las de aleaciones de cobre oscilan en el rango de 954 – 1121°C y estos valores se midieron en el crisol y al momento de verter el metal en el sistema, mediante un pirómetro infrarrojo (Ref. Omegascop), obteniendo los siguientes valores:

Tabla 6. Relación de temperaturas en el sistema respecto a las velocidades de giro de la coquilla

		rpm	Temperatura en crisol	Temperatura de Colada	Temperatura en la coquilla	
					sección 1	sección 2
unto	Negro de humo (Unto N°1)	600	1010 °C	970 °C	270 °C	154 °C
		800	1007 °C	980 °C	264 °C	147 °C
		900	1076 °C	1040 °C	287 °C	170 °C
	Bentonita (Unto N°2)	600	1011 °C	997 °C	254 °C	147 °C
		800	1015 °C	981 °C	224 °C	123 °C
		900	1079 °C	1002 °C	278 °C	143 °C

Fuente: Autor

### 3.5 FUSIONES

Se diseñaron 3 fusiones correspondientes a las 3 aleaciones determinadas en el diseño experimental, variando las revoluciones de la maquina y con dos untos negro de humo y bentonita.

**35.1 Probetas centrifugadas del prototipo de centrifugación.** A continuación se muestran las piezas de conectores obtenidas:

**Fusión N° 1 (Unto N° 1)** La carga metálica para elaborar estas muestras, estuvo constituida por chatarra de bronce, suministrada por la empresa Penagos Hermanos. La heterogeneidad, presencia de elementos extraños, deposiciones electrolíticas, pinturas y suciedades no son un buen punto de partida para elaborar este tipo de aleaciones. Se le indicara a la empresa de la necesidad de preparar la carga metálica con elementos puros como condición para obtener resultados satisfactorios.

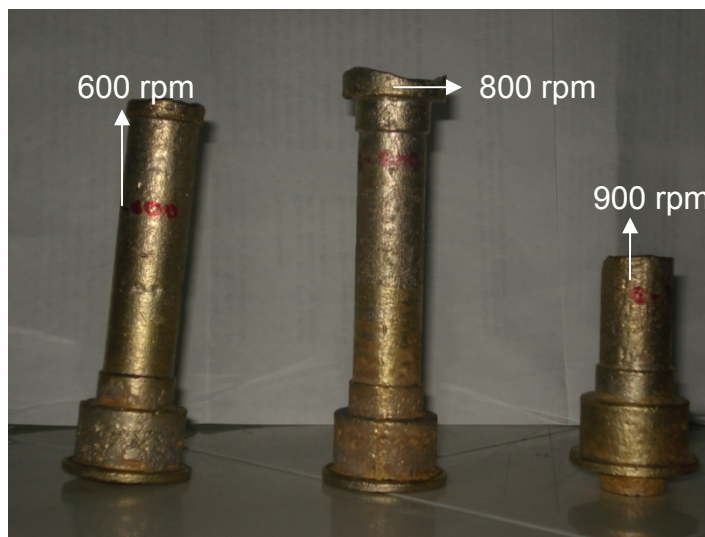


Figura 29. Primera fusión, unto N° 1; conectores obtenidos

**Probeta a 600 rpm**



Figura 30. Primera fusión, unto N° 1

**Probeta a 800 rpm**



Figura 31. Primera fusión, unto N° 1

Probeta a 900 rpm



Figura 32. Primera fusión, unto N° 1

Fusión N° 1 (Unto N° 2)



