



**PLAN DE REUBICACIÓN DE MAQUINARIA  
PARA LÍNEA DE FUNDICIÓN DE INDUSTRIAS  
MAGMA S.A.**

**GERSON JULIÁN VELOSA**

**UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MECÁNICA INDUSTRIAL  
BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA**

**2015**



# **PLAN DE REUBICACIÓN DE MAQUINARIA PARA LÍNEA DE FUNDICIÓN DE INDUSTRIAS MAGMA S.A.**

Gerson Julián Velosa

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Tecnólogo en  
Mecánica Industrial

Director:

Daniel Eduardo Villalobos Correa

Ingeniero Mecánico

Línea de Investigación

Materiales y Procesos de Manufactura

UNIVERSIDAD ECCI

FACULTAD DE INGENIERÍA

MECÁNICA INDUSTRIAL

BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA

2015

*"Sentir el cariño de los que no conocemos, de los desconocidos que están velando nuestro sueño y nuestra soledad, nuestros peligros o nuestros desfallecimientos, es una sensación aún más grande y más bella, porque extiende nuestro ser y abarca todas las vidas".*

- P. Neruda

## Agradecimientos

¡Venturoso aquel a quien el cielo dio un pedazo de pan, sin que le quede obligación de agradecerse a otro que al mismo cielo!

Cuando la gratitud es tan absoluta las palabras sobran. Sin embargo, no puedo dejar de nombrar a las personas que han contribuido desde el primer momento a mi formación y a incentivar en mí el deseo de investigar y conocer los hechos que envuelven el comportamiento de la naturaleza misma. Ha sido una gran experiencia conocerlos y de alguna u otra manera que sean la inspiración para continuar día a día en búsqueda de mejorar todas mis capacidades e incentivar a los demás a hacerlo.

Al director:

Ing. Daniel Villalobos, por su apoyo, paciencia y disposición de enseñanza.

Por la colaboración incondicional y transmitir su conocimiento para la consecución de este proyecto.

Dr. Sebastián Gómez.

Ing. Juan Ramón Vargas.

Dr. Félix Gómez.

A la Universidad ECCI por apoyar procesos que involucren al estudiantado en la industria.

## Resumen

El método de la fundición ha sido trabajado por el hombre desde la antigüedad, movido por sus necesidades a lo largo de los siglos, este proceso ha requerido la inclusión de mejoras a niveles tecnológicos y operacionales. Con su industrialización, la fundición abarca el control de diversos factores desde la obtención de la materia prima hasta el producto final.

Este trabajo muestra los avances obtenidos a lo largo de un proceso de planeación y reubicación de maquinaria de la línea de fundición de Industrias Magma S.A., se tuvo en cuenta como factor primordial la infraestructura física propia de la empresa. Los resultados presentados (a modo de Layouts), muestran la disposición de la maquinaria basándose en el espacio adecuado para permitir el flujo de materias primas, equipos de transporte, y productos terminados dentro de los procesos de moldeo de resinas, moldeo en arena verde, colado, almacenamiento y recuperación de arenas.

***Palabras Claves: Colado, Fundición, Layout, Moldeo en Arena, Moldeo de resinas, Planta física.***

## **Abstract**

The casting has been worked by man since ancient times, driven by their needs over the centuries, this process has required the inclusion technological and operational improvements. With industrialization, the casting covers the control of various factors since obtaining the raw material to finished product.

This paper shows the advances obtained throughout a planning process and relocation of line machinery foundry for Industrias Magma S.A., was considered as a primary factor, the physical infrastructure of the company. The results presented (as a Layouts) show the disposition of machinery base on adequate space to allow the flow or raw Materials, transport equipment, and finished in molding processes with chemical binders, Green sand molding, pouring, sand storage and retrieval.

***Palabras Claves: Foundry, Layout, Sand Molding, Chemical Binders, Pouring, physical plant.***

# Contenido

<b>Agradecimientos .....</b>	<b>V</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>VI</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>VII</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>XIII</b>
<b>Capítulo 1. Marco Teórico .....</b>	<b>3</b>
1.1. Proceso de Fundición.....	3
1.1.1 Generalidades.....	4
1.1.1.1 Rango en tamaño.....	7
1.1.1.2 Desarrollo de forma.....	8
1.1.1.3 Costos de herramienta.....	10
1.1.1.4 Estructura.....	10
1.1.2. Moldeo.....	11
1.1.3. Preparación de Arena.....	17
1.1.4. Factores de comportamiento del material fundido en el molde.....	18
1.2. Sistemas de moldeo.....	20
1.2.1. Moldeo con aditamentos químicos.....	20
1.2.2. Moldeo en arena verde.....	22
1.3. Microestructura característica de las fundiciones ferrosas.....	23
1.3.1. Fundición Gris.....	24
1.3.2. Fundición Nodular.....	24
1.3.3. Fundición Blanca.....	25
1.4. Elementos aleantes en la fundición.....	26
<b>Capítulo 2. Metodología.....</b>	<b>28</b>
2.1. Levantamiento y presentación de planos.....	28
2.1.1. Toma de medidas y levantamiento de plano infraestructura nave central Industrias Magma S.A. ....	28
2.1.2. Maquinaria PALMER .....	29
2. 2.1.2.1. Mezcladora continua M-200 XLD.....	29
3. 2.1.2.2. Sistema de Recuperación Mecánica de arena Serie-CAR.....	30
2.1.3. Depósito de Arenas.....	31
2.1.4. Ampliación nave central.....	32
2.1.5. Nave Norte.....	33
2.1.6 Nave Sur.....	35
2.2. Trabajo de medidas en Metalbogotá S.A. ....	36
2.2.1. Cárcamo Molino Speed Muller.....	36
2.2.2. Cárcamos Moldeadoras.....	39

2.2.3. Cárcamo elevador de cangilones .....	41
<b>Conclusiones.....</b>	<b>43</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>46</b>

# Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 2. Fundición en acero para planta de energía nuclear.</b> .....	6
Figura 3. Fundición en Acero (Peso: 280 toneladas). .....	7
Figura 4. Fundición de precisión para implante dental en aleación de cobalto-cromo (Peso: 9 g).....	7
Figura 5. Puerta ensamblada (Fundición de Hierro).....	8
Figura 6. Conjunto de piezas de fundición de acero. ....	9
Figura 7. Fundición en arena, aleación de Magnesio: (a) Filtro de bomba y válvula, (b) Cubierta de compresor. ....	9
Figura 8. Esquema básico de un molde usado en la fundición (sin considerar cavidades de flujo de metal).....	11
Figura 8.1. Función del noyo dentro de un modelo hueco. ....	12
Figura 9. Molde ensamblado con inserción de núcleo listo para fundición.....	13
Figura 10. (1) Ubicación de modelos sobre la mesa, (2) Alineación de la semi-caja inferior con respecto a la mesa de la máquina y los modelos, (3) Descarga de arena. ....	14
Figura 11. (4)(5)(6)(7) Apisonamiento, compactación de arena sobre los modelos ubicados previamente, aquí surge la figura de “Impresión de forma”......	14
Figura 12. (8) Arena totalmente compactada sobre el modelo, (9) Levantamiento de molde con modelo impreso. ....	15
Figura 13.1 Semi-caja .....	15
Figura 13.2 Semi-cajas con patrones ‘impresos’ en negativo. ....	16
Figura 14. Producto Final mediante método de ‘impresión’ .....	16
Figura 15. Esquema básico de fluido dentro de la arena en el molde.....	17
Figura 16. Cambio de volumen (específico) de la pieza dentro del molde con respecto al tiempo y a la temperatura [3]. ....	18
Figura 17. Proceso de adición química sobre el molde en arena.....	21
Figura 18. Resistencia a la compresión vs humedad en la arena verde. ....	23
Figura 19. Presencia de grafito en forma de escama.....	24
Figura 20. Fundición nodular sobre una matriz de ferrita. ....	25
Figura 21. Forma característica de carbono en la fundición maleable (rosetas) ..	25
Figura 22. Formaciones dendríticas en la fundición blanca .....	26
Figura 23. Nave central Industrias Magma S.A. ....	28
Figura 24. Mezcladora continua M-200 XLD. 1 .....	29
Figura 27. Área dispuesta para la chatarra (Nave Norte).....	32

<i>Figura 28. Cocina, Cuarto para elaboración de machos, Oficina. ....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 29. Nave Norte con especificaciones de área y delimitación de oficina de almacenaje (parte superior izquierda). ....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 31. Cárcamo Molino Speed Muller. ....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 32. Mezcladora (Molino) de arena para fundición ....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 33. Vista superior Molino mezclador de arena (detalle: Aspas) ....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 34. Cárcamo con disposición de platinas transversales.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 35. Cárcamo para segunda moldeadora (no se detalla disposición de platinas).....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 36. Disposición de centro de moldeadoras alineadas con vigas y ubicadas respecto a columnas. ....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 37. Cárcamo para elevador de cangilones.....</i>	<i>42</i>

## Lista de tablas

	Pág.
<b><i>Tabla 1. Diferentes Metales usados para la producción de fundición. ....</i></b>	5
<b><i>Tabla 2. Factores de consideración en la elección del proceso de fundición adecuado. ....</i></b>	20
<b><i>Tabla 3. Punto de fusión de metales usados comúnmente en las aleaciones de fundición [11]. ....</i></b>	26

# Introducción

El proceso de fundición de metal es quizás, la manera más simple y directa de obtener piezas netas (con su forma esperada) sin dar relevancia a procesos posteriores de mecanizado y acabado en gran proporción. El moldeo en arena, la fusión de metal en hornos especiales, las técnicas de vaciado, los tratamientos térmicos, y otros factores tanto físicos como de planeación, requieren un estudio avanzado y profundo acerca de las variables y condiciones del proceso en todo su sistema; a pesar de esto, los productos que se generan hacen parte de un rango extenso de utilidad dentro de la industria y las necesidades que requiere principalmente en el sector de la maquinaria.

