

RECUPERACIÓN DE RETORNOS DE ZAMAK NIQUELADO PARA LA  
ELABORACIÓN DE ALEACIONES CON ALTO CONTENIDO DE ALUMINIO  
(FANTAXIAS)

LINDA VANESSA ROJAS FLÓREZ  
ELKIN AUGUSTO HERNÁNDEZ RINCÓN

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

2013

RECUPERACIÓN DE RETORNOS DE ZAMAK NIQUELADO PARA LA  
ELABORACIÓN DE ALEACIONES CON ALTO CONTENIDO DE ALUMINIO  
(FANTAXIAS)

LINDA VANESSA ROJAS FLÓREZ

ELKIN AUGUSTO HERNÁNDEZ RINCÓN

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

BUCARAMANGA

2013

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios que nos dio sabiduría, fortaleza, salud y vida para lograr culminar nuestro proyecto de grado.

A los profesores de la universidad industrial de Santander y en especial a todos los profesores de la escuela de ingeniería metalúrgica y ciencia de los materiales, que a lo largo de toda la carrera nos ayudaron a forjar nuestros conocimientos.

Al ingeniero Eduardo Niño que nos abrió las puertas de la empresa FANTAXIAS S.A.S y nos ayudó en la realización de nuestro proyecto de grado.

Al profesor Arnaldo Alonso Baquero, director del proyecto, por su permanente acompañamiento y acertadas indicaciones a lo largo de todo el trabajo de grado.

A María Villabona, David Villa y al ingeniero Edwin Blanco, por su colaboración durante el desarrollo de nuestro proyecto

A mi compañero(a) que con su apoyo, empeño y dedicación logramos culminar nuestros objetivos.

A los laboratorios de Difracción de Rayos X y Microscopia Electrónica de Barrido por su colaboración en el análisis de diferentes muestras.

A la Universidad industrial de Santander por formar profesionales con alta calidad humana, académica y competitiva.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
INTRODUCCIÓN .....	16
1. OBJETIVOS.....	17
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	17
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	18
2.1 ESTADO DEL ARTE.....	18
2.2 MARCO TEORICO.....	20
2.2.1 Sistema zinc – aluminio.....	20
2.2.2 Microestructura de aleaciones de zinc con alto contenido de aluminio.....	22
2.2.3 Especificaciones de aleaciones base zinc. ....	24
2.2.4 Efecto de los elementos de aleación. ....	27
2.2.5 Efecto de las impurezas.....	28
2.2.6 Procesos de fabricación.....	30
3. MATERIALES Y EQUIPOS .....	32
3.1 Materiales utilizados.....	32
3.2 Equipos utilizados.....	32
4. METODOLOGÍA.....	34
4.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	34
4.2 SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES.....	34
4.3 ELABORACIÓN DE LAS ALEACIONES .....	35
4.4 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES.....	36
4.5 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	39
4.6 ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS.....	39
5. PROCEDIMIENTO.....	40

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	42
6.1 PROPIEDADES DE FUNDICIÓN.....	47
6.1.1 Colabilidad.....	48
6.1.2 Susceptibilidad al agrietamiento en caliente.....	49
6.1.3 Contracción.....	50
6.2 PROPIEDADES MECÁNICAS.....	50
6.3 METALOGRAFÍA DE LAS ALEACIONES.....	52
6.4 PROTOTIPO.....	54
7. CONCLUSIONES.....	59
8. RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
BIBLIOGRAFÍA.....	63
ANEXOS.....	65

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Nomenclatura según normas internacionales.....	25
<b>Tabla 2.</b> Especificaciones químicas de las aleaciones Zn – Al.....	26
<b>Tabla 3.</b> Procesos de fabricación de las aleaciones Zn-Al .....	31
<b>Tabla 4.</b> Datos de las cargas para la elaboración de las aleaciones .....	46
<b>Tabla 5.</b> Porcentajes de contracción .....	50
<b>Tabla 6.</b> Resultados obtenidos en las pruebas de tracción y dureza.....	51

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Sistema binario Zinc – Aluminio.....	21
<b>Figura 2.</b> Microestructura típica de la aleación Zn-8%Al en estado fundido.....	22
<b>Figura 3.</b> Microestructura típica de la aleación Zn-12%Al en estado fundido .....	23
<b>Figura 4.</b> Microestructura típica de la aleación Zn-16%Al en estado fundido.....	23
<b>Figura 5.</b> Horno de crisol (Escuela de Ingeniería Metalúrgica. UIS).....	32
<b>Figura 6.</b> Diagrama de flujo de la metodología para el desarrollo del proyecto.....	34
<b>Figura 7.</b> Retornos de Zamak niquelado y moldes elaborados en arena .....	35
<b>Figura 8.</b> Dimensiones para probetas de contracción .....	36
<b>Figura 9.</b> Placa modelo y plano de la probeta de colabilidad .....	37
<b>Figura 10.</b> Placa modelo y plano de la probeta de susceptibilidad al agrietamiento en caliente (medidas en cm).....	37
<b>Figura 11.</b> Coquilla y Plano de la coquilla para realizar probetas de tracción .....	38
<b>Figura 12.</b> Fusión de Zamak niquelado .....	42
<b>Figura 13.</b> Microestructura de Zamak niquelado a 440 °C y 200x .....	44
<b>Figura 14.</b> Microestructura Zamak niquelado a 660 °C y 200x .....	44
<b>Figura 15.</b> Microestructura de Zamak niquelado por encima de 770 °C y 200x....	45
<b>Figura 16.</b> Medidas de temperatura luego de sacar el crisol del horno.....	47
<b>Figura 17.</b> Probetas de colabilidad obtenidas con las aleaciones ZA8, ZA12 y ZA16 .....	48
<b>Figura 18.</b> Probetas de agrietamiento en caliente aleación ZA8.....	49
<b>Figura 19.</b> Probetas de ZA12 para realizar ensayo de tracción .....	51
<b>Figura 20.</b> Micrografía de la aleación ZA8 obtenida a 200x .....	52
<b>Figura 21.</b> Micrografía de la aleación ZA12 obtenida a 200x .....	53
<b>Figura 22.</b> Micrografía de la aleación ZA16 obtenida a 200x .....	53
<b>Figura 23.</b> Horno empleado para la elaboración del prototipo .....	54

**Figura 24.** Máquina de inyección en cámara fría .....55  
**Figura 25.** Coquilla empleada para elaborar manijas.....55  
**Figura 26.** Prototipo recién salido del molde .....56  
**Figura 27.** Manijas elaboradas con la aleación ZA12.....57

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo A.</b> Difractograma de la escoria de Zamak niquelado (Ensayo DRX) .....	65
<b>Anexo B.</b> Análisis Espectrometría de Emisión Óptica.....	66
<b>Anexo C.</b> Resultados Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) .....	67
<b>Anexo D.</b> Resultados finales de las aleaciones.....	69
<b>Anexo E.</b> Propiedades de las aleaciones Zn-Al .....	70

## RESUMEN

**TÍTULO:** RECUPERACIÓN DE RETORNOS DE ZAMAK NIQUELADO PARA LA ELABORACIÓN DE ALEACIONES CON ALTO CONTENIDO DE ALUMINIO. \*

**AUTORES:** ROJAS FLÓREZ, Linda. HERNÁNDEZ RINCÓN, Elkin. \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Zamak, fundición, colada por gravedad, aleación de zinc con alto contenido de aluminio.

### DESCRIPCIÓN:

Zamak es el nombre comercial con el que se conoce a la aleación compuesta principalmente por zinc y aluminio y con menores cantidades de magnesio y cobre en un rango de composición química, así mismo las aleaciones de zinc con alto contenido de aluminio denominadas ZA se emplean para remplazar estas aleaciones debido a su mejora en diferentes propiedades.

La empresa FANTAXIAS S.A.S, tiene 24 años de experiencia en la fabricación de piezas decorativas, accesorios de ferretería, productos industriales y regalos empresariales, a partir de procesos de moldeo como: estampado, centrifugación y coquilla a presión en cámara fría y caliente. En el moldeo por inyección las aleaciones de zinc denominadas Zamak son usadas como materia prima, en la actualidad incursionan en la inyección de aleaciones aluminio para la obtención de piezas más livianas.

Muchas de las piezas elaboradas por la empresa deben ser tratadas en baños químicos para lograr un buen acabado final. Durante el proceso, muchas de las piezas se rechazan al no cumplir con los estándares de calidad exigidos. Por esto la empresa FANTAXIAS S.A.S emprende un nuevo proyecto en la elaboración de nuevas aleaciones utilizando retornos de Zamak.

Se recuperó retornos de Zamak niquelado proveniente de la empresa FANTAXIAS S.A.S y se elaboraron aleaciones con alto contenido de aluminio (ZA8, ZA12 y ZA16) por el método de moldeo por gravedad. Por diversos ensayos se determinaron las propiedades de dichas aleaciones y se escogió la aleación que mejor se comportara para elaborar piezas que la empresa FANTAXIAS S.A.S trabaja y así darle una solución a la recuperación de estos retornos.

---

\* Trabajo de grado.

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

## ABSTRACT

**TITLE:** RECOVERY OF RETURNS OF NICKELED ZAMAK FOR THE DEVELOPMENT OF ALLOYS WITH HIGH ALUMINUM CONTENT. \*

**AUTHORS:** ROJAS FLÓREZ, Linda. HERNÁNDEZ RINCÓN, Elkin. \*\*

**KEYWORD:** Zamak, casting, gravity casting, alloys of zinc with high aluminum content.

### DESCRIPTION:

Zamak is the trade name to which is known the alloy composed mainly of zinc and aluminum and minor amounts of magnesium and copper in a range of chemical composition, also the zinc alloys with high aluminum content called ZA are used for replace these alloys due to their improvement in various properties.

The company FANTAXIAS S.A.S, has 24 years of experience in the manufacture of decorative pieces, ironmongery accessories, industrial products and corporate gifts, from molding processes such as pressing, centrifugation and die casting in hot and cold chamber. In injection molding the zinc alloys called Zamak are used as raw materials, currently tap into the aluminum alloy injection for obtaining lighter pieces.

Many of the pieces made by the company should be treated in chemical baths to achieve a good finish. During the process, many of the pieces are rejected for not fulfilling required quality standards. Therefore FANTAXIAS SAS Company undertakes a new project in the development of new alloys using Zamak returns.

Se recuperó retornos de Zamak niquelado proveniente de la empresa FANTAXIAS S.A.S y se elaboraron aleaciones con alto contenido de aluminio ZA8, ZA12 y ZA16 por el método de moldeo por gravedad. Por diversos ensayos se determinaron las propiedades de dichas aleaciones y se escogió la aleación que mejor se comportara para elaborar piezas que la empresa FANTAXIAS S.A.S trabaja y así darle una solución a la recuperación de estos retornos.

Returns of nickeled Zamak from the company FANTAXIAS S.A.S was recovered and alloys with high aluminum content (ZA8, ZA12 y ZA16) were prepared by gravity casting method. For various tests were determined the properties of such alloys and was chosen the best performing alloy to develop pieces that the company FANTAXIAS S.A.S works and thus give a solution to the recovery of these returns.

---

\* Degree work

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

## INTRODUCCIÓN

FANTAXIAS S.A.S, es una empresa Santandereana ubicada en la ciudad de Bucaramanga en la calle 28 # 6-56 Barrio Girardot, con 24 años de experiencia en la producción y comercialización de artículos metálicos para la industria del cuero y la confección, herrajes para el mueble y la madera y regalos empresariales. Este desarrollo, conseguido a través de años de experiencia, les permite tener presencia en los principales mercados latinoamericanos y en todo el país; obteniendo así en el 2003 la certificación de la norma ISO 9001 por la SGS y en el proceso de implantar la norma ISO 14000 e ISO 18000.

Principalmente utiliza aleaciones base Zinc (Zamak: aleación de  $\pm 3\%$  de Aluminio, 3% de Cobre, 1% de Magnesio y 93% de Zinc). Utiliza el proceso por centrifugación y el proceso de moldeo en coquilla por presión, permite la producción de grandes volúmenes de piezas de buena calidad y buen acabado superficial.

Muchas de las piezas elaboradas por la empresa deben ser tratadas en baños químicos para lograr un buen acabado final. Durante el proceso, muchas de las piezas se rechazan al no cumplir con los estándares de calidad exigidos. Por esto la empresa FANTAXIAS S.A.S emprende un nuevo proyecto en la elaboración de nuevas aleaciones utilizando retornos de Zamak, para en primer término utilizar dichos retornos que tienen un alto valor económico y en segundo operar con aleaciones más resistentes y que no presenten la corrosión intergranular de la Zamak.

Ante esto la empresa FANTAXIAS S.A.S solicita la colaboración de la escuela de INGENIERIA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, para el estudio de este nuevo proyecto.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Elaborar aleaciones base zinc con altos contenidos de aluminio.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar las propiedades de fundición (colabilidad, agrietamiento en caliente, contracción).
- Evaluar características mecánicas (resistencia a la tracción, alargamiento, dureza).
- Verificar el comportamiento de la aleación en la elaboración de prototipos de piezas.

## 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El Zamak es una aleación de zinc con aluminio, magnesio y cobre; estas aleaciones son muy sensibles a las impurezas debido a que cuando se excede el límite establecido bajan la resistencia mecánica y las propiedades de corrosión. Las piezas son también utilizadas con recubrimientos electro galvánico que aumentan la resistencia a la corrosión. Las piezas hechas en Zamak tienen bajo costo, bajo punto de fusión y buena resistencia mecánica y excelente colabilidad.