Figura 33. Primera fusión, unto N° 2

Probeta a 600 rpm



Figura 34. Primera fusión, unto N° 2

Probeta a 800 rpm

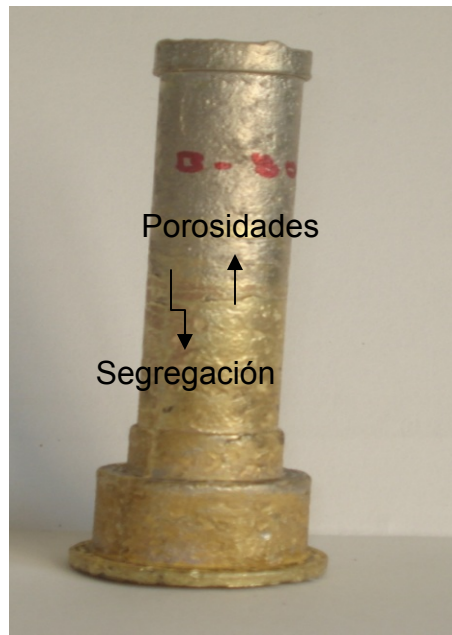


Figura 35. Primera fusión, unto N° 2

### Probeta a 900 rpm



Figura 36. Primera fusión, unto N° 2

### Agujero central de la pieza



Figura 37. Agujero central de la pieza

Después de realizar el proceso de centrifugación, se observó una gran cantidad de defectos superficiales debidos principalmente a errores de diseño y a la imposibilidad de controlar ciertos parámetros fundamentales como lo son la

velocidad de colada y precalentamiento entre otros, obteniéndose con la velocidad de 900 rpm y negro de humo los mejores resultados para este tipo de piezas.

La falta de metal que no permitió el llenado completo de la pieza fue originado por el gradiente de temperatura que generado por el soporte primario que impidió que el metal fluyera con mayor rapidez a través de la coquilla, esto se puede comprobar mediante la temperatura de la coquilla (tabla 6.), debido a que se observa como las piezas centrifugadas que no se llenaron, la temperatura en la sección 2 de la coquilla oscilo entre los 123 y 143 °C.

Así mismo la segregación fue debida a los componentes de aleación de la fundición, ya que estos por tener un bajo punto de fusión generan este tipo defecto a pesar de que no es normal que se presente en este tipo de piezas de pared delgada, se puede presentar en fundiciones centrifugas verticales como horizontales.

La lluvia de metal fue ocasionada por el exceso de metal que se vertió en la coquilla, pues al tener un volumen tan pequeño se hace difícil controlar este tipo de defecto.

Por otra parte cabe resaltar que las piezas son huecas por el tipo de centrifugación y en este caso no se presento ningún inconveniente, las piezas presentaron un agujero simétrico, lo que nos indica que las fuerzas G generadas fueron lo suficientes para producirlo.

**Fusión N° 2.** La carga metálica para elaborar estas muestras, estuvo constituida por materiales puros de Cobre, zinc y aluminio, suministrados por la empresa Penagos Hermanos y la Universidad Industrial de Santander respectivamente.

Con la fusión N° 1, se establecieron los parámetros fundamentales de velocidad de giro (900 rpm) y unto (negro de humo) a recubrir los cuales usaremos en esta fusión.

La temperatura del baño metálico recomendada por la AFS [10], para las de aleaciones de cobre oscilan en el rango de 954 – 1121°C y estos valores se midieron en el crisol y al momento de verter el metal en el sistema, mediante un pirómetro infrarrojo (Ref. Omegascope), obteniendo los siguientes valores:

Tabla 7. Relación de temperaturas en el sistema respecto a los latones para fabricar la coquilla.

		rpm	Temperatura en crisol	Temperatura de Colada	Temperatura en la coquilla	
					sección 1	sección 2
Fusión	Latón 70 - 30	900	1010 °C	970 °C	220 °C	198 °C
		900	970 °C	956 °C	229 °C	152 °C
		900	1024 °C	1010 °C	270 °C	160 °C
	Latón 70 - 30 + 3% de Al	900	1083 °C	997 °C	250 °C	180 °C
		900	1025 °C	1007 °C	270 °C	180 °C
		900	1036 °C	1002 °C	260 °C	212 °C
	Latón 60 - 40	900	1080 °C	1036 °C	430 °C	320 °C
		900	1158 °C	1145 °C	389 °C	262 °C
		900	1170 °C	1156 °C	342 °C	271 °C

Fuente: Autor

Esta fusión corresponde a la serie de latones más ampliamente usados en la industria, así:

### Latón 70% de Cu y 30% de Zn



Figura 38. Latón 70 - 30



Figura 39. Maquinado -1 mm

Latón 70% de Cu y 30% de Zn + 3% de Al (High Brass)