Así mismo, el sistema en sí, la fundición, requiere de planes y disposiciones que ayuden a mejorar la capacidad productiva con miras a alcanzar niveles óptimos de calidad y servicio. Las fábricas que adecúan su planta física para elaborar piezas fundidas, deben fijar como prioridad contar con las condiciones que aseguren el flujo de material, menores recorridos de metal para colado, disponibilidad de herramientas, ubicación adecuada de maquinaria, depósitos de sobresaliente capacidad, seguridad industrial, todo esto, para llevar a otro nivel el proceso manteniendo siempre la tradición y objetividad que ha caracterizado a la fundición como un proceso científico y a la vez enriquecedor de la creatividad humana.

El objetivo general de este trabajo es solventar en la medida de las posibilidades la necesidad de Industrias Magma S.A. de optimizar la base de su línea de fundición; esto será posible, mediante un plan de reubicación de la maquinaria de la que dispone la empresa para sus procesos de moldeo de resinas, moldeo en arena verde, colado, almacenamiento y recuperación de arenas.

Para lograr constituir el objetivo principal del proyecto, se han planteado una serie de objetivos específicos, el primero sirve como preparación y desarrollo durante el tiempo transcurrido en la realización del plan de reubicación:

- Obtener información acerca de los métodos de fundición usados para mejorar la producción y su aplicabilidad en la optimización de los procesos en la industria. Esto es, realizar un trabajo conjunto tanto de consulta en bibliografía y del personal de Industrias Magma S.A. conforme a las expectativas que se tienen para mejorar la producción de la empresa.

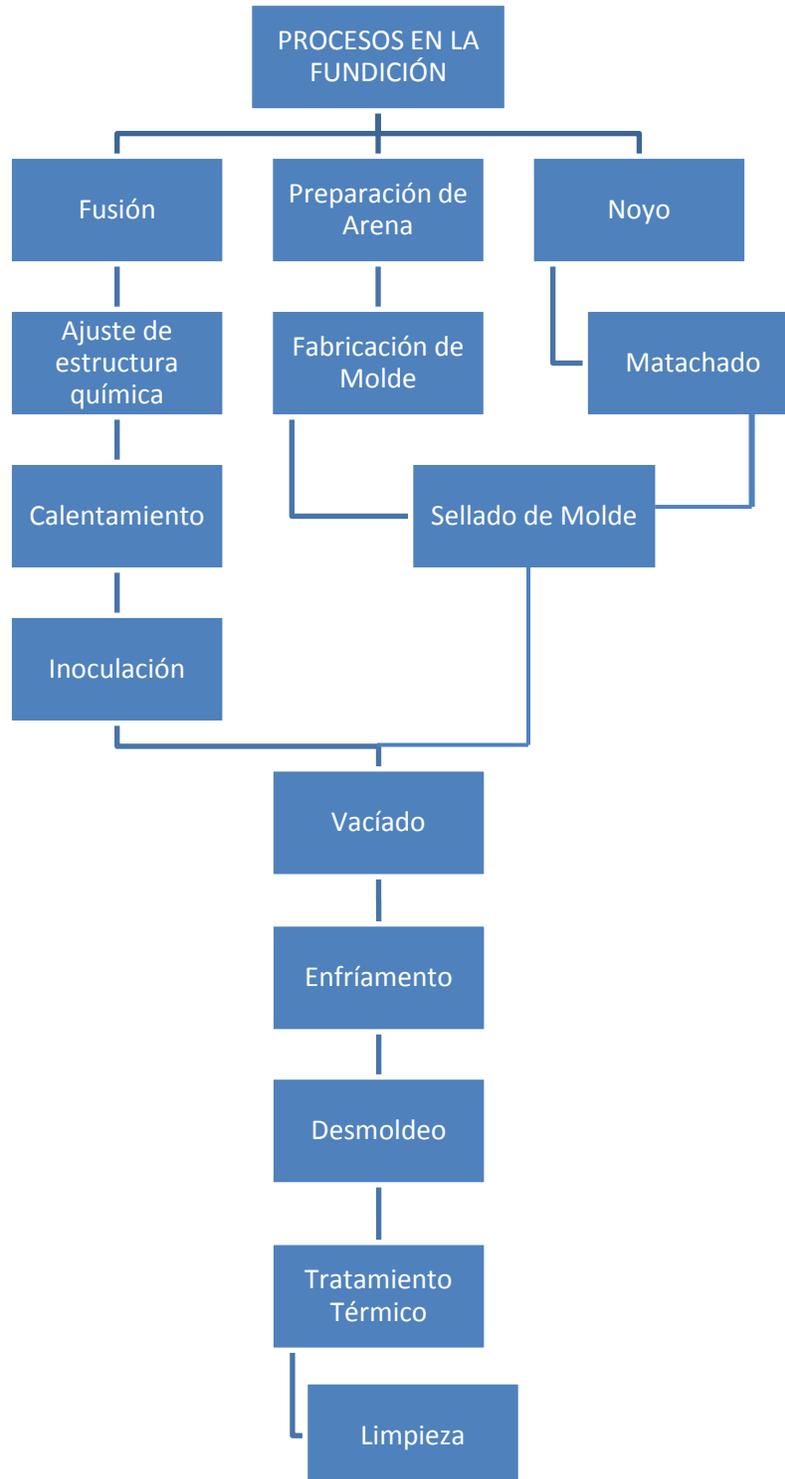
- *Evaluar las condiciones iniciales de la ubicación de la maquinaria de Industrias Magma S.A. para así establecer la planeación de cara a las mejoras en su línea de fundición.* Dentro del proceso de conocer los procesos llevados por la empresa es inherente analizar la ubicación de la maquinaria dentro de la planta física de la misma.
- *Elaborar el flujograma de procesos de Industrias Magma S.A.* Se concluye el proyecto con la elaboración de un flujograma bajo el supuesto de reconocer la implementación de la maquinaria nueva y la reubicación de la existente como la solución definitiva dentro de un campo de la industria que se encuentra en constante cambio.





# Capítulo 1. Marco Teórico

## 1.1. Proceso de Fundición.

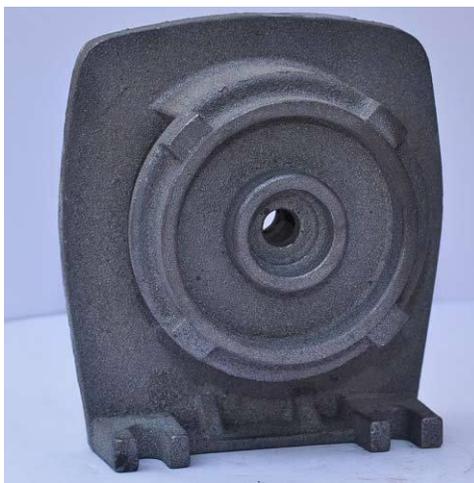


### 1.1.1 Generalidades

El proceso de fundición de metales es la ruta más simple y directa para obtener un producto en su forma final o por lo menos, evitando asumir extensos trabajos de mecanizado. Básicamente, este procedimiento en su forma más fundamental, requiere de un molde diseñado con una cavidad, ésta de la forma deseada de acuerdo al diseño de la pieza que se quiera obtener; en segundo lugar, en relación directa se requiere de metal fundido para que sea vertido en el molde [1].

El molde entonces, mantiene el metal en la forma elaborada hasta que éste se solidifique. A pesar de parecer algo simple, el proceso de manufactura de la fundición de metal se puede abordar como una ciencia y un arte.

En la Figura 1 se muestra un producto fundido para el sector automotriz, se destacan en él a simple vista factores como el elaborado diseño y la textura de la superficie, esto debido al contacto que tiene el metal fundido en su proceso de solidificación con la arena del molde donde fue vertido.