### 2.1 ESTADO DEL ARTE

Zamak es el nombre comercial con el que se conoce a la aleación compuesta principalmente por zinc y aluminio y pequeñas cantidades de magnesio y cobre. Esta aleación fue creada en la década de 1920 por la empresa norteamericana *New Jersey Zinc Company* que hoy se conoce con el nombre de *Horsehead Corporation*. El nombre de Zamak proviene del alemán formado por los nombres de los metales que la componen (*Zink, Aluminium, Magnesium, Kupfer*). [1]

La primera aleación base zinc que se desarrolló estaba compuesta de 5% de aluminio y 0,5% de cobre; su mal desempeño se debió al uso de zinc de baja pureza (99,95% de pureza). Esta aleación se conoció con el nombre de Zamak 2 y hoy no se utiliza al menos en Europa. Posteriormente se desarrollaron las aleaciones zinc-aluminio designadas como Zamak 3 y Zamak 5 fueron exitosas en sus aplicaciones y fueron elaboradas usando un zinc de alta pureza (99,99%). Las aleaciones Zamak 3 y Zamak 5 están compuestas de 3.0-5.0% de aluminio y 0.03-1.25% de cobre con pequeñas adiciones de magnesio. Otra variedad de aleaciones de zinc-aluminio con contenidos de 3,5% de aluminio, 1,0% de cobre y 1,0% de magnesio se usan en la industria aeronáutica y automotriz. [2]

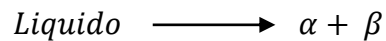
El progreso en el desarrollo de aleaciones de zinc-aluminio se realizó mediante la preparación de dos aleaciones más, conocidas con el nombre comercial de Alzen 305 y Alzen 501. Alzen 305 comprendía 30% de aluminio y 5% de cobre, mientras que Alzen 501 contenía 50% de aluminio y 1% de cobre. Las dos aleaciones funcionaron bastante bien en diversas aplicaciones tribológicas reemplazando al bronce. Esto fue seguido por el desarrollo de tres aleaciones de zinc-aluminio designados como ZA8, ZA12, ZA27. Los dígitos en las designaciones indican el contenido aproximado de aluminio, mientras que las aleaciones también contienen 1-2,5% de cobre y 0,05% de magnesio. Las tres aleaciones han sido ampliamente utilizadas en una variedad de aplicaciones tribológicas como sustitutos eficaces por su menor costo energético que los bronce, fundiciones y aleaciones de aluminio. [2]

El uso de este material ha ido aumentando durante las últimas décadas gracias a sus propiedades físicas, mecánicas y de fundición. Actualmente, las piezas hechas en Zamak son utilizadas en diferentes industrias como construcción, mecánica en general, electrónica, automotriz, eléctrica, juguetería, joyería, decoración, artículos deportivos y telefonía, entre otras. Sus principales usos están orientados a la elaboración de piezas como carburadores, cerraduras para puertas, carcasas, armaduras, bases para licuadoras y planchas, hebillas para cinturones, herrajes para zapatos, etc. También tiene aplicaciones en maquinarias y herramientas en general, plomería, aparatos de calefacción, equipos de oficina y productos ópticos, entre muchos otros. [1]

## 2.2 MARCO TEORICO

### 2.2.1 Sistema zinc – aluminio.

El sistema binario Zn-Al (Figura 1), es la base para la elaboración de las aleaciones comerciales desarrolladas para fundición a presión y por gravedad. Este muestra una transformación eutéctica a una temperatura de 382°C y una composición de 5% de aluminio, dada por la reacción:



El sistema Zn-Al posee muchas aplicaciones tecnológicas en la zona de composición cercana a la eutéctica, aproximadamente Zn-5%Al en peso debido a su característica de resistencia a la corrosión.

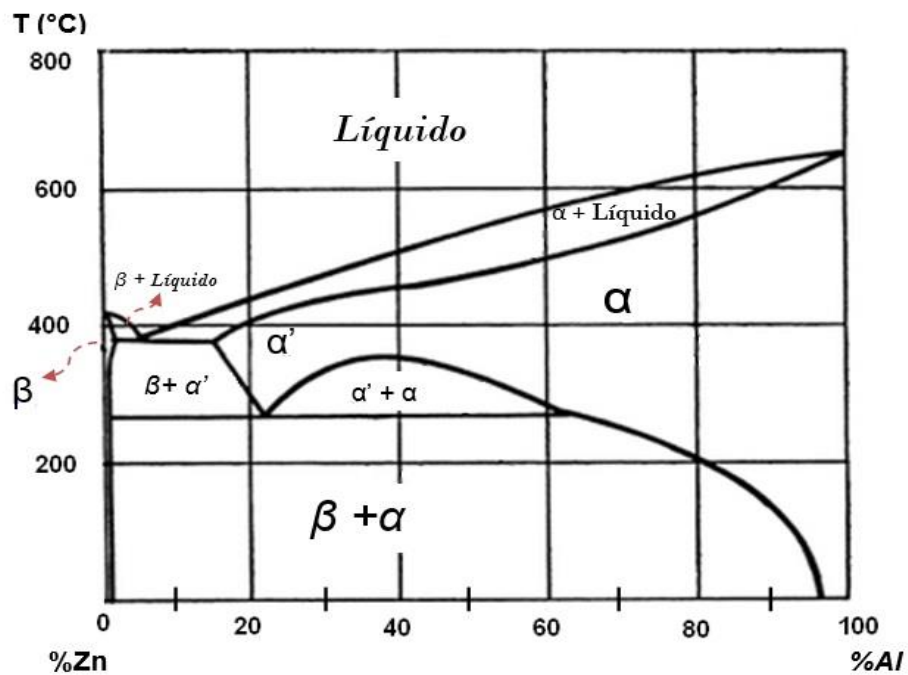
En composiciones hipoeutécticas, el sistema presenta un camino de solidificación tal que formará una fase primaria rica en Zn (fase  $\beta$ ) de estructura hexagonal compacta (HCP). Esta fase puede ser homogénea con composición de hasta el 1,1 % Al en peso aproximadamente y se caracteriza por ser estable a temperatura ambiente. Aún con esta composición puede desarrollar una segunda fase por transformación en estado sólido al disminuir la temperatura, como puede observarse en el diagrama de fases de la Figura 1. Esta segunda fase (fase  $\alpha$ ) tiene una estructura cúbica, más rica en aluminio. Las aleaciones hipoeutécticas de composición por encima del límite de solubilidad, presentarán una mayor cantidad de esta fase rica en aluminio y solidificación final de líquido de composición eutéctica. [3][4]

Composiciones mayores que la eutéctica (hipereutécticas) permite la formación de una fase primaria cúbica rica en aluminio y la solidificación final de líquido eutéctico. [3]

En el diagrama Zn-Al (Figura 1) se puede observar una fase  $\alpha'$  una posible explicación a la aparición de esta fase puede ser que las aleaciones de zinc-

aluminio (debido al ancho rango de solidificación) sufren de un defecto denominado USD (underside shrinkage defects). Barnhurst, et al. <sup>\*\*\*</sup> sostienen que este fenómeno está relacionado a la forma de solidificación de las dendritas, cuyo crecimiento se detiene, al alcanzar 70% de sólido, y que en ese momento la USD se forma debido al flujo interdendrítico de corta distancia. Bajo condiciones normales de enfriamiento, el USD es acompañado por una mínima cantidad de segregación en la aleación Zn-27% Al. El proceso de solidificación que tiene lugar en y desde la parte superior a la inferior, produce que el líquido rico en zinc se concentre en la parte inferior de la aleación. Esto es reflejado en el gradiente de composición entre la parte superior e inferior, donde la fase rica en zinc es la última en solidificar. [5]

**Figura 1. Sistema binario Zinc – Aluminio**



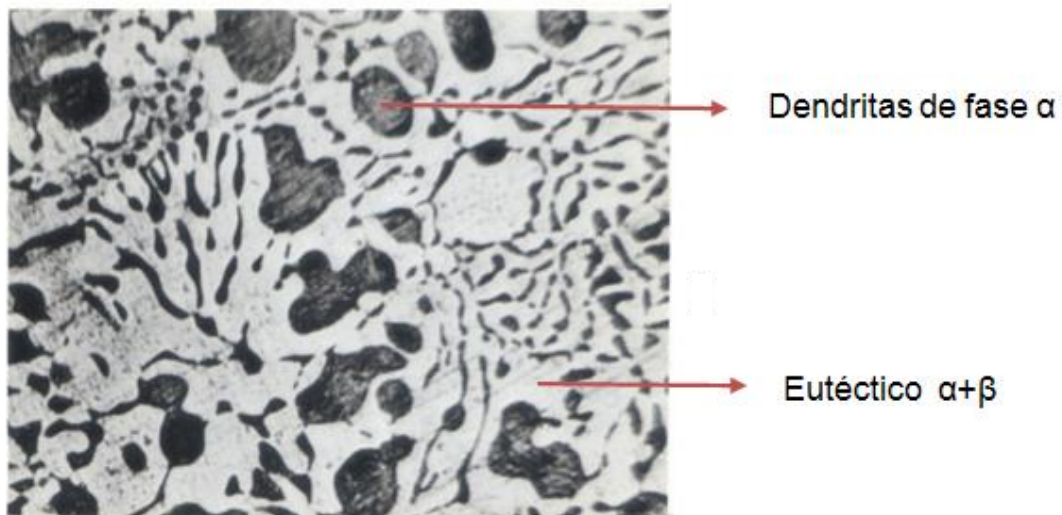
Fuente: [http://depts.washington.edu/mti/1999/labs/metals/al\\_zn\\_alloy.html](http://depts.washington.edu/mti/1999/labs/metals/al_zn_alloy.html)

<sup>\*\*\*</sup> Barnhurst, R. J.; Gervais, E., AFS Transactions, 93. (1985) 591-602

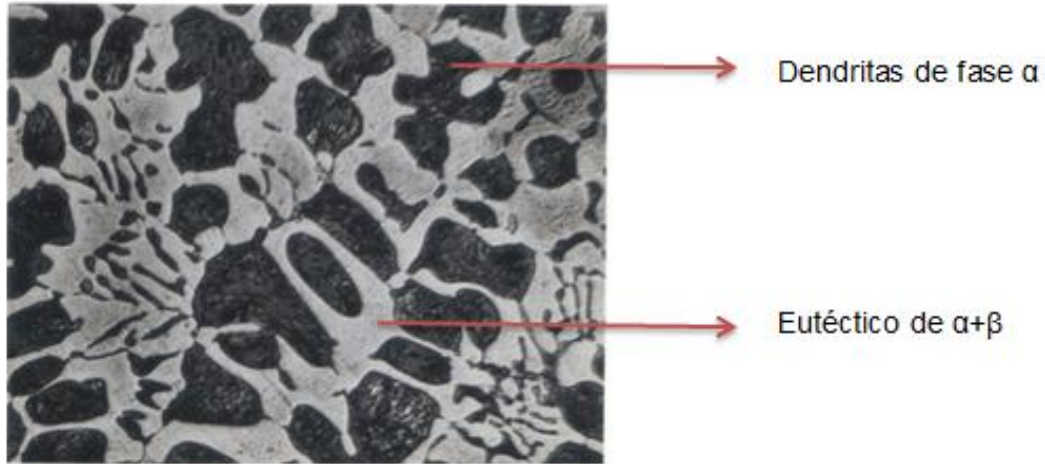
### 2.2.2 Microestructura de aleaciones de zinc con alto contenido de aluminio.

La microestructura de las aleaciones base zinc con 8 a 16% de aluminio, consta principalmente de dendritas primarias de fase alfa rodeadas por un eutéctico de alfa más beta. La cantidad de fase alfa formada depende del porcentaje de aluminio, de manera que a medida que este aumenta, la cantidad de dendritas de fase alfa rica en aluminio es mayor, y disminuye la cantidad de eutéctico formado a alta temperatura, esto se puede observar en las figuras 2, 3 y 4, las cuales fueron tomadas a 250X y atacadas con solución alcohólica de HCl y FeCl<sub>3</sub>. Estos cambios en la microestructura producen una disminución de las propiedades de resistencia al impacto. [4]

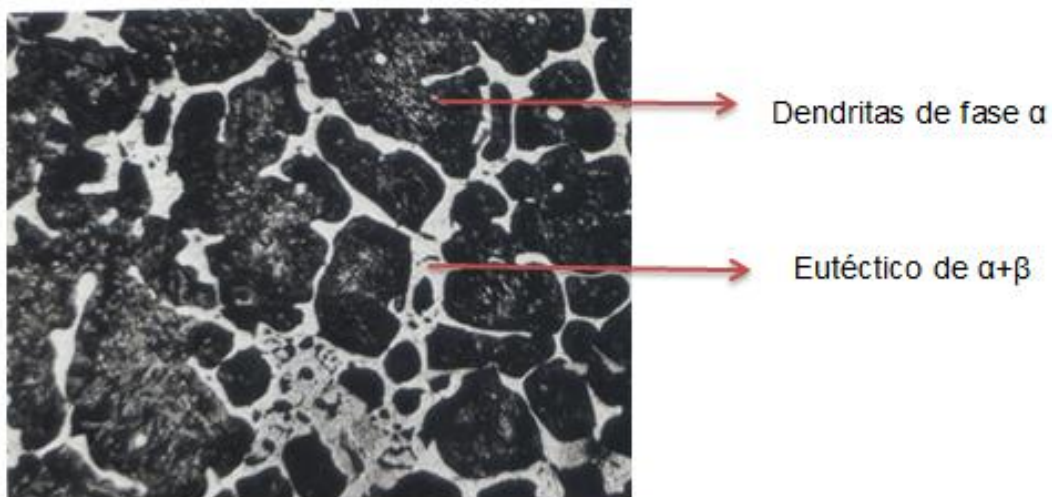
**Figura 2. Microestructura típica de la aleación Zn-8%Al en estado fundido**



**Figura 3. Microestructura típica de la aleación Zn-12%Al en estado fundido**



**Figura 4. Microestructura típica de la aleación Zn-16%Al en estado fundido**



Fuente: MEZA MARTINEZ, Euclides Andino; FLORES SCHNEIDER, Gabriel Arturo. Elaboración y Caracterización de Algunas Propiedades de las Aleaciones Base Zinc con alto contenido de Aluminio (8-16%).