Figura 40. High Brass

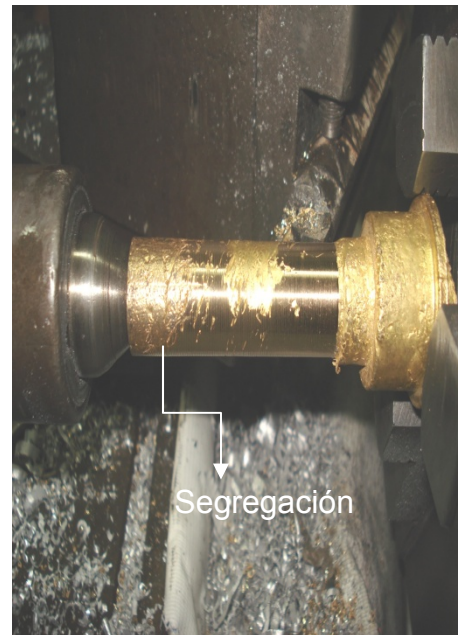


Figura 41. Maquinado - 1mm



Figura 42. Maquinado - 1.3 mm

## Latón 60% de Cu y 40% de Zn

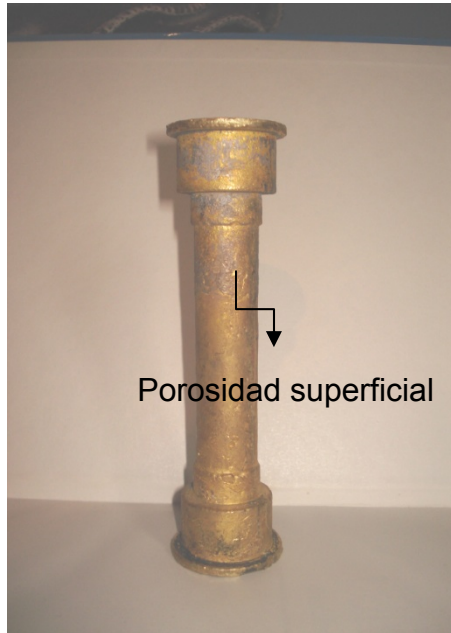


Figura 43. Latón 60 - 40



Figura 44. Maquinado - 1mm

Después de realizar esta fusión, la cantidad de defectos disminuyó considerablemente, se observó un poco de segregación superficial e interna (luego del maquinado) en las aleaciones con las menores temperaturas de colada y de coquilla; mientras que en la última aleación (Latón 60 - 40), no se presentó ningún tipo de segregación solo un poro superficial debido al aire que se encontraba en el interior de la coquilla al momento de colar la pieza.

La segregación también es producto del alto flujo de colada, generado por la caída del metal del crisol al canal de vertido y la disminución del área del mismo del prototipo de centrifugación trae como consecuencia el aumento de la velocidad de colada es decir posee un flujo turbulento y ya que los tiempos de solidificación son muy cortos la fundición no tiene el tiempo necesario de estabilizarse manifestando este tipo de defecto (ver figura 45), con un espesor de segregación mayor al deseado; por ende se realizará un mayor control del flujo de colada en la próxima fusión.