*Figura 1. Fundición bomba centrífuga*

Fuente. <http://trade.indiamart.com/details.mp?offer=2324666762>

Grupo Principal	Sub-Conjuntos	Otras divisiones y componentes de la aleación
Ferrosos	Hierro	Gris: contenido > 95% hierro con carbono, silicio y manganeso. Dúctil: Hierro con carbono, silicio y magnesio. Maleable: constituido como el Hierro gris. Fundido en estado frío, grafito agregado a través de tratamiento térmico. Aleación: contiene por encima del 30% de Cromo y/o Níquel para proporcionar mayor dureza y disponibilidad al tratamiento térmico.
	Acero	Acero al carbono: Contiene niveles de carbón por encima de 1.7% (usualmente 0.1% a 0.5%) y Manganeso por encima de 1.6%. Acero de baja aleación: Aleación con hierro y baja cantidad de carbono (0.35% máximo), contiene 3 a 5% de Cromo y 2 a 8% Níquel. Acero Inoxidable: Aleación con base en Hierro, contiene arriba de 30% en Cromo y/o más de 40% en Níquel. La resistencia a la corrosión se incrementa con contenido Cromo-Níquel.
No-Ferrosos	Aluminio	Varias aleaciones contienen Silicio, Cobre y/o Magnesio.
	Cobre	Cobre Puro: > 99% puro. Latón: Una aleación de Cobre y Zinc (superior a 45%) algunas veces superior a 2% menos y 1% Estaño. Bronce: Una aleación de Cobre y Estaño (superior a 12%). Variaciones: Bronce con Plomo (9 a 22% Plomo), Metal para armas (3 a 5% Plomo & 2 a 8% Zinc), Bronce de Aluminio (con 6 a 9% Aluminio, 0 a 5% Níquel, 0.5 a 5% Hierro), Bronce Fosforado.
	Zinc	Zinc basado en aleaciones superiores a 4% en Aluminio y algunas inclusiones de Cobre, Magnesio, etc.
	Súper Aleaciones	Níquel o Cobalto: aleaciones base en combinación con Cromo, Hierro, Manganeso, Molibdeno, etc.
	Magnesio	Magnesio aleado con Aluminio, Zinc y Torio. Otros metales pueden ser adicionados en algunas proporciones.
	Titanio	Titanio Puro: > 99% puro. $\alpha/\beta$ aleados con Aluminio, Vanadio, Zinc, Molibdeno y Circonio.

**Tabla 1.** Diferentes Metales usados para la producción de fundición.

Los metales usados en este proceso se clasifican en dos grupos principales: ferrosos y no ferrosos. Y así mismo en pequeñas categorías dependiendo de sus características (Tabla 1).

Los procesos de fundición son entonces, requeridos para un alto rango de usos y varían en su tamaño entendiéndose las necesidades de la industria y otras aplicaciones. Es posible producir piezas (componentes) de tamaños pequeños hasta pensar en grandes productos por encima de las 300 toneladas (Figura 2).



**Figura 2. Fundición en acero para planta de energía nuclear.**

*Fuente: Sheffield Forgemasters Engineering Ltd.*

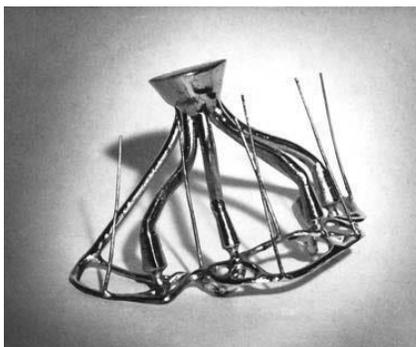
La versatilidad de la fundición de metal está demostrada por el número de procesos de fundición y moldeo actualmente disponibles. Esta amplia gama de opciones ofrece a los ingenieros de diseño y usuarios de componentes enorme flexibilidad en sus necesidades de trabajo con metales. Cada proceso ofrece distintas ventajas y beneficios cuando se combina la aplicación y aleación adecuada [2]. Es por esto que se hace necesario el estudio de no sólo las virtudes de esta técnica, sino más bien sus dificultades que son las que influyen en definitiva en la culminación exitosa del proceso. Las siguientes, son, algunas características importantes que definen el papel de la fundición en la ingeniería.

### 1.1.1.1 Rango en tamaño

La demanda en la industria es diversa, bien sea un pequeño elemento o grandes partes para maquinaria pesada o estructuras, se hace menester buscar la salida más eficaz para obtener el producto; es aquí donde la fundición como método de fabricación ofrece la posibilidad (mencionada en el presente ítem) de tener un rango fundamental en el tamaño de la pieza que se elabora. En las figuras 3 y 4, se aprecia en cierta proporción el alcance de tamaño que ofrece la fundición, si bien en la primera se aprecia una pieza de 280 toneladas con especificaciones técnicas propias del trabajo que va a realizar, en la siguiente figura de manera más minuciosa, el proceso sigue una corriente bastante similar de pasos para llegar al producto final.



*Figura 3. Fundición en Acero (Peso: 280 toneladas).*



*Figura 4. Fundición de precisión para implante dental en aleación de cobalto-cromo (Peso: 9 g).*

### 1.1.1.2 Desarrollo de forma.

Ningún otro proceso ofrece el mismo rango de posibilidades para la formación de figuras complejas, ya sea con respecto a contornos elaborados o detalles más específicos que potencialmente se hacen más difíciles de desarrollar en una máquina herramienta. En las figuras 5-6-7, se aprecian algunos ejemplos de las bondades que ofrece el proceso de la fundición en cuanto a diversas formas.



*Figura 5. Puerta ensamblada (Fundición de Hierro)*

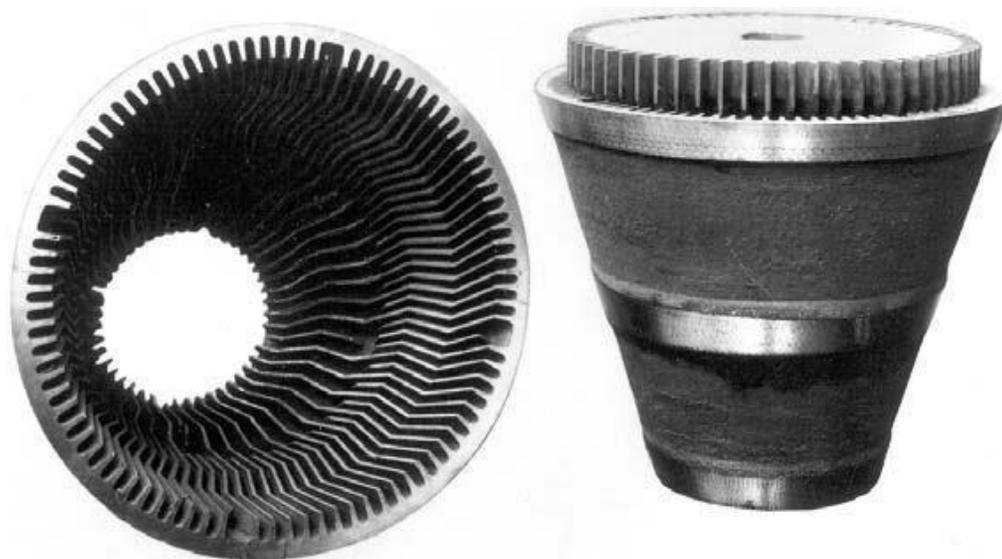


Figura 6. Conjunto de piezas de fundición de acero.

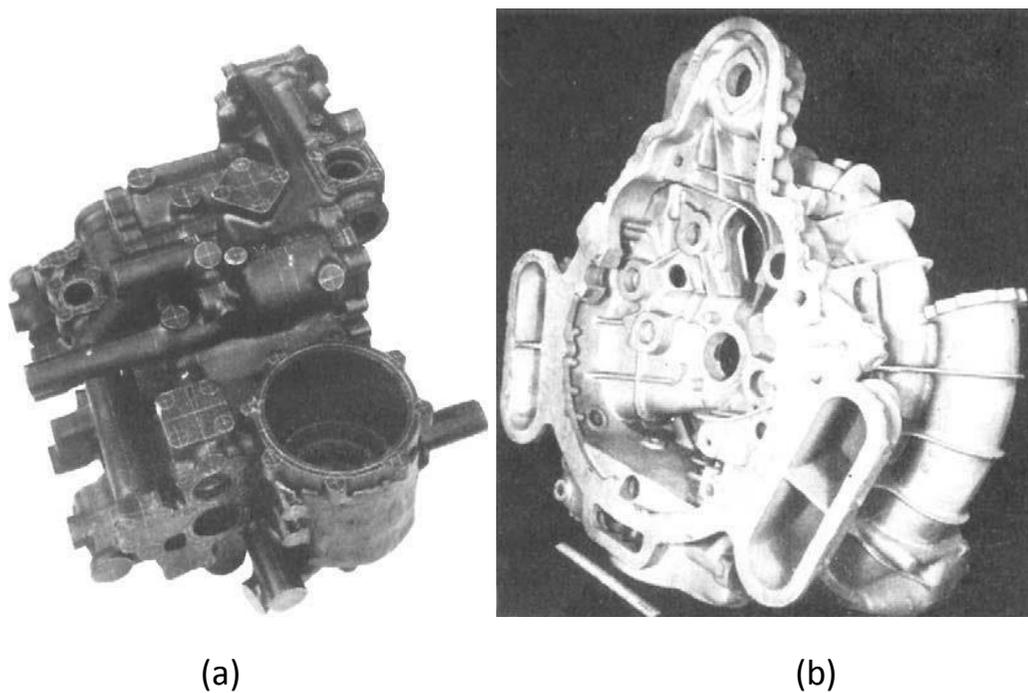


Figura 7. Fundición en arena, aleación de Magnesio: (a) Filtro de bomba y válvula, (b) Cubierta de compresor.