### **2.2.3 Especificaciones de aleaciones base zinc.**

Según el porcentaje de elementos aleantes se pueden distinguir diferentes tipos de aleaciones Zn – Al las cuales tienen atributos particulares en función del producto a obtener, a continuación se indican la nomenclatura según las normas internacionales y la composición química para cada una de estas:

#### **2.2.3.1 Nomenclatura.**

La nomenclatura tradicional para las aleaciones de zinc establecidas utilizan el prefijo ZAMAK el cual fue ideado en base de los principales elementos presentes: *zinc, aluminio, magnesio y kopper* (cobre). Aleaciones de zinc-aluminio usan el prefijo ZA seguido por su contenido de aluminio aproximado. Estos términos son de uso común. [6]

Las designaciones ASTM se basan en la química de la aleación. La primera letra, A, se refiere al principal elemento aleante, aluminio. La segunda letra, G (magnesio) o C (cobre), se refiere al segundo elemento aleante más significativo. El primer número, 4, se refiere al contenido nominal de aluminio. El segundo número se refiere al contenido nominal del segundo elemento aleante más significativo. La última letra, A o B, distingue entre aleaciones de composición similar. Antes de la adopción de este sistema de designación por la ASTM, las aleaciones eran identificadas por números romanos, por ejemplo, XXI, XXIII y XV designadas como AC43A, AG40A y AC41A, respectivamente. [6]

La nomenclatura UNS se establece como parte de un Sistema de Numeración Unificado para proporcionar una designación única para cada grado de aleación de metal y de uso en todo el mundo. Las aleaciones de zinc comienzan con el prefijo "Z" seguida de cinco números. El primer dígito se basa en el principal elemento de aleación, el segundo dígito proporciona una mayor sub-clasificación basada en elementos de aleación secundarios y terciarios, el tercer dígito designa la composición nominal del principal elemento de aleación, el cuarto dígito designa la concentración nominal del segundo elemento de aleación más importante, y el

quinto dígito permite un número único que se establece para diferenciar entre composiciones similares. [6]

**Tabla 1. Nomenclatura según normas internacionales**

	Norma		
	Tradicional	ASTM	UNS
<b>Aleación 3</b>	Zamak 3	AG40A	Z33520
<b>Aleación 7</b>	Zamak 7	AG40B	Z33523
<b>Aleación 5</b>	Zamak 5	AC41A	Z35531
<b>Aleación 2</b>	Zamak 2	AC43A	Z35541
<b>ZA-8</b>	ZA-8	-	Z35636
<b>ZA-12</b>	ZA-12	-	Z35631
<b>ZA-27</b>	ZA-27	-	Z35841

Fuente: ASTM B86-11. *Standard Specification for Zinc and Zinc-Aluminum (ZA) Alloy Foundry and Die Castings*. Traducido por los autores del libro.

### 2.2.3.2 Composición química:

La composición química de las aleaciones Zinc- Aluminio se presenta en la tabla 2. Piezas fundidas de Zn-Al pueden contener níquel, cromo, silicio y magnesio en cantidades de 0,02, 0,02, 0,035 y 0,06% respectivamente. Así mismo para fundición por gravedad y a presión estas aleaciones pueden contener cromo, manganeso o níquel en cantidades de hasta 0,01% o un total de 0,03%. No se han encontrado efectos nocivos debido a la presencia de estos elementos en estas concentraciones y, por lo tanto, no son necesarios análisis para estos elementos, con la excepción de análisis de níquel para Zamak 7. [6]

**Tabla 2. Especificaciones químicas de las aleaciones Zn – Al**

Elemento	Zamak 3	Zamak 7	Zamak 5	Zamak 2	ZA-8	ZA-12	ZA-27
<b>Aluminio</b>	3,7-4,3	3,7-4,3	3,7-4,3	3,7-4,3	8,0-8,8	10,5-11,5	25,0-28,0
<b>Magnesio</b>	0,02-0,06	0,005-0,02	0,02-0,06	0,02-0,06	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,02
<b>Cobre</b>	0,1 Max.	0,1 Max.	0,7-1,2	2,6-3,3	0,8-1,3	0,5-1,2	2,0-2,5
<b>Hierro</b>	0,05 Max.	0,05 Max.	0,05 Max.	0,05 Max.	0,075 Max.	0,075 Max.	0,075 Max.
<b>Plomo</b>	0,005 Max.	0,003 Max.	0,005 Max.	0,005 Max.	0,006 Max.	0,006 Max.	0,006 Max.
<b>Cadmio</b>	0,004 Max.	0,002 Max.	0,004 Max.	0,004 Max.	0,006 Max.	0,006 Max.	0,006 Max.
<b>Estaño</b>	0,002 Max.	0,001 Max.	0,002 Max.	0,002 Max.	0,003 Max.	0,003 Max.	0,003 Max.
<b>Níquel</b>	-	0,005-0,02	-	-	-	-	-
<b>Zinc</b>	Resto	Resto	Resto	Resto	Resto	Resto	Resto

Fuente: ASTM B86-11. *Standard Specification for Zinc and Zinc-Aluminum (ZA) Alloy Foundry and Die Castings*. Traducido por los autores del libro.

### 2.2.3.3 Especificaciones sobre aleaciones de Zn con alto contenido de Al

- **ZA 8.**

Es una buena aleación para el colado por gravedad. Su producción ha venido creciendo rápidamente, especialmente en el moldeo por inyección. Puede ser inyectada con cámara caliente, y provee una importante mejora en las propiedades de dureza, resistencia y creep, respecto de las aleaciones básicas de inyección. Permite tratamientos superficiales por electrodeposición o cualquiera de los procedimientos habituales en las aleaciones básicas de inyección. [7]

- **ZA 12.**

Es la más versátil de todas las aleaciones de zinc en términos de combinar propiedades de alto desempeño y facilidad de fabricación utilizando métodos por

gravedad o inyección (cámara fría). Es la mejor aleación para el colado por gravedad en arena o coquilla y también por el nuevo método en molde de grafito. Tiene un buen desempeño en inyección con cámara fría obteniéndose normalmente piezas con estructuras internas más sanas que con la ZA 27, con mayor elongación y mejores características al impacto, por estos motivos, la ZA 12 compite con la ZA 27 para aplicaciones donde se solicita esfuerzo. Resulta una excelente aleación para cojinetes y puede terminarse por electrodeposición, aunque la adhesión es menor que en las aleaciones básicas. [7]

- **ZA 27.**

Es la aleación de mayor resistencia entre las aleaciones de zinc, tanto colada por gravedad en arena o coquilla como así también por inyección con cámara fría. Es además la más liviana de las aleaciones de zinc y tiene excelente resistencia al desgaste por el uso, sin embargo requiere especial atención durante la fusión y el colado para poder asegurar estructuras internas sanas, particularmente en secciones de paredes gruesas. También se exige una estabilización por tratamiento térmico si se requieren tolerancias dimensionales estrictas. Esta aleación no es recomendada para recibir tratamientos superficiales, como por ejemplo electrodeposición. La ZA 27 es elegida por los diseñadores cuando existen exigencias muy altas de resistencia al desgaste y altas solicitaciones mecánicas, estas dos son las características distintivas de la aleación. [7]

## **2.2.4 Efecto de los elementos de aleación.**

### **2.2.4.1 Aluminio.**

Este es el más importante de los elementos de aleación ya que no solo incrementa los esfuerzos y la dureza, sino que también aumenta la colabilidad de la aleación permitiendo la colada de piezas delgadas con detalles intrincados y ángulos agudos. Si el contenido de aluminio es muy bajo la aleación pierde resistencia,

dureza y fluidez, disminuyendo sus cualidades de fundición. Este es un elemento un poco sensible al calentamiento excesivo y muy oxidable

#### **2.2.4.2 Cobre.**

Mediante la adición de cobre se obtienen dos grandes beneficios: un aumento de la resistencia a la tensión, dureza y mayor resistencia a la corrosión. Aunque benéfico en pequeñas cantidades, un alto contenido de cobre es perjudicial ya que causa una disminución de las propiedades mecánicas y disminuye la estabilidad dimensional con el tiempo. [4]

#### **2.2.4.3 Magnesio.**

Al igual que el cobre, la adición de pequeñas cantidades de magnesio retrasa la cinética de la reacción eutécticoide que toma lugar en la aleación durante el enfriamiento. Su principal efecto es el de prevenir la corrosión intergranular debido a la presencia de impurezas (Pb, Cd y Sn) y ayuda al endurecimiento de la aleación. Si su contenido es elevado (mayor de 0,1%), puede promover la contracción en caliente y disminuir la resistencia al impacto; así como también puede promover la formación de óxido de magnesio el cual afecta adversamente la colabilidad de la aleación. Este es un elemento sensible a los flujos y al calentamiento excesivo y muy oxidable. [4]

### **2.2.5 Efecto de las impurezas.**

#### **2.2.5.1 Plomo.**

El plomo es la impureza más común en este tipo de aleaciones, afectando seriamente las propiedades de éstas. Usualmente se presenta en el metal base debido a la dificultad de remover sus trazas durante la refinación del zinc. La solubilidad del plomo en el zinc sólido es extremadamente limitada. Por causa de su blandura, las gotas de plomo pueden ser sacadas durante la pulida, dejando orificios que aparecen negros en la microestructura. La presencia de este

elemento en las aleaciones induce a la corrosión intergranular y por esto las concentraciones deben mantenerse por debajo de 0,004%. [4]

#### **2.2.5.2 Estaño.**

La solubilidad del estaño en el zinc está extremadamente restringida, por lo tanto el eutéctico Zn-Sn aparece en las aleaciones que contienen más de 0,001% Sn. El único uso deliberado de adiciones de estaño al zinc es en ciertas operaciones de galvanizado por inmersión en caliente, pero en la industria de la fundición su presencia es perjudicial ya que al igual que al plomo, induce a la corrosión intergranular, lo que obliga a mantener su contenido por debajo de 0,002%. [4]

#### **2.2.5.3 Hierro.**

Cuando se presenta en el zinc en cantidades que exceden aproximadamente 0,001%, aparece en la microestructura como un compuesto intermetálico con un contenido aproximado de 6% Fe. El Hierro en las aleaciones Zn-Al se presenta como partículas de  $FeAl_3$ , las cuales pueden bajar la ductilidad de la aleación significativamente. Aunque el hierro no es deseable en las aleaciones base Zinc, la presencia de pequeñas cantidades no es problema serio, ya que tiene un efecto pequeño en las propiedades mecánicas y características de envejecido de la aleación. El efecto más serio del exceso de hierro es la formación de  $FeAl_3$ , el cual es insoluble en el metal fundido y aparece como sitios duros en la fundición y causa problemas en el mecanizado. [4]

#### **2.2.5.4 Cadmio.**

El cadmio presente en la mayoría de los productos de zinc comerciales esta en solución sólida y no produce cambios en la microestructura a excepción de nucleados en las estructuras fundidas. En las aleaciones Zn-Al, debido a que el cadmio disminuye la resistencia a la corrosión intergranular, las concentraciones deben permanecer por debajo de 0,003%. [4]

#### **2.2.5.5 Silicio.**

Al igual que el hierro, forma compuestos intermetálicos duros y frágiles, haciendo del mecanizado y el acabado, operaciones difíciles. El contenido de este elemento debe permanecer por debajo de 0,01%. [4]

#### **2.2.5.6 Níquel.**

El níquel se adiciona a las aleaciones de Zn como neutralizador de los elementos que promueven la corrosión intergranular. Grandes cantidades de níquel forman compuestos con aluminio en la aleación los cuales eventualmente forman rechupes. Si los compuestos de Ni-Al quedan atrapados en la aleación, aparecen manchas en las superficies en el moldeo a presión. [8]

### **2.2.6 Procesos de fabricación.**

Existen diversos procesos de fabricación como: moldeo por inyección, por centrifugado, coquilla por gravedad, arenas, etc. Hacemos referencia al proceso por gravedad.