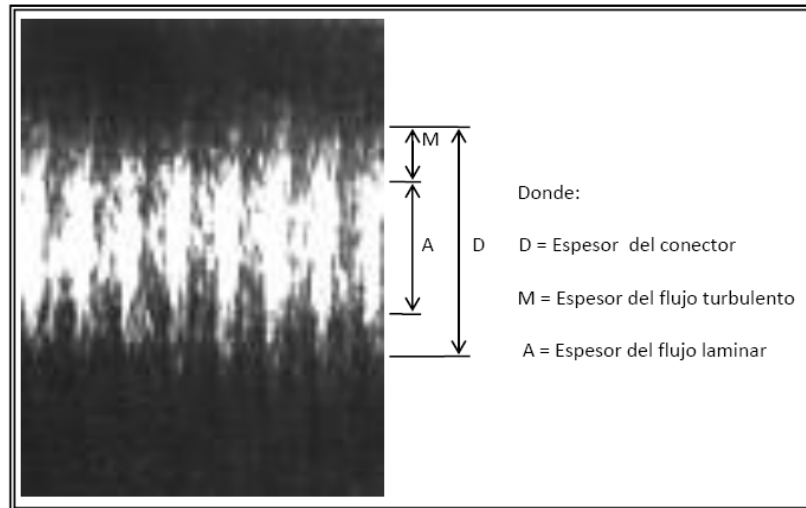


Figura 45. Tipos de flujos en relación al espesor del conector

Nuevamente la falta de metal no permitió el llenado completo de las piezas, en las dos primeras aleaciones este defecto fue originado por el gradiente de temperatura generado por el soporte primario que impidió que el metal fluyera con mayor fluidez a través de la coquilla, esto se deduce observando que las piezas centrifugadas que no se llenaron completamente (Latón 70 – 30 y Latón de alta resistencia) el gradiente fue muy alto ( ver tabla 7.), a pesar de que el latón de alta resistencia contiene como elemento aleante aluminio, el cual aumenta su colabilidad esto no influyo considerablemente en el llenado de la pieza; mientras en la aleación (Latón 60 - 40) no se presento este defecto, producto de las altas temperaturas en la coquilla oscilantes entre 262 y 320 °C, con lo cual aumento significativamente la colabilidad disminuyendo este defecto; para tal fin en la próxima fusión se reducirá el espesor del soporte primario de la coquilla para minimizar el gradiente de temperatura que impide que las piezas se llenen por completo. La temperatura en la sección 2 de la coquilla oscilo entre los 198 y 212 °C. Por otra parte cabe resaltar que las piezas son huecas por el tipo de centrifugación y en este caso no se presento ningún inconveniente, las piezas presentaron un agujero simétrico y mucho más definido que en las fusión anterior, lo que nos indica que la fuerza G (900 rpm) generada fue la indicada para producirlo, como se muestra en la figura 46.



Figura 46. Agujero central de la pieza

### Fusión N° 3

La carga metálica para elaborar estas muestras fue la misma que constituyo la anterior fusión, solo se usaron las aleaciones de latón de alta resistencia y latón 60 – 40 pues con ellos se observaron los mejores resultados.

Con la fusión N° 2, se estableció que los espesores del soporte primario deben disminuir para así lograr equiparar las temperaturas en toda la extensión de la coquilla y además la necesidad de controlar el flujo de metal para mejorar el acabado superficial con la disminución del flujo de colada turbulento de las piezas; para tal fin, se realizaron los siguientes cambios en el diseño del prototipo:

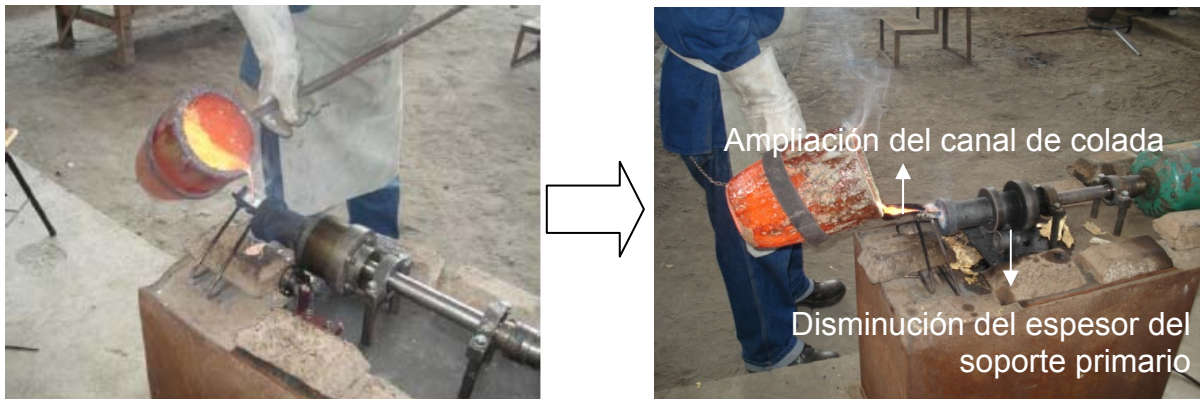


Figura 47. Modificaciones al diseño del prototipo de centrifugación

Siguiendo las recomendaciones de temperatura del baño metálico de la AFS para este tipo de fundiciones y además observando el comportamiento del tiempo de colada para observar su influencia, se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 8. Relación de temperaturas y tiempos de colada en el sistema respecto a los latones para fabricar la coquilla.