### **1.1.1.3 Costos de herramienta.**

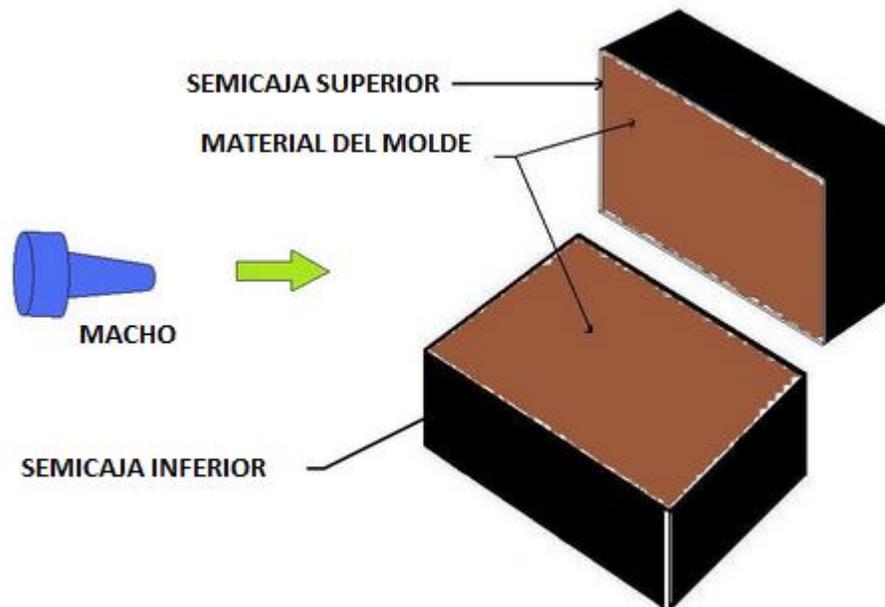
La fundición es indicada tanto para producir piezas únicas o de forma masiva; del simple hecho de tomar la forma en réplica positiva de un diseño elaborado en un material relativamente barato, a comparación de los costos que se asumen para realizar piezas frente a otros tipos de procesos, se hace importante este proceso. Por esto, es que en ciertos sectores se hace más conveniente hacer uso de técnicas de moldeo para simplificar de la mejor manera posible el uso de maquinaria y herramienta. Aun cuando el modelo a fundir posea una forma intrincada, la elaboración de su negativo, se puede comparar favorablemente con los elaborados para otras industrias, como por ejemplo, los troqueles o demás accesorios.

Junto con los bajos costos, también es asumible como ventaja, la posibilidad de realizar cambios en el diseño o modificaciones dimensionales durante las etapas de planeación, desarrollo y producción de la fundición. La elaboración de modelos de madera es una alternativa muy común a la hora de lograr las piezas con excelentes acabados superficiales para la elaboración del molde, sin embargo, el modelado por ordenador y las técnicas de creación rápidas de prototipos proveen al proceso de una ayuda relevante para reducir aún más los costos y los plazos de entrega. Un ejemplo de esto, es la implementación de tecnología de impresión en 3D a base de polímeros, lo cual confiere un sobresaliente acabado superficial y la disminución de desgaste al golpe debido al momento de extraer los modelos del molde para su posterior colado.

### **1.1.1.4 Estructura**

Las piezas fundidas adquieren muchas de sus características metalúrgicas durante la solidificación. Incluso en los casos en que se modifican las principales características estructurales en un enfriamiento adicional o tratamiento térmico posterior, la solidificación puede todavía ejercer una influencia duradera en la estructura y propiedades. Todas estas maneras de optimización se derivan pues, en un estudio bastante amplio correspondiente a la Ingeniería de Materiales. [2]

### 1.1.2. Moldeo



*Figura 8. Esquema básico de un molde usado en la fundición (sin considerar cavidades de flujo de metal).*

Una consideración importante en la manufactura de fundición de metal es el molde. La fundición en arena es la técnica más común de producción, especialmente para fundiciones ferrosas. La arena es mezclada con diferentes tipos de aglutinantes químicos y apisonada conforme al modelo para formar la mitad del molde. Las dos mitades son unidas para finalizar el proceso, de aquí parten muchas más variables a considerar, en la Figura 9, se muestra un corte transversal de un molde después de su elaboración con un núcleo de arena (ó noyo), este es un elemento que sirve para obtener cavidades siempre que sean necesarias en el diseño y funcionalidad de la pieza a producir.

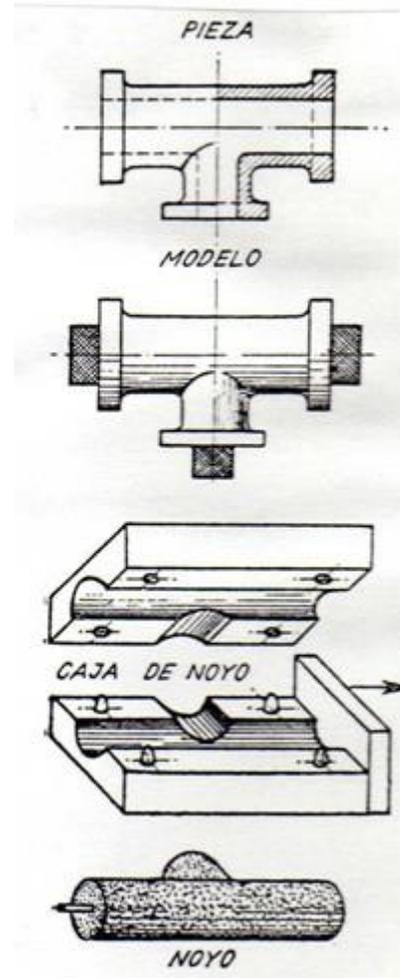
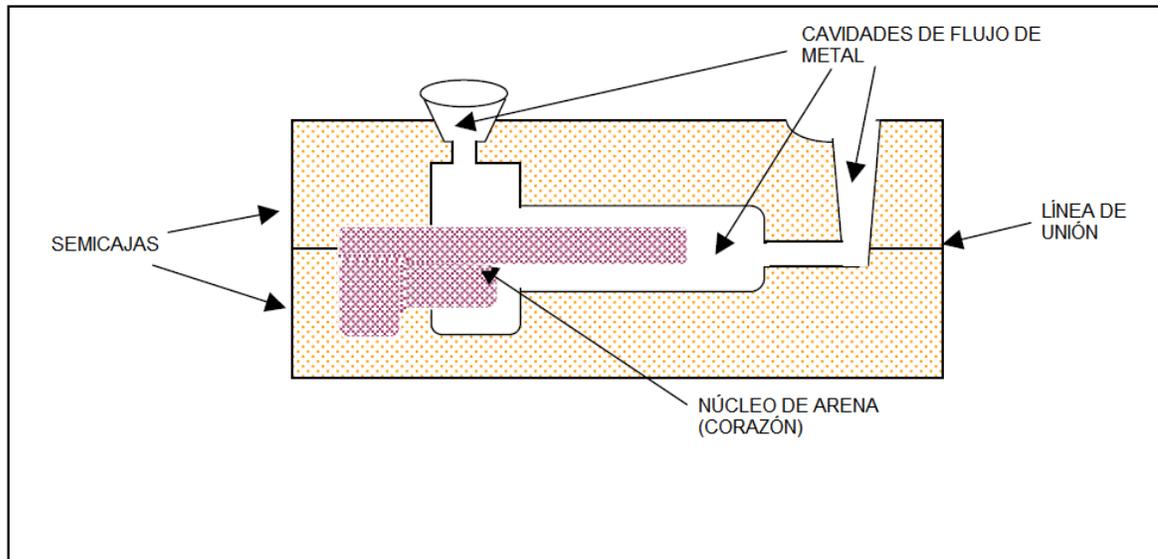


Figura 8.1. Función del noyo dentro de un modelo hueco.