#### **2.2.6.1 Coquilla por Gravedad.**

Este proceso de moldeo es utilizado para piezas en las que su acabado superficial y sus dimensiones no están sujetos a restricciones de calidad, debido a que la única fuente de energía que obliga al metal a llenar la cavidad del molde es la gravedad. [9]

En este proceso es posible usar hoyos para formar superficies interiores del producto de fundición, deben ser mecánicamente desmontables para permitir esta operación. [9]

La fundición por gravedad, también llamada en coquilla, permite producir series cortas o largas de piezas, con una calidad óptima y unos tiempos de puesta en marcha reducidos. Este método aporta varias ventajas: rapidez en la elaboración

del molde, la posibilidad de utilizar distintas aleaciones y poder realizar series cortas de piezas a un costo menor. Esta técnica es muy versátil por tanto ofrece soluciones a distintos sectores como en la fabricación de motocicletas, bicicletas, herrajes, decoración, etc. También se tiene que resaltar que la mejora continua en desmoldeantes, untos y la calidad de los acabados de los moldes, permiten obtener piezas con un acabado superficial muy bueno. [9]

La fundición por gravedad ha experimentado una mejora importante en los últimos años. Los moldes que se fabrican hoy para esta técnica se construyen en aceros aleados, incluso templados para producciones largas, permitiendo tolerancias dimensionales de las piezas muy ajustadas. Son moldes que se montan en máquinas coquilladoras para realizar la producción, con procesos automatizados de cierre y apertura de molde y expulsión de las piezas; evitando de este modo golpes y deformaciones en las piezas y asegurando la vida útil de molde o coquilla. [10]

En la siguiente tabla se puede ver los tipos de procesos de fabricación recomendables para algunas aleaciones con alto contenido de aluminio:

**Tabla 3. Procesos de fabricación de las aleaciones Zn-Al**

Proceso de fabricación	Aleación		
	ZA 8	ZA 12	ZA 27
En matriz a presión	MB	MB	B
En coquilla	MB	E	R
Centrifugado	NR	NR	NR

E: excelente MB: muy bueno B: bueno R: razonable NR: no recomendado  
 Para ZA 12 y ZA 27 es inyección con cámara fría

Fuente: [http://www.grupoindustrial.com.ar/es/zamac\\_especificaciones.pdf](http://www.grupoindustrial.com.ar/es/zamac_especificaciones.pdf)

### 3. MATERIALES Y EQUIPOS

#### 3.1 Materiales utilizados

- ✓ Materias primas (retornos de Zamak niquelado y perfiles de aluminio)
- ✓ Retornos de Zamak niquelado (manijas)
- ✓ Arena, aglomerantes (bentonita y caolín)
- ✓ Unto de grafito
- ✓ Gas natural
- ✓ Lijas y reactivos específicos para análisis metalográfico.

#### 3.2 Equipos utilizados

- ✓ Horno de crisol fijo con revestimiento acido que utiliza como combustible gas.

**Figura 5. Horno de crisol (Escuela de Ingeniería Metalúrgica. UIS)**



Fuente: Autores

- ✓ Crisol de carburo de silicio de 10 kg de capacidad
- ✓ Mezclador de arena.
- ✓ Equipos de moldeo (moldes, modelos, espátulas, brochas, apisonadores, etc.)
- ✓ Pirómetro de inmersión (Termocupla de inmersión) proporcionado por la empresa FANTAXIAS S.A.S
- ✓ Equipos de seguridad (Cascos, pechera, guantes, gafas, caretas etc.)
- ✓ Máquina de ensayos de resistencia de materiales.
- ✓ Durómetro.
- ✓ Microscopios metalográficos, ópticos, de difracción de rayos X y electrónico de barrido.

## 4. METODOLOGÍA

Figura 6. Diagrama de flujo de la metodología para el desarrollo del proyecto



Fuente: Autores

### 4.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La recopilación de información se realizó mediante una búsqueda en el transcurso del segundo semestre de 2012 como parte del proyecto de grado 1, utilizando diferentes medios como son la base de datos de la universidad, recursos electrónicos, y diferentes libros que nos ayudaron en la realización de este proyecto de grado.

### 4.2 SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Los retornos utilizados fueron manijas de Zamak niqueladas (ver figura 7a) provenientes de la empresa FANTAXIAS S.A.S, que por diferentes factores como

manchas y ampollas presentes en el recubrimiento niquelado y abolladuras, se rechazaron en su control de calidad. Se hicieron lingotes para analizar un rango de composición química y saber con qué tipo de aleaciones de Zamak se estaba trabajando, para ello se elaboró manualmente moldes en arena (ver figura 7b) empleando modelos previamente establecidos.

**Figura 7. Retornos de Zamak niquelado y moldes elaborados en arena**



a. Manijas de Zamak niquelado



b. Moldes elaborados en arena

Fuente: Autores

### 4.3 ELABORACIÓN DE LAS ALEACIONES

Identificado la composición de los retornos, se procedió a calcular las respectivas cargas para la elaboración de las aleaciones ZA8, ZA12 y ZA16, teniendo en cuenta por información recopilada que las pérdidas por fusión de estas aleaciones están en un rango de 10 a 20%. Una vez hecho los cálculos se fundieron lingotes de Zamak añadiendo los respectivos porcentajes de aluminio. A los lingotes se le hicieron análisis para conocer sus composiciones químicas.

#### ✓ Análisis químico.

Se realizó un análisis de difracción de rayos X con un equipo BRUKER modelo D8 ADVANCE con geometría DaVinci, para conocer la composición de la escoria al fundir las manijas de Zamak niquelado. Además se realizó un análisis con el

microscopio electrónico de barrido (ESEM) FEI Quanta 650 FEG para determinar los elementos presentes en la aleación de Zamak níquelado, estos equipos están ubicados en el parque tecnológico Guatiguara (UIS).

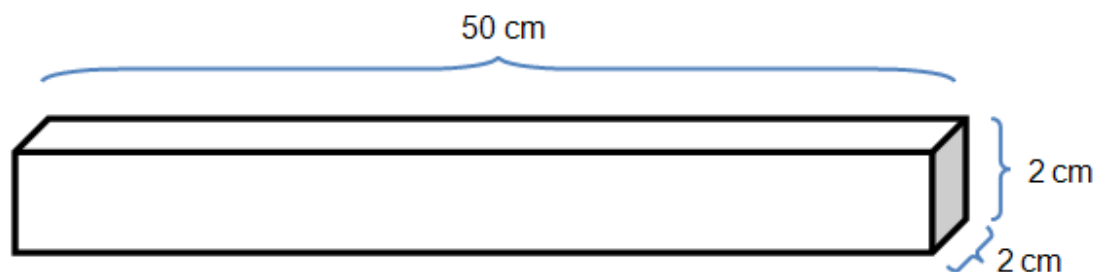
Por último se realizaron análisis de Espectrometría de Emisión Óptica para determinar la composición de las aleaciones estudiadas ZA8, ZA12 y ZA16. Estos análisis fueron hechos por la empresa Propulsora S.A en la ciudad de Cali.

#### 4.4 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES

##### ✓ Propiedades de fundición.

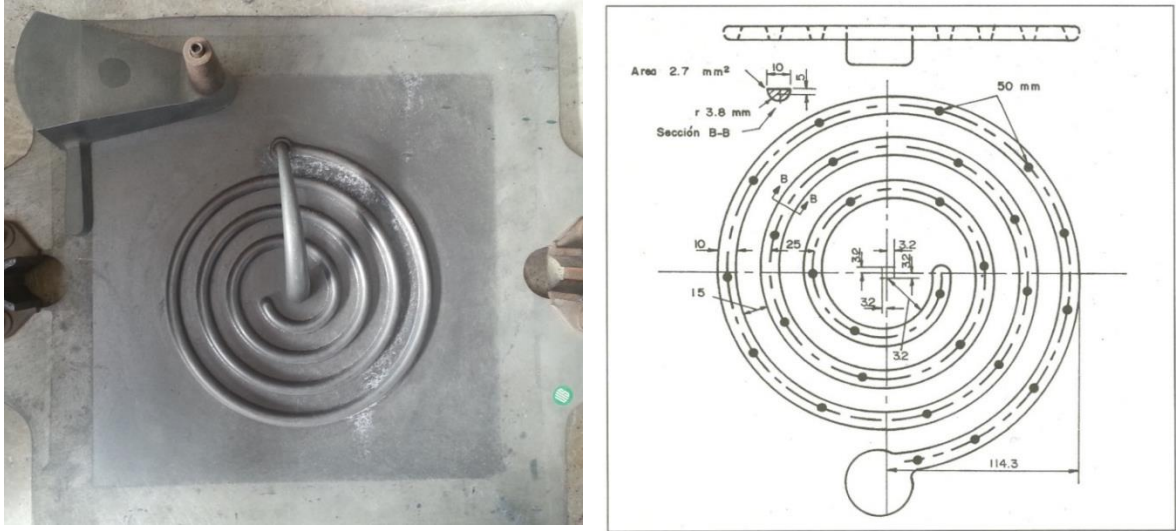
Se elaboraron moldes en arena utilizando modelos proporcionados por el laboratorio de moldeo, ubicado en el edificio Planta de Aceros (UIS), para colar los lingotes. Los lingotes se utilizaron como materias primas para elaborar las aleaciones ZA8, ZA12 y ZA16. Se procede a hacer las pruebas de fundición con las aleaciones: colabilidad, susceptibilidad al agrietamiento en caliente y contracción.

**Figura 8. Dimensiones para probetas de contracción**



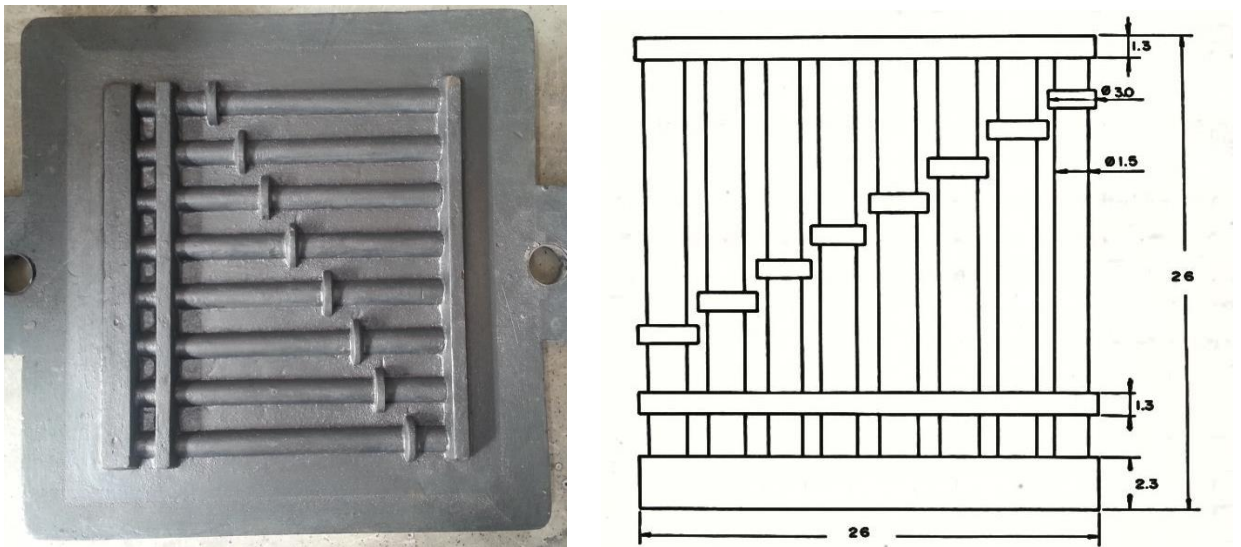
Fuente: Autores

**Figura 9. Placa modelo y plano de la probeta de colabilidad**



Fuente: ALONSO BAQUERO, Arnaldo. Las propiedades de la fundición.

**Figura 10. Placa modelo y plano de la probeta de susceptibilidad al agrietamiento en caliente (medidas en cm)**

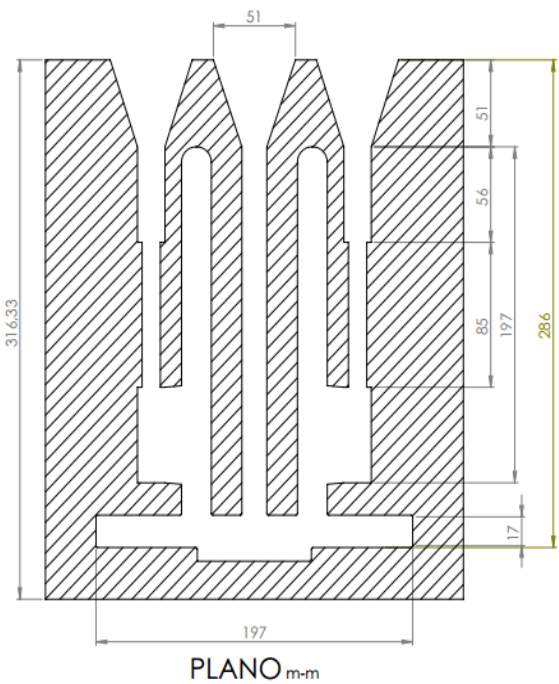


Fuente: MEZA MARTINEZ, Euclides Andino; FLORES SCHNEIDER, Gabriel Arturo. Elaboración y Caracterización de Algunas Propiedades de las Aleaciones Base Zinc con alto contenido de Aluminio (8-16%).

✓ **Propiedades mecánicas**

Para las probetas de tracción y alargamiento se utilizó una coquilla estandarizada según la norma ASTM B669. Estos ensayos se realizaron en la Escuela de Ingeniería Civil, empleando una maquina universal de ensayos. Para el ensayo de dureza se utilizó el durómetro de marca WILSON ubicado en el laboratorio de tratamientos térmicos de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales (UIS), utilizando la escala Rockwell E siguiendo las especificaciones de la norma ASTM E18-12 y haciendo la conversión a dureza Brinell según la norma ASTM E140-12.

**Figura 11. Coquilla y Plano de la coquilla para realizar probetas de tracción**



Fuente: Autores

### ✓ **Análisis metalográfico**

Tomando muestras representativas de cada aleación se realizó la caracterización por microscopía óptica en base a la norma ASTM E3. Las muestras se prepararon superficialmente mediante desbaste con papel abrasivo de carburo de silicio, con granulometría de 80 a 600, seguido de un pulido con alúmina (0.3 y 0.05  $\mu\text{m}$ ) para obtener un acabado superficial tipo especlar. Para revelar la microestructura de las aleaciones base, la superficie pulida fue atacada con reactivo Palmerton (200 gr Oxido Crómico – 15 gr Sulfato de sodio – En solución de 1000 ml de agua) según la norma ASTM E407-07. La caracterización microestructural se realizó en el microscopio óptico Olympus GX71 ubicado en el Laboratorio de Metalografía, de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica (UIS).