		rpm	°C en crisol	°C de Colada	°C en la coquilla		Tiempo de colada	Vel. de colada
					sección 1	sección 2		
Fusión	Latón 60 - 40	900	1010 °C	970 °C	312 °C	300 °C	10 s	2,5 cm/s
		900	1020 °C	956 °C	320 °C	310 °C	9 s	2,7 cm/s
		900	1110 °C	1010 °C	350 °C	301 °C	8 s	3,2 cm/s
	High Brass	900	1130 °C	1057 °C	380 °C	302 °C	10 s	2,5 cm/s
		900	1180 °C	1097 °C	370 °C	331 °C	4 s	6,3 cm/s
		900	1200 °C	1123 °C	332 °C	335 °C	5 s	5,0 cm/s

Fuente: Autor

### Latón 60% de Cu y 40% de Zn



Figura 48. Latón 60 - 40



Figura 49. Maquinado - 1 mm

### Latón 70% de Cu y 30% de Zn + 3% de Al (High Brass)



Figura 50. High Brass



Figura 51. Maquinado – 1 mm

Después de realizar esta fusión, la cantidad de defectos es casi nula en los latones de alta resistencia, solo se presentó rugosidad superficial producto de las aplicaciones sucesivas del unto sin la remoción de la capa anterior del mismo; mientras que en los latones 60 – 40 se observa un poco de segregación y porosidades producto del aire en la coquilla.

La segregación disminuyó considerablemente producto de la modificación del canal de vertido de colada, que regula el flujo de metal en la coquilla, respecto a los tiempos de llenado se observa que las piezas que presentan menor segregación tienen velocidades de llenado entre los 5 y 6,3 cm/s; tiempos suficientes para el llenado de la coquilla evitando que el aire sea arrastrado o quede atrapado en el interior de la pieza.

Las altas temperaturas presentadas en la coquilla por la modificación del prototipo de centrifugación, permitieron equiparar las temperaturas en las secciones de la misma y estas corresponden a 300 y 380 °C respectivamente, consecuencia de ello aumentó la colabilidad del sistema permitiendo el llenado de las piezas por completo.

Respecto a los agujeros de las piezas no se presentó ningún inconveniente por los motivos mencionados en apartes de las fundiciones anteriores.

### 3.5.2 Análisis metalográfico de las aleaciones consideradas

#### Latón 70 - 30

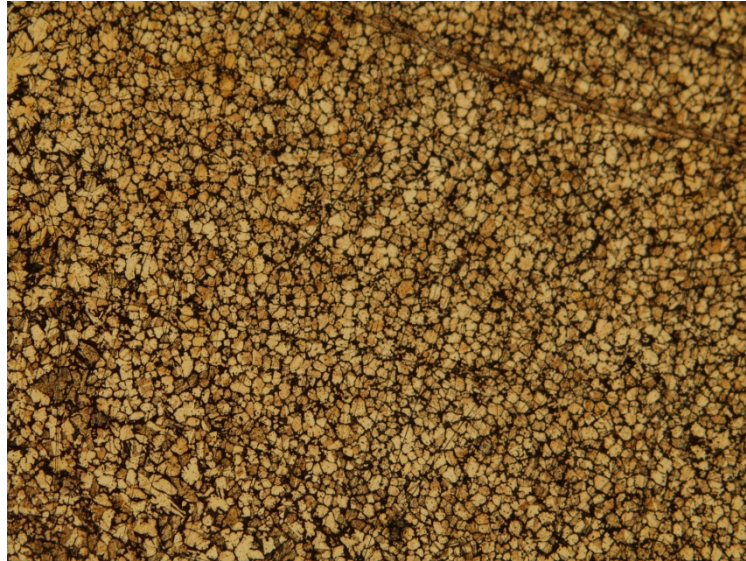


Figura 52. Metalografía Latón 70 – 30 a 100x

La muestra analizada presenta un diámetro de grano de  $0,010 \text{ mm}^2$  definido por la norma E112.- 96 y corresponde a la fase  $\alpha$ , la cual posee una estructura cubica centrada en las caras.