La elaboración del noyo requiere de un molde propio, bajo el mismo principio de una caja de moldeo se elabora este elemento teniendo en cuenta las tolerancias correspondientes y la técnica de curado que se utilice (Figura 8.1). Este elemento se introduce después en el molde en la ubicación donde se requiera que el metal fundido no ocupe espacio durante el vertimiento y se genere entonces la cavidad que se necesite. Un aspecto a mejorar en la elaboración de los noyos, es generar una opción más aprovechable para las cajas donde se elaboran, dado que podrían hacerse innecesarias una vez se usan para elaborar una cierta cantidad de piezas en específico; una alternativa viable se encuentra en el uso de tecnología de impresión donde los materiales de las cajas puedan ser reciclados una vez no se requiera su uso en el futuro.



*Figura 9. Molde ensamblado con inserción de núcleo listo para fundición.*

El costo y la calidad de la fundición dependen estrechamente de la calidad del molde. El sector está en continuo crecimiento, y requiere métodos que minimicen tiempos de fabricación de moldes, de aquí se puede pensar que la fundición a pesar de ser un proceso con notables ventajas, está constituido por una serie de subprocesos de fabricación que requieren métodos cuidadosos e innovadores como el que compete el presente ítem. Es entonces, que la innovación se hace importante en este proceso de producción mediante métodos más bien indefinibles relativamente a la proporción de opciones que se pueden idear para la reducción también del trabajo del operador, los esfuerzos físicos y mentales que conlleva.

Dentro de la fabricación pues, y adentrándose dentro de los procesos esperados dentro del proyecto, la forma de moldeo se hace mediante maquinaria, dejando de lado algunos métodos ambiguos realizados de forma directa por el operario; este método se enfoca en la forma de compactar la arena alrededor del molde. En la mesa de la maquina moldeadora se ubican los modelos, posteriormente se ubica la semi-caja inferior, se descarga la arena y se apisona. En las figuras 10-11-12, se describe mediante 9 pasos gráficamente este método.

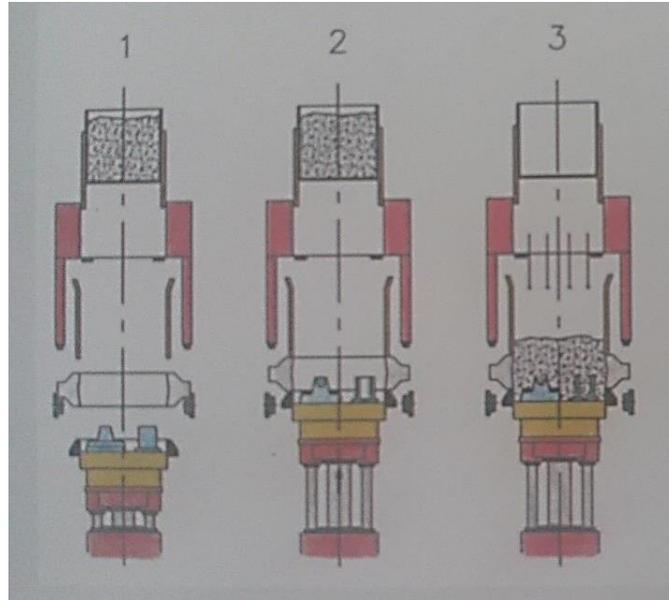


Figura 10. (1) Ubicación de modelos sobre la mesa, (2) Alineación de la semi-caja inferior con respecto a la mesa de la máquina y los modelos, (3) Descarga de arena.

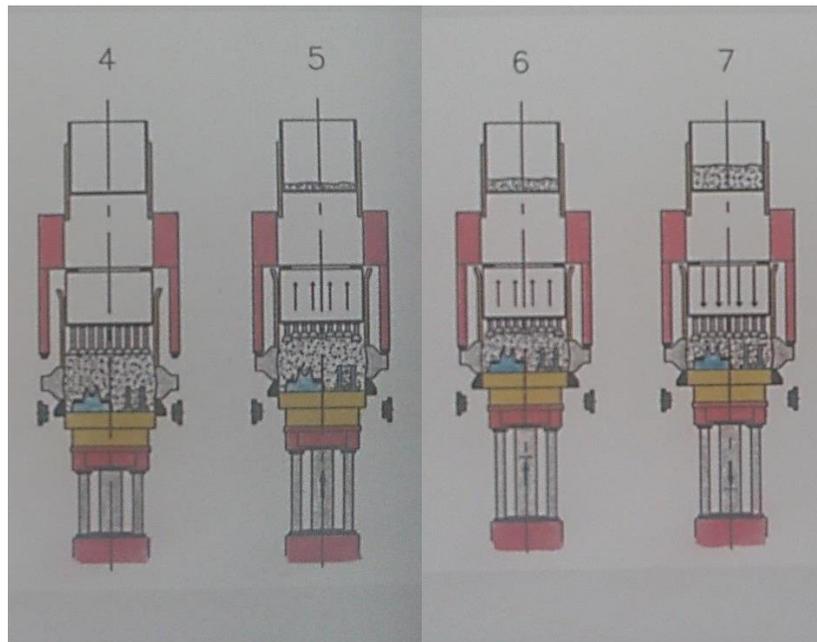
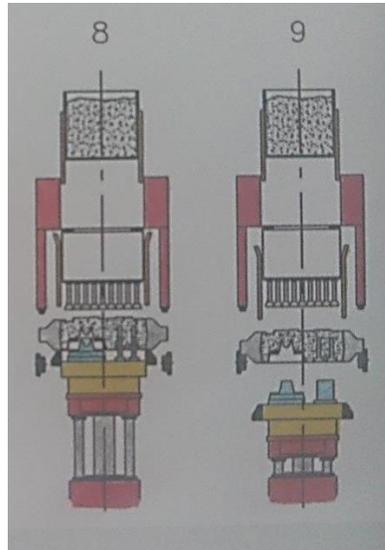


Figura 11. (4)(5)(6)(7) Apisonamiento, compactación de arena sobre los modelos ubicados previamente, aquí surge la figura de "Impresión de forma".

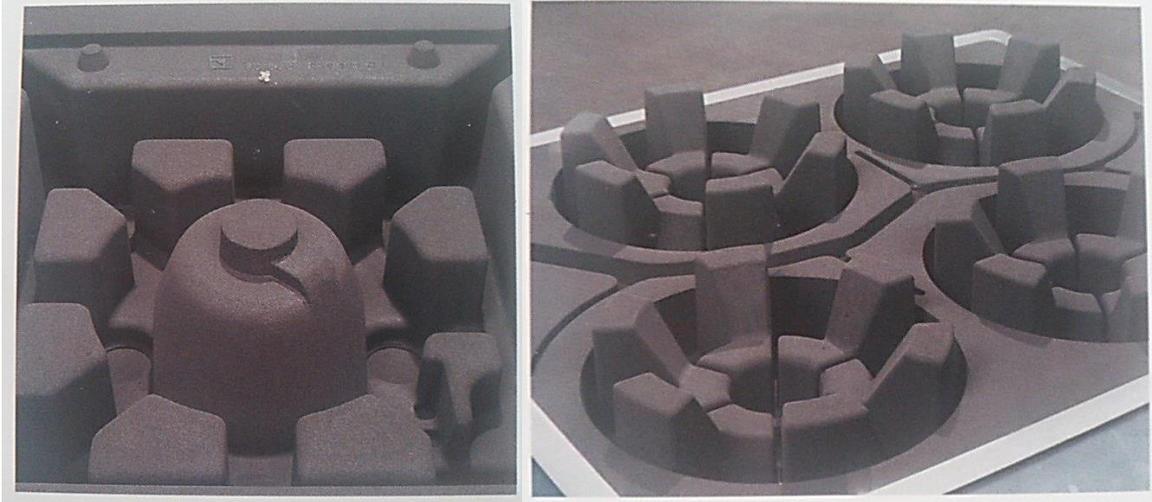


*Figura 12. (8) Arena totalmente compactada sobre el modelo, (9) Levantamiento de molde con modelo impreso.*

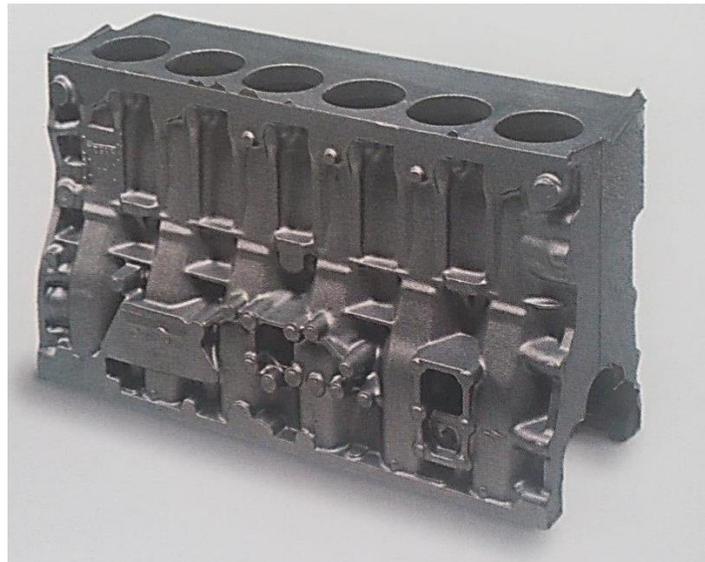
De este proceso se pueden divisar los resultados tanto para molde como para producto final de las figuras 13-14.