## **4.5 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Con los datos obtenidos en las diferentes pruebas se procedió a seleccionar la aleación que arrojo los mejores resultados respecto a las pruebas mencionadas anteriormente y que FANTAXIAS S.A.S pueda emplear en su producción.

## **4.6 ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS**

Según las propiedades encontradas en las 3 aleaciones estudiadas ZA8, ZA12 y ZA16 mediante bibliografía consultada se estableció cual sería la aleación seleccionada para realizar el prototipo entre las diferentes piezas que fabrica la empresa FANTAXIAS S.A.S. y con qué tipo de aleación fabricarlo.

## 5. PROCEDIMIENTO

Para la elaboración de las aleaciones (ZA8, ZA12 y ZA16) y lograr establecer los rangos de aluminio, se procedió a hacer una selección previa de la materia prima. Inicialmente se hizo una mezcla de varios retornos (manijas, botones y otros productos no conformes). Empleando un crisol de carburo de silicio de 10 kg de capacidad se hicieron 3 fusiones de retornos con el fin de obtener lingotes y enviar a analizar para conocer la composición química, se observó una variación muy grande en esta, además el control de la temperatura no fue el adecuado.

Recopilando información suministrada por la empresa FANTAXIAS S.A.S acerca del producto no conforme trabajado allí, se encontró que cada tipo de retorno utilizado provenía de diferentes tipos de Zamak y que esta fue una de las causas por la cual se obtuvieron datos erróneos mencionados anteriormente. Se tomó la decisión de trabajar solo con un tipo de retornos, en este caso manijas de Zamak niquelado. Se realizó una nueva fusión a diferentes temperaturas (440 °C, 660 °C y 770 °C) y se elaboraron lingotes para determinar que sucedía con el níquel al aumentar la temperatura. Este control fue realizado con un termopar suministrado por la empresa FANTAXIAS S.A.S

De acuerdo a los resultados anteriores se decidió trabajar con una temperatura no superior a 440 °C, se volvió a realizar lingotes, controlando la temperatura por medio de un termopar tipo K; de nuevo se mandó analizar las muestras de Zamak niquelado obteniendo así la composición química de la materia prima base.

Realizando cálculos se determinó la cantidad de aluminio que se necesitaría para realizar las aleaciones ZA8, ZA12 y ZA16, así mismo se hicieron los respectivos lingotes, luego se procedió a estudiar las muestras mediante un análisis químico para determinar si se había llegado al porcentaje de aluminio adecuado para cada una de estas aleaciones.

Con los datos suministrados y ya teniendo las aleaciones establecidas se realizaron las diferentes pruebas para cumplir con los diferentes objetivos planteados inicialmente, determinando las propiedades mecánicas y de fundición, en base a estos resultados se eligió la aleación que mejor se comportaba y con esta se realizó un prototipo en la empresa FANTAXIAS S.A.S utilizando el método de inyección en cámara fría.

## 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En las primeras fusiones, la carga estuvo compuesta por manijas de Zamak niqueladas para determinar su composición, sin embargo, no se tuvo en cuenta factores que afectaban directamente la composición de esta aleación como es el caso de la temperatura. Como se puede apreciar en la figura 12, al sacar el crisol del horno este desprendía una gran cantidad de humo blanco ya que el único control era visual, además la escoria presentaba una capa fina de polvo blanco, muy similar al algodón comúnmente utilizado en la industria textil.

**Figura 12. Fusión de Zamak niquelado**



a) Humo desprendido durante la fusión.



b) Capa fina de polvo blanco en la escoria.

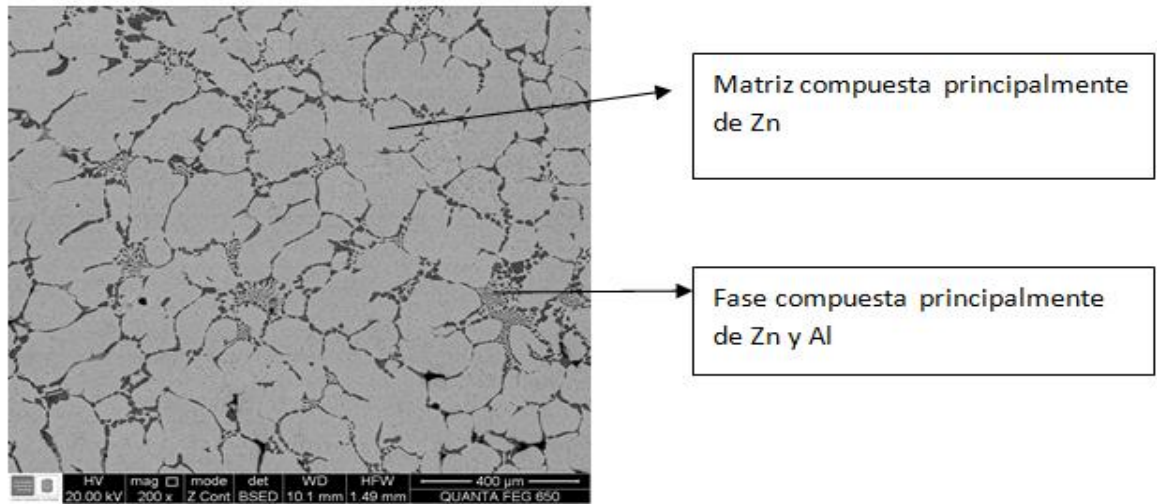
Fuente: Autores

Se realizó un estudio de difracción de rayos X al polvo hallado en la escoria, estableciéndose que la capa de color blanca era en su mayor parte Zn que se volatilizo (Ver anexo A). Esto pudo deberse al no control de la temperatura y a que esta sobrepasaba ampliamente la indicada por la literatura (380°C).

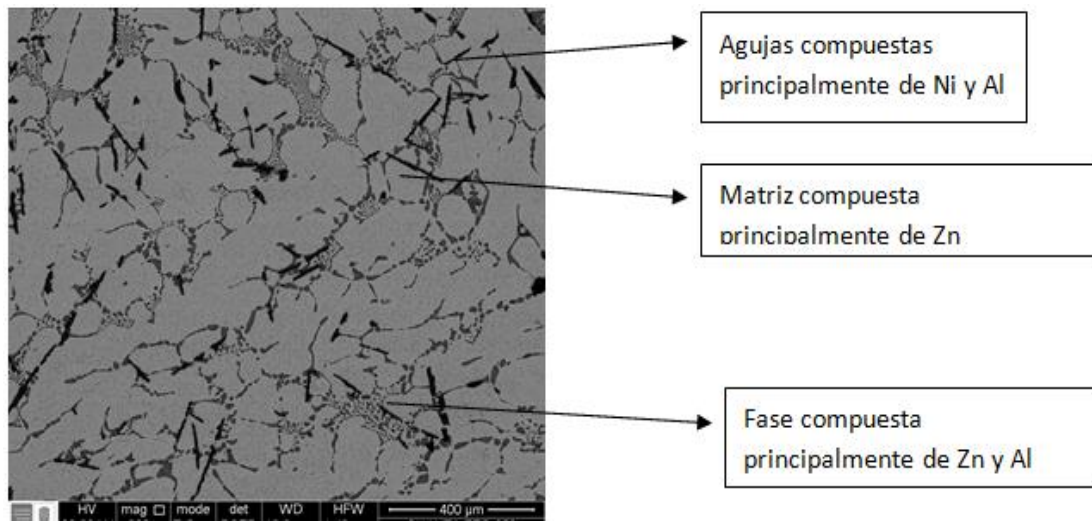
Con ayuda de una termocupla de inmersión tipo K se volvió a fundir las manijas controlando la temperatura y el tiempo de fusión. Se fundieron lingotes a tres distintas temperaturas (440°C, 660°C y 770°C) para determinar que ocurría con el níquel. Muestras representativas de estos lingotes se mandaron a analizar por el método de espectroscopia óptica para determinar la composición química de esta y por el método de microscopia electrónica de barrido para conocer por composición puntual la cantidad de elementos presentes en la aleación. Los resultados de espectroscopia óptica se pueden observar en el anexo B. De acuerdo a estos, y con la información de la tabla 2, se determinó que la aleación obtenida es la Zamak 2.

Las figuras 13, 14 y 15 corresponden a una parte de los resultados otorgados por el laboratorio de SEM. Se puede observar en las imágenes que a medida que se aumenta la temperatura, aumenta la cantidad de precipitados de níquel en forma de agujas. Se puede ver en la figura 13 que a la temperatura, más baja que las otras dos, no precipita níquel. Con estos resultados se corrobora la importancia de controlar la temperatura, ya que estos precipitados de níquel pueden generar corrosión intergranular en las aleaciones y otras consecuencias ya mencionadas en el apartado 3.2.5.6. En el anexo C se puede observar y comparar la composición aproximada de cada una de las fases presentes.

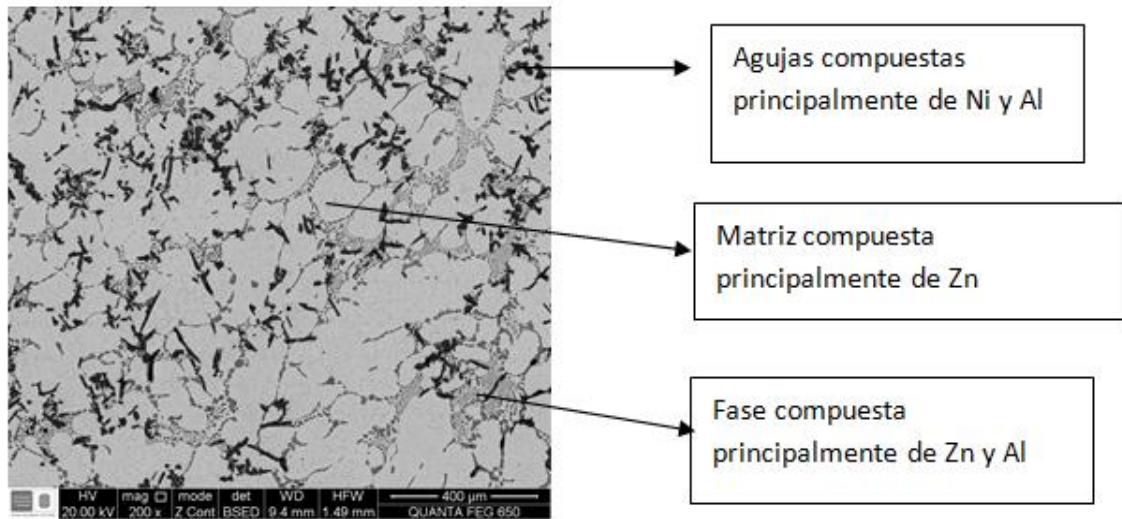
**Figura 13. Microestructura de Zamak niquelado a 440 °C y 200x**



**Figura 14. Microestructura Zamak niquelado a 660 °C y 200x**



**Figura 15. Microestructura de Zamak niquelado por encima de 770 °C y 200x**



Fuente: Autores

Teniendo en cuenta la capacidad de los lingotes y el crisol, se procede hacer cargas totales de 6 kg para las aleaciones ZA8, ZA12 y ZA16 basados en conocimientos previos por las pérdidas de fusión que estas contemplan. Los cálculos se muestran a continuación:

- **Cálculo tipo para ZA-8**

Con el análisis de composición previamente realizado se sacó un promedio de aluminio total en los lingotes de Zamak niquelado, el promedio de aluminio fue de 3,324 %

Para realizar la aleación ZA8, se tomó como tope máximo el 8,8% de aluminio, es decir a este porcentaje se necesitaba llegar.

- *Peso de aluminio en gr respecto a la carga total = 328,56 gr Al*
- *Peso restante proveniente de lingotes de zamak niquelado = 5671,44 gr*

El cálculo de la pérdida de aluminio se realizó respecto a el aluminio proveniente del Zamak 2 (Con 4,2 % Al) y el promedio obtenido por composición química (Anexo A).

- *Aluminio total en gr = 394,272 gr Al*

**Tabla 4. Datos de las cargas para la elaboración de las aleaciones**

Carga total de 6 kg					
Aluminio promedio inicial proveniente del retorno de Zamak: 3,324%					
Aleación	% faltante	Peso Al (gr)	Peso restante (gr)	Perdida de 20%	Peso restante (gr)
8 % Al	5,476	328,56	5671,44	394,272	5605,728
12 % Al	8,676	520,56	5479,44	624,672	5375,328
16 % Al	13,676	820,56	5179,44	984,672	5015,328

Fuente: Autores

El porcentaje de aluminio se basó en el máximo aceptado por este tipo de aleaciones; es decir para la ZA8 un 8.8% de aluminio, para la ZA12 fue tomado 12% como valor máximo, para la ZA16 la información encontrada acerca de esta fue muy reducida, por esto se tomó con un 17% de aluminio como máximo.

Las temperaturas de fusión fueron establecidas de acuerdo al diagrama de fases para el sistema Zn-Al, estas se controlaron con ayuda de un termopar de inmersión, teniendo en cuenta los valores para cada aleación y tomando un sobrecalentamiento de aproximadamente 50 °C por encima de ellas. Las temperaturas usadas fueron entonces:

- 440 °C (390°C + 50) para aleaciones con el 8% de aluminio.
- 480 °C (430°C + 50) para aleaciones con el 12% de aluminio.
- 520 °C (490°C + 50) para aleaciones con el 16% de aluminio.