#### Latón de alta resistencia

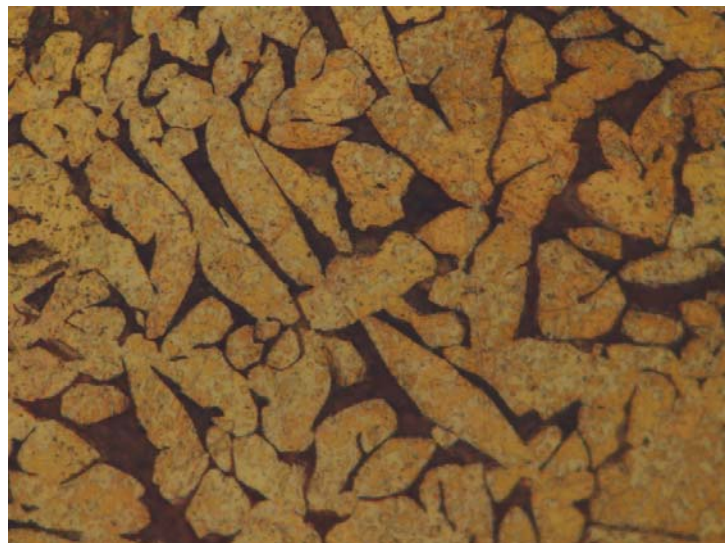


Figura 53. Metalografía de alta resistencia a 100x

La muestra analizada presenta un diámetro de grano de  $0,0635 \text{ mm}^2$  definido por la norma E112.- 96, el cálculo del porcentaje de zinc equivalente se deriva de la siguiente expresión:

$$A = (1,0x\%Sn) + (5,0x\%Al) - (0,5x\%Mn) - (0,1x\%Fe) - (2,3x\%Ni)$$

$$A = (5,0 \times 3) \Rightarrow A = 15$$

$$Zn \text{ equivalente} = 100 - \frac{100 \times \%Cu}{100 + A}$$

$$Zn \text{ equivalente} = 100 - \frac{100 \times 70}{100 + 15} \Rightarrow Zn \text{ equivalente} = 39,13\% \text{ de Zn}$$

El porcentaje de zinc equivalente corresponde a las fases  $\alpha$  y  $\beta'$ , esta última es mucho más dura y fuerte que la fase  $\alpha$ , por ende posee una fase resistente con un núcleo más dúctil proporcionando una aleación más versátil en múltiples aplicaciones industriales que los latones monofásicos; este latón además posee una estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo.

#### latón 60 - 40

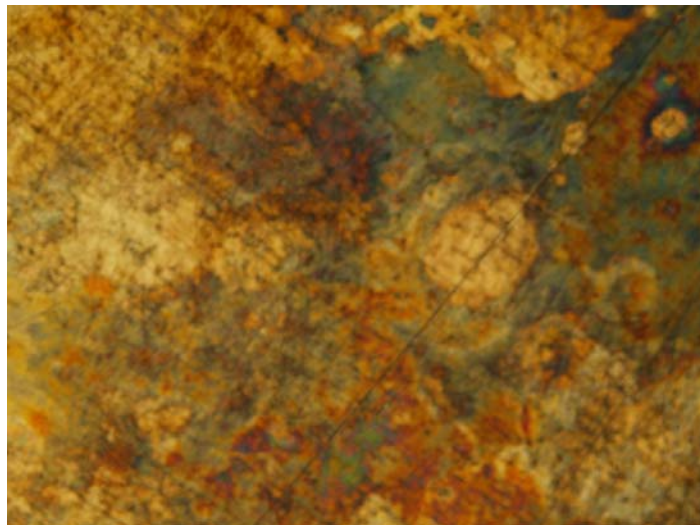


Figura 54. Metalografía Latón 60 – 40 a 100x

La muestra analizada presenta un diámetro de grano de  $0,0225 \text{ mm}^2$  definido por la norma E112.- 96 y corresponde a las fases  $\alpha$  y  $\beta'$  en el diagrama de equilibrio Cu – Zn y posee características similares al latón de alta resistencia proporcionadas por su matriz bifásica.