*Figura 13.1 Semi-caja*



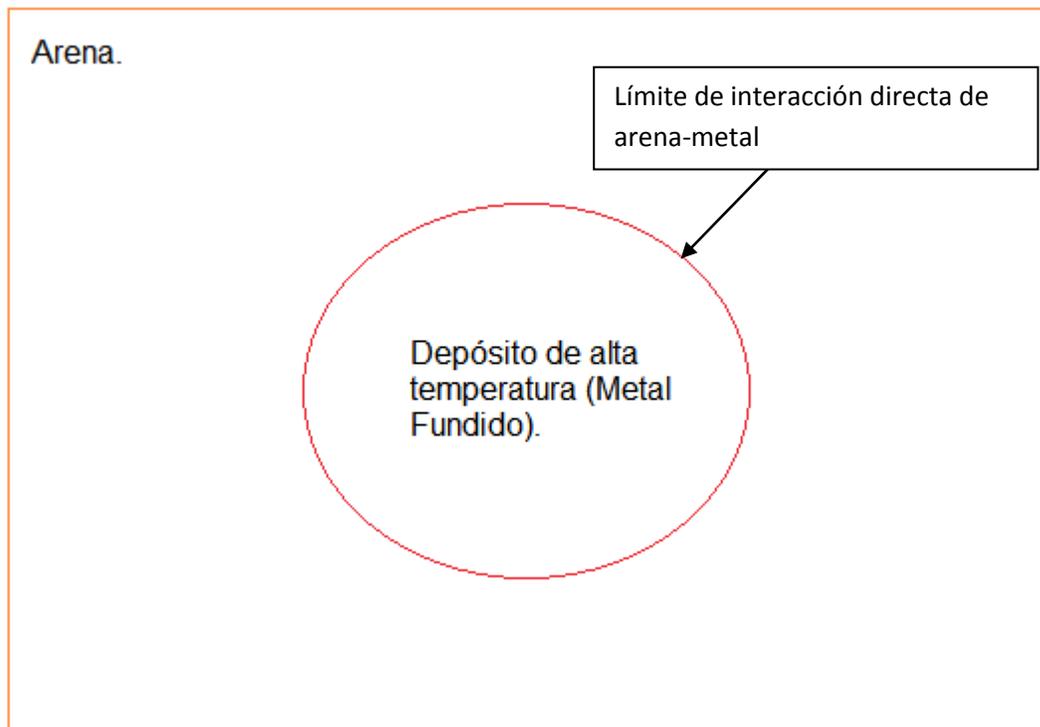
*Figura 13.2 Semi-cajas con patrones 'impresos' en negativo.*



*Figura 14. Producto Final mediante método de 'impresión'*

### 1.1.3. Preparación de Arena.

Una materia prima que ofrezca versatilidad y considerable cantidad de reutilización en un elevado porcentaje de efectividad para la fundición es la arena. Al llenar el molde de esta, la que sufre contacto con el metal a alta temperatura es la menos reutilizable, a partir de ahí y por medio de técnicas de aprovechamiento (lo cual ha requerido un estudio también amplio), es posible alargar su vida útil. En la Figura 15, se puede observar mediante un esquema básico el comportamiento de la arena frente a la interacción con el metal a alta temperatura, en el límite de contacto representado por la línea roja, la arena sufre los mayores estragos debido a la alta temperatura, conforme se va haciendo mayor la distancia, la arena puede ser utilizable en mayor cantidad de oportunidades.



*Figura 15. Esquema básico de fluido dentro de la arena en el molde.*

### 1.1.4. Factores de comportamiento del material fundido en el molde.

Una vez se cuela el material fundido al interior del molde, ocurre un cambio abrupto de temperatura dado que el molde se encuentra a una temperatura menor respecto a la del metal en fase líquida. Es en este momento, como se veía anteriormente, cuando el calor se disipa a través del medio inmediato con el que interactúa (arena) para más adelante, hacerlo al medio ambiente logrando así un equilibrio térmico en todo el sistema (molde, arena, pieza).

Dentro del molde, con la pieza en su fase sólida, se denota una separación entre las paredes de arena y las del metal, esto debido a la contracción que sufre el material durante su enfriamiento. Este fenómeno conduce al hecho de tener en cuenta unos factores de tolerancia a la hora de dimensionar el modelo, definido en la fundición también como 'juego', hace referencia formalmente a la diferencia en los límites de tamaño, entre el mínimo espacio libre y la máxima interferencia de ajuste entre partes. Este juego depende del tipo de material, del diseño de la pieza [3].

Para dar un entendimiento más claro del concepto de contracción, se puede denotar en tres etapas descritas en la Figura 16.

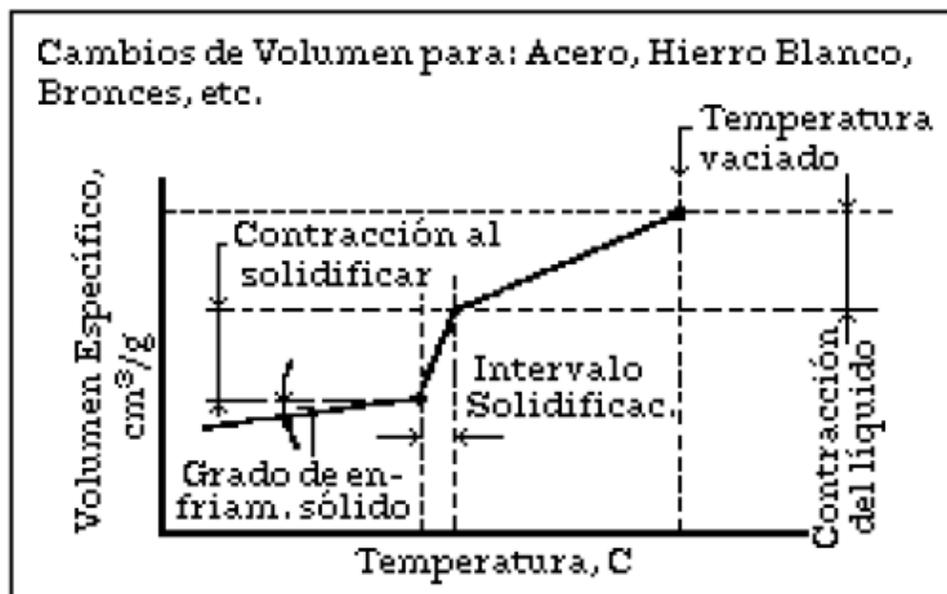


Figura 16. Cambio de volumen (específico) de la pieza dentro del molde con respecto al tiempo y a la temperatura [3].

En orden descendente de temperatura, la primera parte de la Figura 16 (sentido izquierdo), describe la contracción en la fase líquida, es decir, los efectos sobre la formación y las características de cualquier pieza fundida en el primer intervalo de transferencia de calor para su posterior solidificación. Si la intensidad de calor es baja, es decir, se deja enfriar el material dentro del molde naturalmente, sin ningún tipo de intervención, el cambio de este volumen puede calcularse mediante:

$$\Delta V_L = \gamma L V_L \Delta T \text{ (Ecuación 1)}$$

Dónde:

$\gamma L$  = Coeficiente de expansión térmica tridimensional del material.

$V_L$  = Volumen de la cavidad del molde.

$\Delta T = (T_V - T_f)$ ;  $T_V$  (Temperatura de vaciado),  $T_f$  (Temperatura de solidificación).

Si para lograr la disminución de temperatura de la pieza dentro del molde se realiza el procedimiento de manera abrupta, se puede crear una capa sólida en el exterior de la pieza teniendo presencia de material en fase líquida al interior de ella, es decir, se crea una coraza superficial donde la transferencia de calor se ve disminuida al encontrarse este encapsulado dentro de la pieza. Esta coraza genera la presencia, una vez la solidificación acabe, de rechupes y porosidades [3].

Una vez asegurada una transferencia de calor natural desde la pieza en solidificación al entorno con la que tiene contacto, la segunda parte de la gráfica en orden descendente (contracción de solidificación), corresponde a la transformación total de fase de la pieza (líquido a sólido), en esta etapa es donde se produce el fenómeno del rechupe. Por último, el tercer intervalo de la gráfica describe el último nivel de contracción una vez la pieza comienza a regular su temperatura a condiciones ambientales.

## 1.2. Sistemas de moldeo

La versatilidad de la fundición hace de este proceso una alternativa con el potencial suficiente para jugar un papel importante en la industria. Debido a las posibilidades que ofrece el proceso, se cuenta con la posibilidad de considerar algunos factores para la elección del proceso de fundición adecuado a las necesidades de producción de piezas; la Tabla 2 nombra algunos aspectos a tener en cuenta a la hora de iniciar un proceso de producción de piezas fundidas.