Se realizaron las fusiones respectivas para cada aleación, cabe resaltar que cada aleación se hizo independientemente, esto quiere decir que se hicieron 6 kilos para la aleación ZA8 y así mismo se hicieron lingotes con el total de dicha aleación, lo mismo se hizo con las aleaciones ZA12 y ZA16.

La fusión hecha para obtener las aleaciones ZA8, ZA12 y ZA16 fue exitosa, se alcanzó la temperatura requerida para cada una de ellas, se tomó el respectivo tiempo de fusión y se llevó a analizar por el método de espectroscopia óptica. Los resultados se observan en el anexo D.

**Figura 16. Medidas de temperatura luego de sacar el crisol del horno**



Fuente: Autores

## **6.1 PROPIEDADES DE FUNDICIÓN**

Una vez obtenidas las composiciones requeridas para las aleaciones ZA8, ZA12 y ZA16, se elaboraron los moldes en arena para las pruebas correspondientes a las propiedades de fundición: colabilidad, susceptibilidad al agrietamiento en caliente y contracción

### 6.1.1 Colabilidad.

La prueba de colabilidad se realizó con el fin de observar la capacidad que tienen las aleaciones de Zinc con alto contenido de Aluminio de llenar un molde de dimensiones estandarizadas; este molde se hizo mediante apisonado manual y en caja metálica, empleando un modelo de aluminio. La forma y dimensiones del modelo se muestran en la figura 9. La figura 17 muestra cualitativamente la colabilidad de las tres aleaciones. Se observa que las aleaciones ZA8 y ZA12 tienen un comportamiento igual, mientras que la aleación ZA16 presenta una menor colabilidad.

Se anota que el ensayo se realizó a partir de un mismo sobrecalentamiento ( $\Delta T$ )

Siendo  $\Delta T = T_c - T_l$

$T_c = \text{Temperatura de colada}$

$T_l = \text{Temperatura de liquido}$

**Figura 17. Probetas de colabilidad obtenidas con las aleaciones ZA8, ZA12 y ZA16**



a) ZA8

b) ZA12

c) ZA16

Fuente: Autores

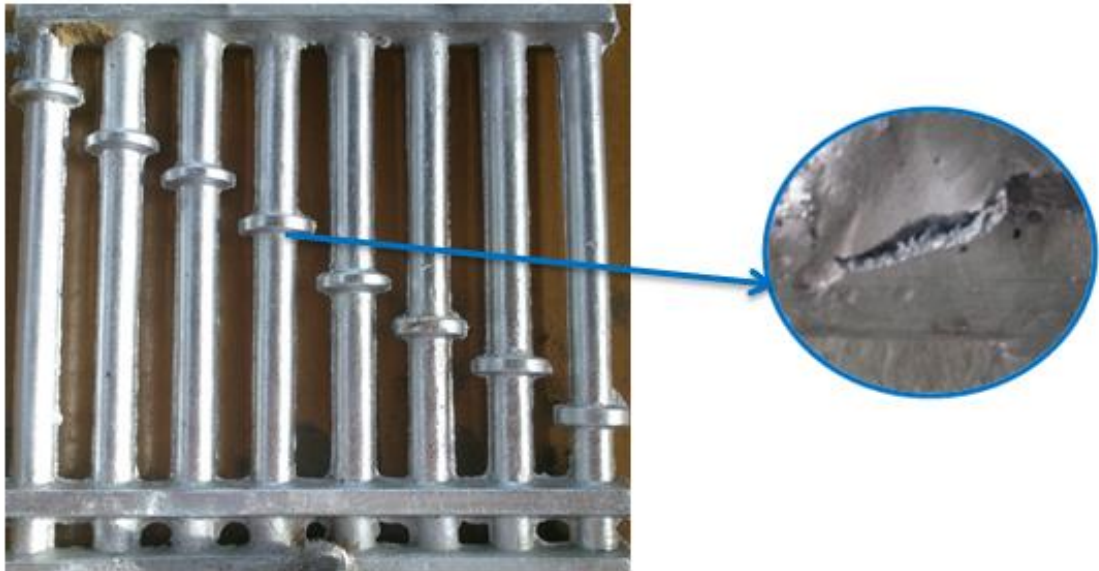
Como se puede observar en la figura 17, hay un llenado total en las dos probetas de aleaciones ZA8 y ZA12, en comparación con la aleación ZA16, esta presenta

una colabilidad más baja al no llenar completamente el molde, debido a que la aleación ZA16 se encuentra más alejada del punto eutéctico y tiene mayor intervalo de solidificación en el diagrama binario Zn-Al.

### **6.1.2 Susceptibilidad al agrietamiento en caliente.**

Los resultados obtenidos en esta prueba (figura 18), una vez realizado un análisis macroscópico por los diferentes cambios de espesores se observó que la aleación ZA12 y ZA16, no presentaban grietas; en tanto, que la ZA8 mostro tendencia a agrietarse en caliente en los cambios de sección.

**Figura 18. Probetas de agrietamiento en caliente aleación ZA8**



Fuente: Autores

### 6.1.3 Contracción.

La contracción se determinó experimentalmente colando barras de 50 cm de espesor y sección cuadrada de 2cm (Figura 8). Una vez desmoldeadas, se midió la longitud final determinando el porcentaje de contracción para cada aleación.

**Tabla 5. Porcentajes de contracción**

Porcentajes de contracción	
Aleaciones	% de contracción
ZA-8	1,4
ZA-12	1,9
ZA-16	2,3

Fuente: Autores

Los porcentajes de contracción se encuentran en los rangos establecidos por la literatura (Anexo E) para las aleaciones de zinc con alto contenido de aluminio.

## 6.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

El ensayo de tracción fue realizado con colaboración de la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS. Se rompieron un total de 18 probetas (6 por cada tipo de aleación), cada probeta se mecanizo para quitar rebaba y cualquier imperfección que pudiera influir en el ensayo. Para dar mayor claridad a los datos obtenidos se encuentran registrados en la tabla 6.

**Figura 19. Probetas de ZA12 para realizar ensayo de tracción**



Fuente: Autores

**Tabla 6. Resultados obtenidos en las pruebas de tracción y dureza**

Tipos de Aleaciones			
Propiedades	ZA-8	ZA-12	ZA-16
Resistencia última a la tracción (MPa)	216,83	233,87	241,28
% de Alargamiento	1,2	1,3	1,2
Dureza (HB)	95	104,67	115,33

Fuente: Autores

En los resultados obtenidos de estas pruebas se puede observar que los valores encontrados para las propiedades de las aleaciones, se acercan a los teóricos estudiados previamente (Anexo E) ya que al aumentar el porcentaje de aluminio incrementa su resistencia última a la tracción y su dureza.

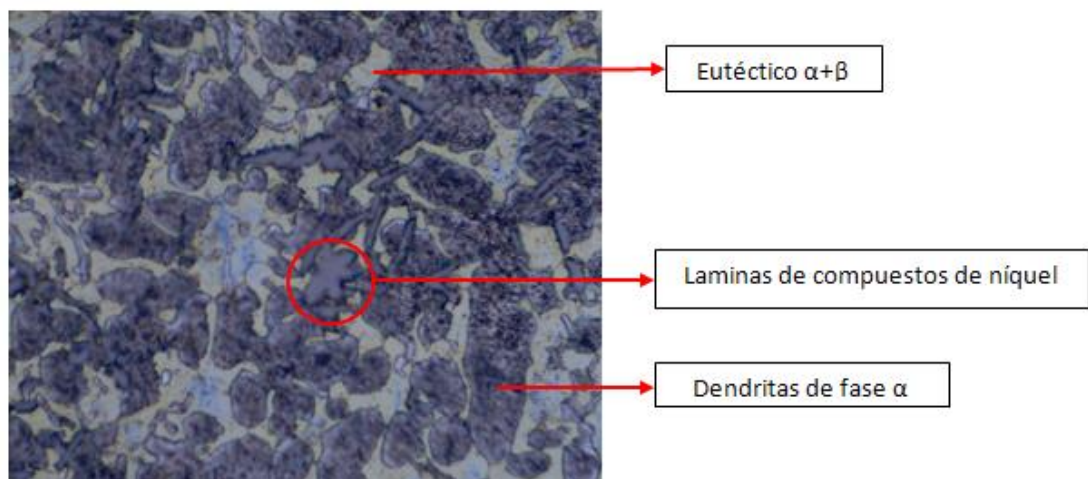
### 6.3 METALOGRAFÍA DE LAS ALEACIONES

En las microestructuras obtenidas para cada una de las aleaciones, en general, se puede observar dendritas de fase  $\alpha$  ricas en aluminio (zona oscura), rodeadas de una matriz del eutéctico  $\alpha + \beta$  (zonas claras).

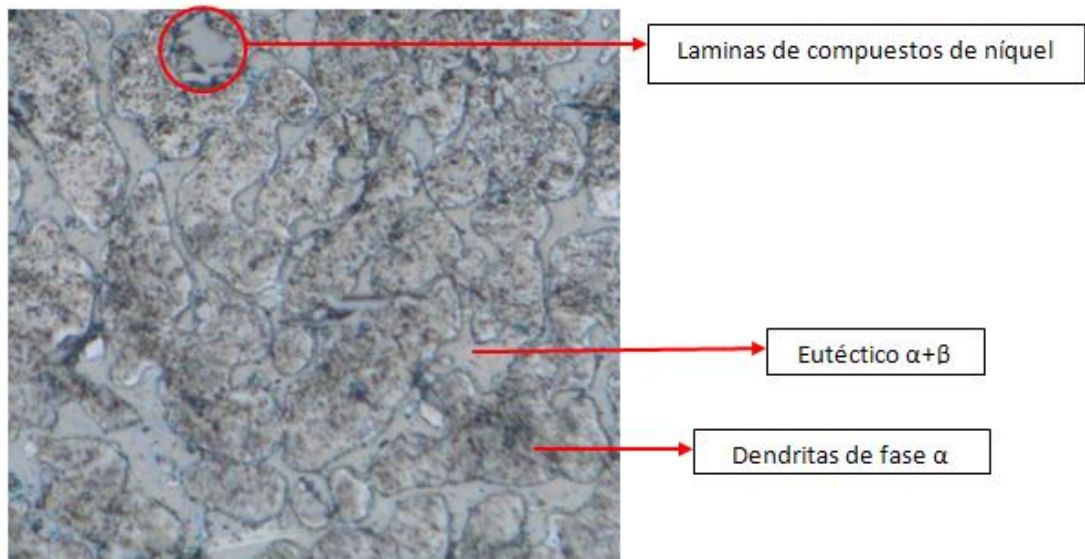
A medida que se aumenta el porcentaje de aluminio la fase  $\alpha + \beta$  (zonas claras) disminuye al alejarse del eutéctico, esto lo podemos observar en la figura 22, donde las dendritas son de mayor grosor y el eutéctico se encuentra en menor cantidad en comparación a los dos anteriores.

Además en las micrografías se puede observar una fase diferente a los mencionados anteriormente, el cual se presume que es un compuesto de níquel en forma de láminas las cuales se presentan en pequeñas cantidades en las tres aleaciones, esto es debido a que la materia prima utilizada para realizar estas aleaciones tenía un recubrimiento de níquel.

**Figura 20. Micrografía de la aleación ZA8 obtenida a 200x**



**Figura 21. Micrografía de la aleación ZA12 obtenida a 200x**



**Figura 22. Micrografía de la aleación ZA16 obtenida a 200x**



Fuente: Autores

## 6.4 PROTOTIPO

Después de realizadas las aleaciones y con los datos obtenidos se estableció que la aleación que mejor se comportó fue la ZA12. Por esto, fue la seleccionada para fundir el prototipo. El prototipo se elaboró en la empresa FANTAXIAS S.A.S en una máquina de presión en cámara fría.

La temperatura se estableció de acuerdo al diagrama binario Zn-Al. La carga de Zamak níquelado (manijas) se fundió a 480 °C, en un horno con capacidad de 120 kilos, construido con ladrillo refractario y manto cerámico, con crisol en acero inoxidable, como quemador este tiene uno marca Rielo Italiano. Para el control de la temperatura se usó una termocupla tipo K con funda en acero 316L y un controlador electrónico de temperatura.

Fundidas las manijas se retiró la escoria obteniendo una pérdida del 20% al 23% en peso; el aluminio fue agregado en pequeñas partes al baño líquido hasta llegar al porcentaje deseado (12%).

**Figura 23. Horno empleado para la elaboración del prototipo**



**Figura 24. Máquina de inyección en cámara fría**



Fuente: Autores

Se decidió hacer piezas que cumplieran con una alta resistencia y una buena colabilidad, por esta razón, se escogió elaborar manijas como prototipo.

**Figura 25. Coquilla empleada para elaborar manijas**



Fuente: Autores

El metal fundido es forzado en la cavidad de la matriz de vaciado a presiones más altas que las de cámara caliente. Una de las desventajas al realizar el proceso de inyección en cámara fría fue el precalentamiento de la matriz, aunque se realizó un precalentamiento con soplete antes de la inyección, la temperatura de la coquilla no fue la ideal, así que por medio de un cierto número de inyecciones se logró llegar a la temperatura correcta para que las piezas salieran bien.

**Figura 26. Prototipo recién salido del molde**



Fuente: Autores

En la figura 27 la primera manija a la izquierda es Zamak niquelado, las tres manijas siguientes son los prototipos realizados en la aleación ZA12.