## CONCLUSIONES

- Las conclusiones que a continuación se indican, se desprenden de las mejores piezas obtenidas y estas a su vez se derivan de los valores de las variables con los cuales se obtuvieron los mejores resultados, definidas en el plan de proyecto.
  - ✓ Velocidad de giro de la maquina 900 rpm.
  - ✓ Unto con el cual se obtuvo un mejor acabado superficial, negro de humo.
  - ✓ Temperatura de la coquilla entre los 260 - 320°C.
  - ✓ Aleación que mejor se adapta a la fabricación de la pieza, latón de alta resistencia (70% de Cu y 30% de Zn; + 3% de Al).
  - ✓ Temperatura de colada entre 954 – 1121°C, esta variable es dependiente del espesor delgado de la pieza.
- De los untos valorados solo con el negro de humo se obtuvieron los mejores resultados debido a la creación de una atmosfera reductora evita la oxidación de la aleación.
- La cantidad de defectos es proporcional a la velocidad de colada e inversamente proporcional a la pureza de la aleación; es decir, si esta es demasiado alta se originan mayor cantidad de defectos.
- La coquilla metálica y su soporte deben poseer espesores de pared delgados para aumentar la colabilidad de la fundición.

## RECOMENDACIONES

- Usar como unto solo el negro de humo debido a que se obtuvieron los mejores resultados. La creación de una atmosfera reductora evita la oxidación de la aleación.
- Aplicar el unto en seco sin aglomerantes. La presencia del aglomerante no permite una aplicación homogénea por la formación de grumos en su extensión.
- Desgasificar la aleación líquida, para evitar la presencia de poros e inclusiones en la pieza.
- Seleccionar la chatarra de cobre, zinc y aluminio.
- Controlar la limpieza de la coquilla con elementos abrasivos que no deterioren su acabado superficial, esta debe efectuarse al terminar cada fusión.
- Evaluar mediante ensayo de torsión las piezas, debido a que esta prueba no pudo ser desarrollada por la imposibilidad de acceder a una maquina en funcionamiento en Bucaramanga.
- Evaluar el comportamiento de las piezas en los ambientes corrosivos a los cuales será sometida en funcionamiento la pieza.
- Evaluar el comportamiento del llenado de la coquilla mediante simulación para reducir el espesor de la capa de segregación.

- Implementar un serpentín de cobre en el cual circule agua para refrigerar el sistema y así evitar el desgaste de los rodamientos y de las piezas que conforman el prototipo de centrifugación.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] BEELEY P.R, Foundry Technology.1972. University of Leeds. p. 490 - 509.
- [2] HEINE R, LOPER C.R, ROSENTHAL P, Principles Of Metal Casting.1957. University of Wisconsin. p. 49 – 50.
- [3] GERIN S, Cast Metal Technology.1972. The Pennsylvania State University. p. 52- 54.
- [4] ASTM. *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. E 3 – 01. 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA, USA: ASTM, 2001.
- [5] MELGAREJO H, SUAREZ M, KUMAR. Microstructure and properties of functionally graded Al–Mg–B composites fabricated by centrifugal casting. University of Wisconsin-Madison, University of Puerto Rico – Mayagüez. Received 8 May 2007; accepted 7 April 2008. p.1150 – 1158.
- [6] CHIRITA G, SOARES D, SILVA F.S. Advantages of the centrifugal casting technique for the production of structural components with Al–Si. 2008. Minho University. Received 12 Jun 2006; accepted 12 December 2006. p. 20 – 27.
- [7] VERGARA D.E,SALAZAR N.V, Centrifuged casting of a Copper alloy using ceramic moulds. 1997.Universidad de Concepcion. p. 765- 769.
- [8] ASTM. Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings. A 247 –07. 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA, USA: ASTM, 2001.

- [9] RODRIGUEZ G.N, DEFECTOS DE FUNDICIÓN EN LAS CAMISAS CENTRIFUGADAS DE LALINEA INDUSTRIAL EN INDUSTRIAS LAVCO.2008. Universidad Industrial de Santander. p. 45.
- [10] COPPER-BASE ALLOYS FOUNDRY PRACTICE. 1965. AFS, 3<sup>th</sup> edition. p 73 – 75.
- [11] LAS PROPIEDADES DE LA FUNDICION. 2009. Universidad Industrial de Santander, 2<sup>da</sup> edición. p 331 - 340.
- [12] ASTM. Standard Practice for Microetching Metals and Alloys. E 407 – 07. 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA, USA: ASTM, 2001.**
- [13] ASTM. Standard Test Methods for Determining Average Grain Size. E 112 – 96(2004)e2. 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA, USA: ASTM, 2001.**