Consideraciones para la selección de proceso de fundición
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calidad superficial requerida.</li> <li>- Precisión dimensional requerida.</li> <li>- Nivel de producción demandado.</li> <li>- Tipo de patrones y machos.</li> <li>- Costo de elaboración de molde.</li> <li>- La manera en que la selección del proceso afecta el diseño del producto esperado.</li> </ul>

**Tabla 2. Factores de consideración en la elección del proceso de fundición adecuado.**

### 1.2.1. Moldeo con aditamentos químicos.

Una de las preocupaciones al momento del diseño de los moldes es el comportamiento de la arena frente a las altas temperaturas del metal fundido, la calidad de la compactación (especialmente para los núcleos), el aprovechamiento para futuras prácticas; el proceso de moldeo con aditamentos químicos sirve para mejorar las propiedades de la arena frente a algunos de estos factores, más allá de eso, ofrece economía y mejora de productividad. Cada proceso hace uso de un aglutinante químico y un catalizador para el endurecimiento del molde. Estos dos agentes generan una reacción química que produce una capa refractaria en la arena que le proporciona propiedades de resistencia y cohesión a altas temperaturas (Figura 17).



*Figura 17. Proceso de adición química sobre el molde en arena.*

Una vez adicionado el aglutinante sobre el molde, se debe proceder al curado del mismo, es decir, asegurar la total adherencia del componente químico sobre la arena. Para esto, algunos procesos requieren la presencia de calor, otros no. La primera opción de adherencia requiere el uso de una fuente de calor, posiblemente un soplete, para una vez cubierto el molde pueda endurecerse. En estos casos, el catalizador es adherido en la mezcla propia de la arena, jugando un papel primordial al ser un agente precursor de la reacción química que da a lugar el aglutinante.

En el curado con ausencia de calor, el catalizador no hace parte de dicha mezcla de la arena. Este es adherido en forma de gas o vapor, a una mezcla de arena-resina, donde reacciona y endurece el molde inmediatamente [4].

Este proceso ofrece en general, ciertas ventajas:

- Buena precisión dimensional de núcleos debido a la ausencia de calor en el curado.
- Excelente acabado superficial.
- Excelentes características destinadas a cortas y largas líneas de producción.
- Excelente vida útil del molde.

### 1.2.2. Moldeo en arena verde.

El moldeo en este tipo de arena es quizás el más cotidiano en la industria. La arena verde es básicamente una mezcla entre arena sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y bentonita. En el uso dentro del molde, se puede clasificar de dos maneras: *Arena de contacto* y *Arena de relleno*; su aprovechamiento es muy beneficioso dada la posibilidad de circular la arena en su rol de contacto a relleno. [5] [6]

Algunas ventajas que ofrece el uso de esta práctica son:

- Los aglutinantes usados implican bajos costos con respecto a otro tipo de costes adicionales para el endurecimiento, ya sea por medios químicos o térmicos.
- El rápido desmonte de cajas de moldeo genera una ventaja en sistemas mecanizados o líneas de producción.
- La arena verde tiene menos valores de esfuerzo de compresión, lo que la hace tener menor resistencia a la compresión que los moldes endurecidos por lo tanto, el riesgo de ruptura es menor.
- El proceso es amigable con el medio ambiente.
- Fácil manejo manual o con maquinaria.
- La permeabilidad de la arena permite el escape de gases y vapor (del agua que compone la mezcla) a la hora del vertimiento del metal fundido para evitar encapsulamiento y posteriores deformaciones [2].

El tamaño y distribución de los granos son de vital importancia para asegurar el acabado superficial de las piezas. Un molde de arena debe resistir la temperatura de vaciado de la aleación fundida. Una arena sílice en forma pura (98%), tiene un punto de fusión de aproximadamente 3100 °F (aproximadamente 1704 °C). Si el contenido de  $\text{SiO}_2$  se reduce, el punto de fusión también disminuirá. Es por esto, que este componente provee a la arena en general de su capacidad refractaria, por lo que si se disminuye la cantidad de  $\text{SiO}_2$  de la mezcla, la calidad superficial de la pieza final se verá afectada. [7]

En la composición de la arena, aparte de  $\text{SiO}_2$ , se encuentran aditivos como las arcillas (generalmente bentonita), que son activadas por medio de agua, este último componente determina la humedad de la mezcla, lo cual es de gran importancia ya que el nivel de humedad afecta casi todas las propiedades físicas del proceso. En la Figura 18 se delimita el comportamiento a la compresión de la arena frente al porcentaje de humedad de la mezcla. [8]

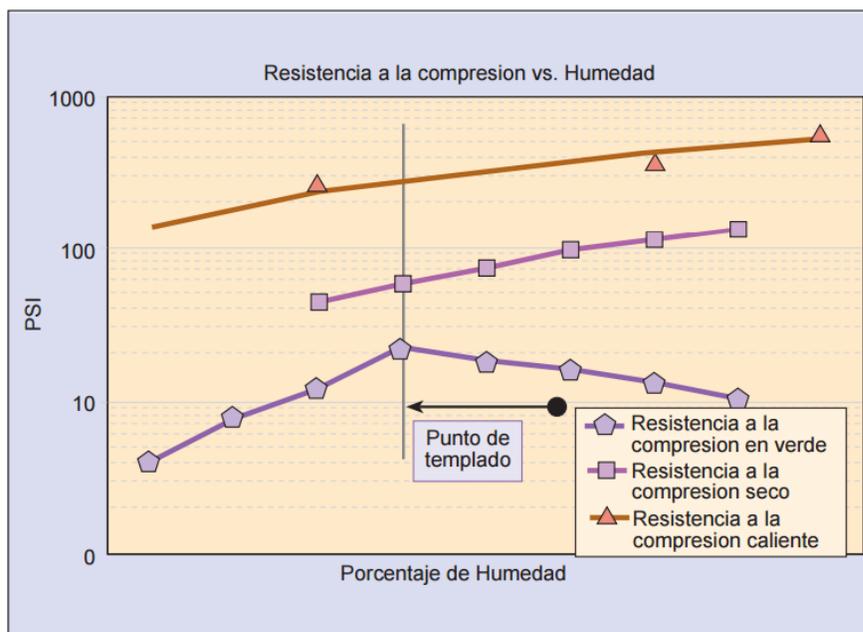


Figura 18. Resistencia a la compresión vs humedad en la arena verde.

### 1.3. Microestructura característica de las fundiciones ferrosas.

Las aleaciones de hierro son fundiciones hierro-carbono (con porcentajes del 2% al 5 % de este último), silicio (2-4%), manganeso (hasta 1%) y otros componentes en baja proporción (azufre y fósforo). Las fundiciones son muy maquinables, tienen buena dureza y resisten a la corrosión y al desgaste. Debido a estas propiedades se sacrifican otras como la ductilidad, maleabilidad y la capacidad de sufrir deformación plástica.

Según la forma en que se encuentre presente el carbono en la fundición, esta puede clasificarse en Gris, Nodular, Blanca, Atruchada, Maleable, y más allá dependiendo de los elementos aleantes que se encuentren presentes y la manera en la que alteren sus propiedades y microestructura.

### 1.3.1. Fundición Gris

Se caracteriza debido a que el carbono (en un porcentaje entre 2.5 y 4%) se presenta como grafito y se denota visiblemente en formas alargadas (escamas o láminas). Se obtiene mediante un enfriamiento lento, donde el carbono pueda tomar esta forma, de lo contrario podría presentarse en forma de cementita y aumentar su dureza y fragilidad, también es importante tener una proporción adecuada de silicio. Es fácil de maquinar, se usa en bases o pedestales para máquinas, herramientas, bloques de cilindros para motores, herramientas agrícolas, entre otras.

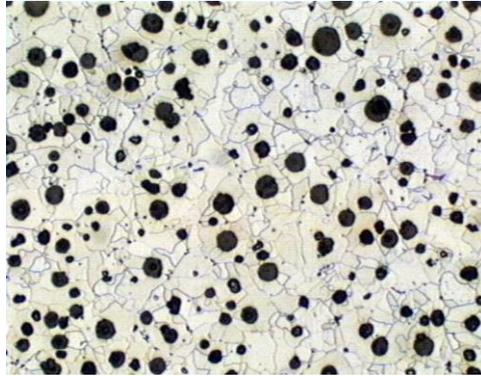
En la Figura 19 se observa la manera en que se presenta el carbono y su forma característica (escamas) sobre una matriz blanca en la fundición gris [9].