**Figura 27. Manijas elaboradas con la aleación ZA12**



Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura 27 las piezas se encuentran con un acabado muy bueno, se evidencia algo de rebaba pero esto se debe a varios factores como el mal ajuste de la matriz o a que la presión del pistón no fue la suficiente para sellar la coquilla cuando se realizó la inyección. Se hizo una inspección visual en la cual no se evidencio defecto alguno como son poros comúnmente presentados en las manijas elaboradas en Zamak, así mismo el brillo y la resistencia son mucho mejores.

De esta forma se da como exitosa la realización de estos prototipos ya que con el estudio elaborado y la realización de estas piezas, los objetivos planteados fueron cumplidos.

Ante la afirmación de la teoría encontrada que indica que las aleaciones ZA se comportan de manera inadecuada frente a las aleaciones Zamak al realizar

electrodeposición, la empresa FANTAXIAS S.A.S quiso comprobar esto. Acordaron comparar el comportamiento en la aleación ZA12 con la Zamak frente a un proceso galvánico (niquelado). Se niquelaron las manijas hechas como prototipo y con observación visual detallada de una manija elaborada en ZA12 niquelada y otra elaborada en Zamak también niquelada, se observó un mejor acabado superficial en la ZA12 en comparación a la manija de Zamak, esto posiblemente se debe a la no presencia de poros en la superficie del prototipo, lo cual mejora la textura de este. Sin embargo se recomienda hacer un estudio más detallado y técnico sobre el niquelado de la aleación ZA12.

## 7. CONCLUSIONES

- El control de la temperatura es una clave fundamental en la fusión de las diferentes aleaciones base zinc. La temperatura de colada debe ser calculada previamente. Por ningún motivo debe exceder una temperatura 500°C para la ZA12.
- Mediante diferentes análisis químicos se pudo evidenciar y controlar el porcentaje de níquel presentado en las diferentes aleaciones que se elaboraron. Las impurezas de níquel aunque se encuentren en pequeñas cantidades pueden influir en sus propiedades finales.
- Las pérdidas por fusión en las aleaciones ZA8, ZA12 y ZA16 son muy pequeñas, obteniéndose una eficiencia moderada en la recuperación de los retornos de Zamak niquelado que la empresa FANTAXIAS S.A.S desecha.
- Al aumentar el contenido de aluminio la resistencia a la tracción aumenta con este, así la aleación ZA 16 presenta mayor resistencia última a la tracción en comparación a las aleaciones ZA8 y ZA12.
- La colabilidad de las aleaciones ZA8 y ZA12 tiene un comportamiento similar, mientras que la aleación ZA16 presenta una menor colabilidad.
- Las aleaciones ZA12 y ZA16 no presentaron agrietamiento en caliente, contrario a la aleación ZA8 que presentó tendencia a agrietarse en caliente.
- Debido a esto la aleación que se escogió para realizar los prototipos y así mismo ofrecer a la empresa FANTAXIAS S.A.S como solución a su problema con los retornos de Zamak niquelado fue la ZA12, pues no presentó problemas de colabilidad ni de agrietamiento en caliente, como si lo hicieron las aleaciones ZA16 y ZA8 respectivamente.

## 8. RECOMENDACIONES

- Necesariamente la empresa FANTAXIAS S.A.S debe clasificar los retornos para tener un control de composición cuidadoso antes de elaborar las piezas en que se basó dicho proyecto de grado, ya que aunque las piezas otorgadas por la empresa FANTAXIAS S.A.S eran elaboradas en Zamak, al hacer mezclas entre manijas, botones y otros retornos, los análisis químicos de los lingotes variaban demasiado.
- Es preferible que el horno de crisol tenga un regulador de temperatura y hacer uso de termopares de inmersión, esto para mantener un buen control sobre la aleación, pues como se mencionó en el desarrollo de este proyecto la temperatura tiene un papel vital en el éxito de las aleaciones.
- Al realizar el proceso de inyección en cámara fría se debe realizar un precalentamiento adecuado de la coquilla para mejorar la eficiencia en la elaboración de las piezas fabricadas por este proceso.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] LLANO URIBE, Carolina. Zamak una aleación muy versátil. En: Metal Actual. Mayo - Julio. 2008. Edición No. 8, p. 15-16.

[2] B.K. Prasad. Effect of microstructure on the sliding wear performance of a Zn–Al–Ni alloy. ELSEVIER: Regional Research Laboratory CSIR ,Hsohangabad Road, Near Habibganj Naka, Bhopal-462 026, India. Received 9 July 1999; received in revised form 14 February 2000; accepted 14 February 2000.

[3] O. Fornaro, M. Pizarro and M.L. Castro. La microscopia óptica como herramienta para el estudio de la solidificación unidireccional de aleaciones Zn-Al. [online]. Internet: <URL: [http://www.actamicroscopica.org/uploads/Suplementos/Vol\\_20\\_Supp\\_B\\_2011\\_Memorias\\_CIASSEM\\_2011/Docs/abstracts/Lujan\\_Castro\\_L\\_2.pdf](http://www.actamicroscopica.org/uploads/Suplementos/Vol_20_Supp_B_2011_Memorias_CIASSEM_2011/Docs/abstracts/Lujan_Castro_L_2.pdf)>.

[4] MEZA MARTINEZ, Euclides Andino; FLORES SCHNEIDER, Gabriel Arturo. Elaboración y Caracterización de Algunas Propiedades de las Aleaciones Base Zinc con alto contenido de Aluminio (8-16%). Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Metalúrgico. Pdf. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 1993. p. 3-22.

[5] ARES, Alicia Esther; GUEIJMAN, Sergio Fabián y SCHVEZOV, Carlos Enrique. Solidificación y caracterización de aleaciones Zn– 27% al con refuerzo de SiC y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), 2006. Internet: URL: <http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/CONAMET-SAM2006/docs/b7.pdf>

[6] American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Zinc and Zinc-Aluminum (ZA) Alloy Foundry and Die Castings. ASTM B86-11. Traducido por los autores.

**[7]** GUPO INDUSTRIAL C&C. aleaciones de Zinc. [Hoja Técnica]. Pdf. Buenos Aires, Argentina, octubre 6 de 2012.

**[8]** CARVAJAL N., Yesid; JURADO S., Gustavo Iván. Contribución al estudio de las aleaciones zinc-aluminio hipereutéctoides con 22 a 27% de aluminio. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Metalúrgico. Pdf. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 1997. p. 9.

**[9]** MOLDEA. Fundición por gravedad. [Online]. Enero 26 de 2010. Internet:<URL: <http://www.moldea.es/noticias/fundicion-por-gravedad/>>

**[10]** ALONSO BAQUERO, Arnaldo. Las propiedades de la fundición. BUCARAMANGA : UIS. ESCUELA DE INGENIERIA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES, 1998.

**[11]** C. P. Yan and S. K. Liu. Effects of certain elements on the mechanical properties of ZA-12 alloy. Dept. of Materials, Southwest Jiaotong University. Chengdu, Sichuan, P. R. China.

**[12]** M. D. Hanna and M. S. Rashid. The influence of composition and microstructure on the strength of zinc alloys. Metallurgy Department. General Motors – North American Operation. Warren, USA.

**[13]** International Lead Zinc Research Organization (ILZRO). Engineering Properties of Zinc Alloys. New York, 1981.

**[14]** American Galvanizers Association. Zinc coatings. Published by International Zinc Association (IZA). [online]. Internet:<URL: <http://www.galvanizeit.org/corrosion/corrosion-protection/zinc-coatings/>>

## BIBLIOGRAFÍA

[1] ALONSO BAQUERO, Arnaldo. Las propiedades de la fundición. BUCARAMANGA: UIS. ESCUELA DE INGENIERIA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES, 1998.

[2] American Galvanizers Association. Zinc coatings. Published by International Zinc Association (IZA). [online]. Internet:<URL: <http://www.galvanizeit.org/corrosion/corrosion-protection/zinc-coatings/>

[3] American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Zinc and Zinc-Aluminum (ZA) Alloy Foundry and Die Castings. ASTM B86-11. Traducido por los autores.

[4] ARES, Alicia Esther; GUEIJMAN, Sergio Fabián y SCHVEZOV, Carlos Enrique. Solidificación y caracterización de aleaciones Zn– 27% al con refuerzo de SiC y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), 2006. Internet: URL:<http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/CONAMET-SAM2006/docs/b7.pdf>

[5] B.K. Prasad. Effect of microstructure on the sliding wear performance of a Zn–Al–Ni alloy. ELSEVIER: Regional Research Laboratory CSIR ,Hsohangabad Road, Near Habibganj Naka, Bhopal-462 026, India. Received 9 July 1999; received in revised form 14 February 2000; accepted 14 February 2000.

[6] CARVAJAL N., Yesid; JURADO S., Gustavo Iván. Contribución al estudio de las aleaciones zinc-aluminio hipereutéctoides con 22 a 27% de aluminio. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Metalúrgico. Pdf. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 1997. p. 9.

[7] C. P. Yan and S. K. Liu. Effects of certain elements on the mechanical properties of ZA-12 alloy. Dept. of Materials, Southwest Jiaotong University. Chengdu, Sichuan, P. R. China.

**[8]** GUPO INDUSTRIAL C&C. aleaciones de Zinc. [Hoja Técnica]. Pdf. Buenos Aires, Argentina, octubre 6 de 2012.

**[9]** International Lead Zinc Research Organization (ILZRO). Engineering Properties of Zinc Alloys. New York, 1981.

**[10]** LLANO URIBE, Carolina. Zamak una aleación muy versátil. En: Metal Actual. Mayo - Julio. 2008. Edición No. 8, p. 15-16.

**[11]** M. D. Hanna and M. S. Rashid. The influence of composition and microstructure on the strength of zinc alloys. Metallurgy Department. General Motors – North American Operation. Warren, USA.

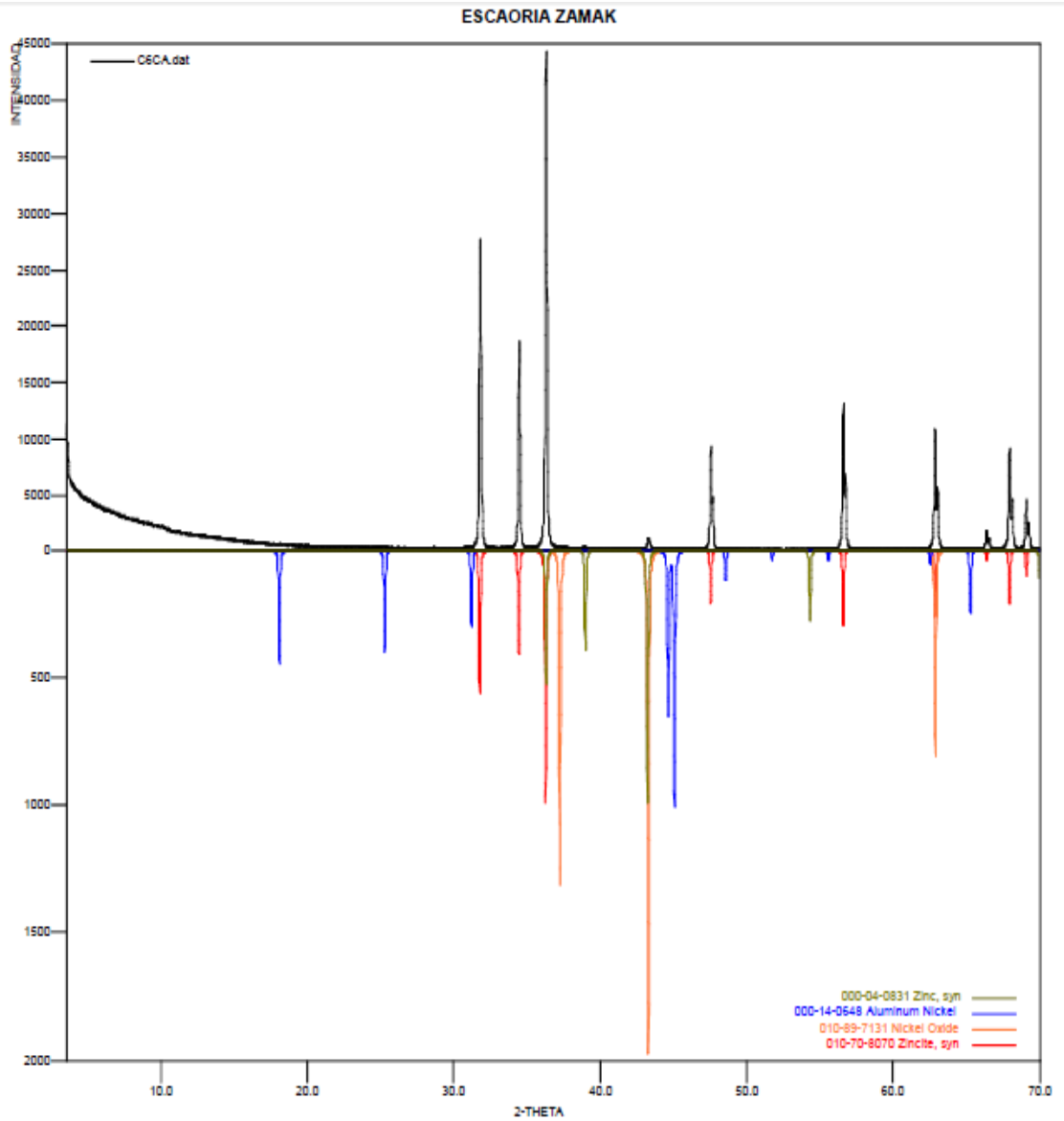
**[12]** MEZA MARTINEZ, Euclides Andino; FLORES SCHNEIDER, Gabriel Arturo. Elaboración y Caracterización de Algunas Propiedades de las Aleaciones Base Zinc con alto contenido de Aluminio (8-16%). Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Metalúrgico. Pdf. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 1993. p. 3-22.

**[13]** MOLDEA. Fundición por gravedad. [Online]. Enero 26 de 2010. Internet:<URL: <http://www.moldea.es/noticias/fundicion-por-gravedad/>>

**[14]** O. Fornaro, M. Pizarro and M.L. Castro. La microscopia óptica como herramienta para el estudio de la solidificación unidireccional de aleaciones Zn-Al. [online].Internet:<URL:[http://www.actamicroscopica.org/uploads/Suplementos/Vol\\_20\\_Supp\\_B\\_2011\\_Memorias\\_CIASSEM\\_2011/Docs/abstracts/Lujan\\_Castro\\_L\\_2.pdf](http://www.actamicroscopica.org/uploads/Suplementos/Vol_20_Supp_B_2011_Memorias_CIASSEM_2011/Docs/abstracts/Lujan_Castro_L_2.pdf)>.

# ANEXOS

## Anexo A. Difractograma de la escoria de Zamak niquelado (Ensayo DRX)



## Anexo B. Análisis Espectrometría de Emisión Óptica



Señores:  
FANTAXIAS SAS.  
Bucaramanga.

### “CERTIFICADO DE ANALISIS”

Su Ref.	Nuestra Ref.			Fecha: 23/08/2013			
Material: <b>MUESTRAS ZAMAC</b>							
Marca de Muestra	1C	2C	3C				
Lote N°							
Composición	%	%	%	%	%	%	%
<b>Cu</b>	2.837	2.405	2.037				
<b>Pb</b>	0.005	0.004	0.004				
<b>Fe</b>	0.006	0.004	0.003				
<b>Mg</b>	0.034	0.036	0.046				
<b>Si</b>	0.008	0.005	0.005				
<b>Mn</b>	0.001	0.001	0.001				
<b>Al</b>	3.762	3.160	3.051				
<b>Ni</b>	>0.060	>0.060	>0.060				
<b>Sn</b>	0.000	0.000	0.000				
<b>Cd</b>	0.000	0.000	0.000				
<b>Cr</b>	0.000	0.000	0.000				
<b>Zn</b>	Rem.	Rem.	Rem.				

**OBSERVACIONES:**

Método de análisis: Emisión Óptica. Según solicitud de 21/08/2013.

Muestra marcada así:

Muestra N°1. Marcada por el cliente como 1C.  
Muestra N°2. Marcada por el cliente como 2C.  
Muestra N°3. Marcada por el cliente como 3C.

<b>ABREVIACIONES</b>					<b>JHON FREDY GOMEZ LOPEZ</b> <hr/> <b>GESTIÓN DE CALIDAD</b>
Ag Plata	Cr Cromo	P Fósforo	Se Selenio	Al Aluminio	
Cu Cobre	Pb Plomo	Sn Estaño	As Arsénico	Fe Hierro	
Bi Bismuto	Mg Magnesio	S Azufre	Zn Zinc	Ca Calcio	
Cd Cadmio	Ni Níquel	Si Silicio	Ti Titanio		
Mn Manganeso	Sb Antimonio	< Menos que	Rem. Remanente		

NOTA: En caso de ser utilizado el presente ANALISIS sobre muestras de materiales NO suministrados por nosotros, con fines de reclamos o litigios con el respectivo proveedor, debe contarse con nuestro expreso consentimiento escrito.  
D 514-1

ZONA FRANCA PERMANENTE DEL CAUCA ETAPA N° 3, VIA PRIVADA PROPAL - LACABANA  
GUACHENE - CAUCA - COLOMBIA. PBX: 57 (2) 82599111 FAX: 57 (2) 8259422 A.A 8165 CALI  
Web Site: [www.propulsora.com.co](http://www.propulsora.com.co), E-mail: [propulsora@propulsora.com.co](mailto:propulsora@propulsora.com.co)

## Anexo C. Resultados Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)

- Zamak niquelado a 440 °C

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	04.44	19.32
<i>OK</i>	01.05	03.44
<i>AlK</i>	01.38	02.67
<i>CuK</i>	02.93	02.41
<i>ZnK</i>	90.20	72.15
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Matriz compuesta principalmente de Zn

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	02.93	10.88
<i>OK</i>	01.06	02.96
<i>AlK</i>	21.20	35.06
<i>CuK</i>	01.60	01.12
<i>ZnK</i>	73.21	49.98
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Fase compuesta principalmente de Zn y Al

- Zamak niquelado a 660 °C

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	08.28	26.74
<i>OK</i>	00.97	02.34
<i>AlK</i>	20.16	28.99
<i>CuK</i>	01.23	00.75
<i>ZnK</i>	69.37	41.17
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Fase compuesta principalmente de Zn y Al

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	04.78	14.19
<i>OK</i>	00.46	01.02
<i>AlK</i>	38.35	50.71
<i>SiK</i>	00.32	00.41
<i>NiK</i>	48.20	29.29
<i>CuK</i>	04.45	02.50
<i>ZnK</i>	03.45	01.88
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Fase compuesta principalmente de Ni y Al

- Zamak niquelado por encima de 770 °C

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	06.85	27.00
<i>OK</i>	01.64	04.84
<i>AlK</i>	01.72	03.02
<i>NiK</i>	00.55	00.44
<i>CuK</i>	02.99	02.23
<i>ZnK</i>	86.25	62.46
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Matriz compuesta principalmente de Zn

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	01.65	06.36
<i>OK</i>	01.29	03.73
<i>AlK</i>	20.95	35.93
<i>NiK</i>	00.37	00.29
<i>CuK</i>	03.20	02.33
<i>ZnK</i>	72.55	51.36
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Fase compuesta principalmente de Zn y Al

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	03.63	11.17
<i>AlK</i>	38.16	52.31
<i>SiK</i>	00.27	00.36
<i>NiK</i>	51.60	32.51
<i>CuK</i>	03.46	02.02
<i>ZnK</i>	02.88	01.63
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Fase compuesta principalmente de Ni y Al

## Anexo D. Resultados finales de las aleaciones



Señores:  
FANTAXIAS SAS.  
Bucaramanga.

### “CERTIFICADO DE ANALISIS”

Su Ref.	Nuestra Ref.						Fecha:
							30/09/2013
<b>Material:</b>							
<b>MUESTRAS ZAMAC</b>							
Muestra N°	1	2	3	4	5	6	
Marca del cliente	1	1B	2	2B	3	3B	
Composicion	%	%	%	%	%	%	%
<b>Cu</b>	2.829	1.519	3.078	1.561	3.238	1.639	
<b>Pb</b>	0.007	0.005	0.006	0.005	0.007	0.004	
<b>Fe</b>	0.034	0.032	0.021	0.021	0.015	0.065	
<b>Mg</b>	0.091	0.087	0.082	0.100	0.132	0.135	
<b>Si</b>	0.020	0.027	0.021	0.040	0.028	0.060	
<b>Mn</b>	0.004	0.004	0.002	0.005	0.003	0.006	
<b>Al</b>	7.780	8.431	12.465	13.994	16.588	17.717	
<b>Ni</b>	>0.060	>0.060	>0.060	>0.060	>0.060	>0.060	
<b>Sn</b>	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
<b>Cd</b>	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
<b>Cr</b>	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.003	
<b>Zn</b>	Rem.	Rem.	Rem.	Rem.	Rem.	Rem.	

#### OBSERVACIONES:

Método de análisis: Emisión Óptica. Según solicitud de 27/09/2013.

Muestra marcada así:

- Muestra N°1. Marcada por el cliente como 1.
- Muestra N°2. Marcada por el cliente como 1B.
- Muestra N°3. Marcada por el cliente como 2.
- Muestra N°4. Marcada por el cliente como 2B.
- Muestra N°5. Marcada por el cliente como 3.
- Muestra N°6. Marcada por el cliente como 3B.

ABREVIACIONES					
Ag Plata	Cr Cromo	P Plomo	Se Selenio	Al Aluminio	
Cu Cobre	Pb Plomo	Sn Estaño	As Arsénico	Fe Hierro	
Bi Bismuto	Mn Manganeso	S Azufre	Zn Zinc	Ca Calcio	
Cd Cadmio	Ni Níquel	Si Silicio	Ti Titanio		
Mn Manganeso	Sb Antimonio	< Menos que	Rem Remanente		

*Julietta Mondragon V.*

**GESTIÓN DE CALIDAD**

NOTA: En caso de ser utilizado el presente ANALISIS sobre muestras de materiales NO suministrados por nosotros, con fines de reclamo o litigio con el respectivo proveedor, debe constar con nuestro expreso consentimiento escrito.

D.514-1

ZONA FRANCA PERMANENTE DEL CAUCA ETAPAN 3 VIAL PRIVADA PRIMAL - LACABANA  
GUACHENE - CAUCA - COLOMBIA. FÓN: 57 (2) 8239911 FAX: 57 (2) 8239422 A.A. 8165 CALL  
Web Site: [www.propulsora.com.co](http://www.propulsora.com.co) E-mail: [propulsora@propulsora.com.co](mailto:propulsora@propulsora.com.co)

ALEACIONES DE ZINC : USOS Y SELECCION

Característica comparada	ALEACION												
	Nº: 3	Nº: 5	Nº: 7	Nº: 2	Nº: 6	Nº: 10	Nº: 13	ZA 8	ZA 12	ZA 27	Nº: 1	Nº: 4	Nº: 8
Colabilidad en matriz a presión	E	E	E	E	NR	NR	NR	NR	MB	MB	MB	MB	MB
Colabilidad en arena	NR	NR	NR	B	NR	NR	NR	MB	B	E	E	E	R
Colabilidad en coque	NR	NR	NR	B	MB	NR	B	MB	B	E	E	E	R
Colabilidad por centrifugado	R	R	NR	R	NR	E	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Resistencia	B	B	B	MB	B	NR	MB	MB	MB	E	E	E	R
Ductilidad	E	MB	E	E	B	NR	B	MB	MB	B	B	B	R
Resistencia al impacto	E	E	E	E	MB	R	B	MB	MB	B	B	B	R
Resistencia al desgaste	B	B	B	MB	R	R	MB	MB	MB	E	E	E	R
Maquinabilidad	E	E	E	E	B	R	MB	MB	MB	E	E	E	B
Estandaridad a la presión	E	E	E	E	MB	NR	MB	MB	MB	E	E	E	R
Uso en Galvanoplastia	E	E	E	E	NR	MB	NR	MB	MB	B	B	B	NR
Anodizado	E	E	E	E	MB	MB	B	B	E	E	E	E	MB
Corrosión	E	E	E	E	B	B	B	B	MB	B	B	B	R
Prizado	E	E	E	E	E	MB	E	E	E	E	E	E	E
Estabilidad dimensional	E	E	E	E	MB	B	MB	MB	MB	MB	MB	MB	R
Anti - Chispeo	E	E	E	E	E	B	E	E	E	E	E	E	R

E= excelente MB= muy bueno B= bueno R= razonable NR= no recomendado

<sup>1</sup>Para ZA 12 y ZA 27 es Inyección con cámara fría

ALEACIONES DE ZINC : PROPIEDADES

Propiedades Mecánicas (Unidades)	ALEACION													
	Mezcla de colada		ZA 8		ZA 12		ZA 27		ZA 12		ZA 27		ZA 27	
	Nº: 3	Nº: 5	Nº: 7	Nº: 2	Nº: 6	Nº: 10	Nº: 13	ZA 8	ZA 12	ZA 12	ZA 27	ZA 27	ZA 27	ZA 27
Resistencia a la tracción (MPa)	283	328	283	359	195	220	283	295	374	317	345	409	441	421
Tensión de fluencia a tracción lim 0,2% (MPa)	221	289	221	283	-	-	200	206	290	214	289	317	372	379
Elongación en 50 mm (%)	10	7	13	7	2	2	1 a 2	1 a 2	0 a 10	1 a 3	1 a 3	4 a 7	3 a 6	0 a 11
Resistencia al corte (MPa)	214	262	214	317	-	-	-	241	275	255	-	296	290	325
Dureza Brinell	82	91	80	100	90	110	85	85 a 90	95 a 110	89 a 105	89 a 105	95 a 115	110 a 120	105 a 125
Resistencia al impacto Charpy (J)	58	65	58	48	20	20	20	-	42	25	-	25	47	58
Límite de fatiga S <sub>10</sub> <sup>7</sup> (MPa)	48	57	47	59	-	-	-	52	103	103	-	117	172	103
Tensión de fluencia a compresión lim 0,1% (MPa)	414	600	414	641	-	-	199	214	252	227	234	289	331	285
Módulo de elasticidad (MPa x 10 <sup>3</sup> )	85,5	85,5	85,5	85,5	-	-	85,5	85,5	-	82,7	82,7	82,7	82,7	77,9
Coefficiente de Poisson	0,27	0,27	0,27	0,27	-	-	-	0,29	-	0,3	-	-	-	0,32

<sup>1</sup>Para ZA 12 y ZA 27 es Inyección con cámara fría

<sup>2</sup> 3 horas a 320 °C y enfriamiento en horno

Conversion: 1 MPa = 0,1 kg/mm<sup>2</sup>

Condiciones generales de trabajo

Temperatura de colada en inyección: +10 a +40 °C sobre la temperatura de líquidos

Temperatura de ejection de la matriz de inyección: 190 a 220 °C

Temperatura de colada en coque: +55 a +70 °C sobre la temperatura de líquidos

Temperatura de ejection de coque: 220 a 250 °C

Anexo E. Propiedades de las aleaciones Zn-Al