*Figura 19. Presencia de grafito en forma de escama.*

### 1.3.2. Fundición Nodular

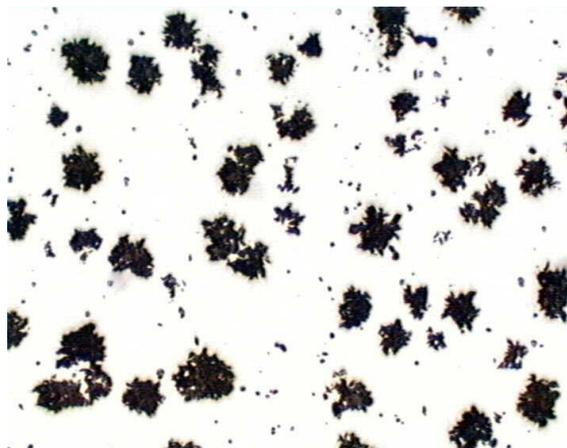
A diferencia de la anterior, este tipo de fundición como su nombre lo indica, presenta carbono en forma nodular (o esferoidal). Cuenta con porcentajes de magnesio y cerio. De sus propiedades resaltan la alta ductilidad, resistencia, maquinado y debido a la forma esferoidal del carbono su buena tenacidad. Su porcentaje de carbono es igual al de la fundición gris. En la industria su uso es aprovechable debido a sus características y comportamiento. En la Figura 20 se denota a simple vista la característica forma en que se presenta el carbono en este tipo de fundición sobre una matriz de ferrita debida a la temperatura y porcentaje presente.



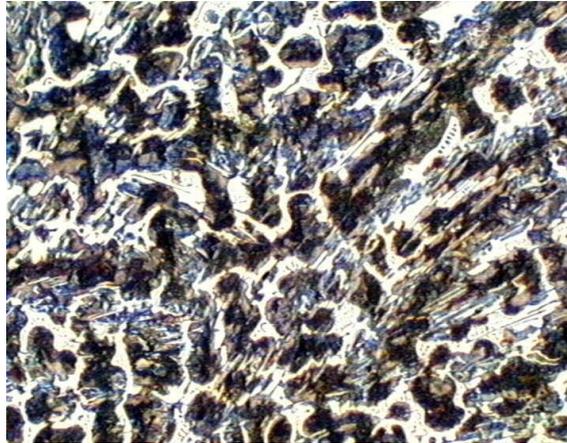
*Figura 20. Fundición nodular sobre una matriz de ferrita.*

### **1.3.3. Fundición Blanca**

Debido a procesos de enfriamiento distintos a los controlados en los dos tipos de fundiciones anteriores, el carbono en este caso se encuentra bajo la forma de cementita. Se presenta entonces al enfriar rápidamente la fundición de hierro desde el estado líquido. Estas fundiciones se caracterizan por su dureza y resistencia al desgaste, siendo muy frágiles y difíciles de mecanizar, por esto, su uso en la industria se limita en casos donde se requieran otras propiedades [9]. Sin embargo, se utiliza en grandes cantidades para la realización de fundición maleable (mediante tratamientos de revenido en dos etapas), la cual si posee mejores propiedades y mayores aplicaciones en la industria. El carbono en este último tipo de fundición se presenta en forma de rosetas (Figura 21). La microestructura de la fundición blanca presenta perlita en forma dendrítica en una base de cementita (Figura 22).



*Figura 21. Forma característica de carbono en la fundición maleable (rosetas)*



*Figura 22. Formaciones dendríticas en la fundición blanca*

Existe un punto intermedio entre la fundición blanca y la gris, donde parte del carbono se encuentra combinado formando cementita y el otro lo hace en forma de grafito, esta se denomina fundición atruchada y posee propiedades de los dos tipos de fundición en los que se encuentra [10].

#### **1.4. Elementos aleantes en la fundición.**

Para la optimización de propiedades de las fundiciones es posible contar con el uso de otros elementos como níquel, cromo, molibdeno, cobre, entre otros, que en un porcentaje suficiente la proveen de altas resistencias al desgaste, a la corrosión, al calor. Se debe tener en cuenta los puntos de fusión de los elementos que se vayan a usar, esto para que se asegure su completa neutralización dentro de la fusión con los metales base (Tabla 3).

<b>Metal</b>	<b>Punto de fusión (°C)</b>
Zinc	419
Aluminio	660
Cobre	1083
Níquel	1452
Hierro $\alpha$	1530
Molibdeno	2600

***Tabla 3. Punto de fusión de metales usados comúnmente en las aleaciones de fundición [11].***

---

Estas fundiciones pueden clasificarse de la siguiente manera:

a) **De baja y media aleación.**

Contenidos de níquel, cromo, molibdeno y cobre (menos del 1.5%). En ocasiones contienen pequeñas cantidades de titanio y vanadio para mejorar la resistencia al desgaste.

b) **De alta resistencia a la tracción.**

A este grupo pertenecen algunas fundiciones al níquel, al cromo, al cromo-níquel, al cobre. La presencia de estos elementos consigue que las propiedades sean constantes en diferentes presentaciones de la fundición. Debido a la cantidad de elementos que pueden ser usados y consecuentemente al número de fundiciones, podría decirse que la influencia de estos elementos es similar a la que sucede en los aceros.

c) **Resistentes al calor con 1% de cromo.**

Para aplicaciones donde el calentamiento del material no sobrepasa los 700°C, se usan fundiciones aleadas con bajo porcentaje de cromo (0.6 a 1.25%) y bajo contenido de silicio (1.5 a 2%).

d) **De alta dureza con 1 a 3% de cromo.**

Es posible obtener fundiciones blancas con proporciones de 1 a 2% de cromo. Las características de dureza y resistencia a la abrasión le dan aplicaciones para piezas de rozamiento, zapatas de freno, placas de blindaje con 2 a 3% de cromo.

e) **Aleadas con aluminio.**

Tiene dos clases importantes.

- Fundiciones con 7% de aluminio con buena resistencia al fuego (utilizables hasta 950°C), buen mecanizado, resistencia a la tracción y dureza.
- Fundiciones con más de 8% de aluminio con buena resistencia a la oxidación y puede ser usado a temperaturas más altas (1000°C). son difíciles de mecanizar.

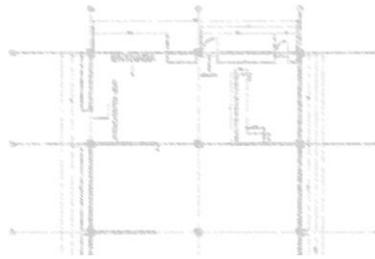
## Capítulo 2. Metodología

### 2.1. Levantamiento y presentación de planos.

#### 2.1.1. Toma de medidas y levantamiento de plano infraestructura nave central Industrias Magma S.A.

La planta física de Industrias Magma S.A. está construida en base a un sistema aporricado dispuesto para ofrecer amplios espacios para el flujo de maquinaria, material y personal de trabajo.

Se realizó el levantamiento del plano de la nave central de la empresa empezando en la entrada principal a ésta zona (en la parte superior), tomando las medidas de los espacios entre columnas, espacio de maquinaria, hornos, pozo y zona de moldeo (Figura 23).



*Los planos correspondientes reposan en la empresa y por ende son de carácter privado.*



*Figura 23. Nave central Industrias Magma S.A.*

## 2.1.2. Maquinaria PALMER

### 2. 2.1.2.1. Mezcladora continúa M-200 XLD.

Industrias Magma S.A. cuenta con una mezcladora continúa PALMER de la serie M-200 XLD, fue necesario realizar medidas del área superficial que ocupa la máquina. Sin embargo, teniendo en cuenta que la mezcladora tiene una componente adicional (silos para depósito de arena) ubicada a 9m de altura, por esta consideración se proyectó el área tanto de la base como de la parte superior de los silos en proporción para considerar ubicación en el espacio disponible.

Dimensiones: 6,10m x 5,80m; Altura: 9,0m



Figura 24. Mezcladora continúa M-200 XLD. 1

---

<sup>1</sup>[http://www.palmermfg.com/mixers/sandmixer\\_m200xld.htm](http://www.palmermfg.com/mixers/sandmixer_m200xld.htm)

### 3. 2.1.2.2. Sistema de Recuperación Mecánica de arena Serie-CAR

La base superficial geométrica sencilla de esta máquina requirió solo la toma de medidas de largo y ancho, esto es lo que ocupará sobre el área total de la planta cuando sea trasladada.

Dimensiones: 1,71m x 3,0m; Altura: 2,0m



*Figura 25. Sistema de recuperación CAR.<sup>2</sup>*

---

<sup>2</sup> [http://www.palmermfg.com/shakeout\\_reclamation\\_knockout/car-series\\_spanish.htm](http://www.palmermfg.com/shakeout_reclamation_knockout/car-series_spanish.htm)

### 2.1.3. Depósito de Arenas.

Para los diferentes procesos de moldeo que trabaja Industrias Magma S.A., es necesario conservar de manera adecuada las diferentes materias primas, en este caso la arena. Se tomaron medidas de la zaranda y la banda transportadora por donde se tamiza la arena que después de salir del molde llega con desechos de metal (productos por ejemplo, de los bebederos o mazarotas), y puede ser aprovechada siempre y cuando no pertenezca a arena quemada por el proceso.

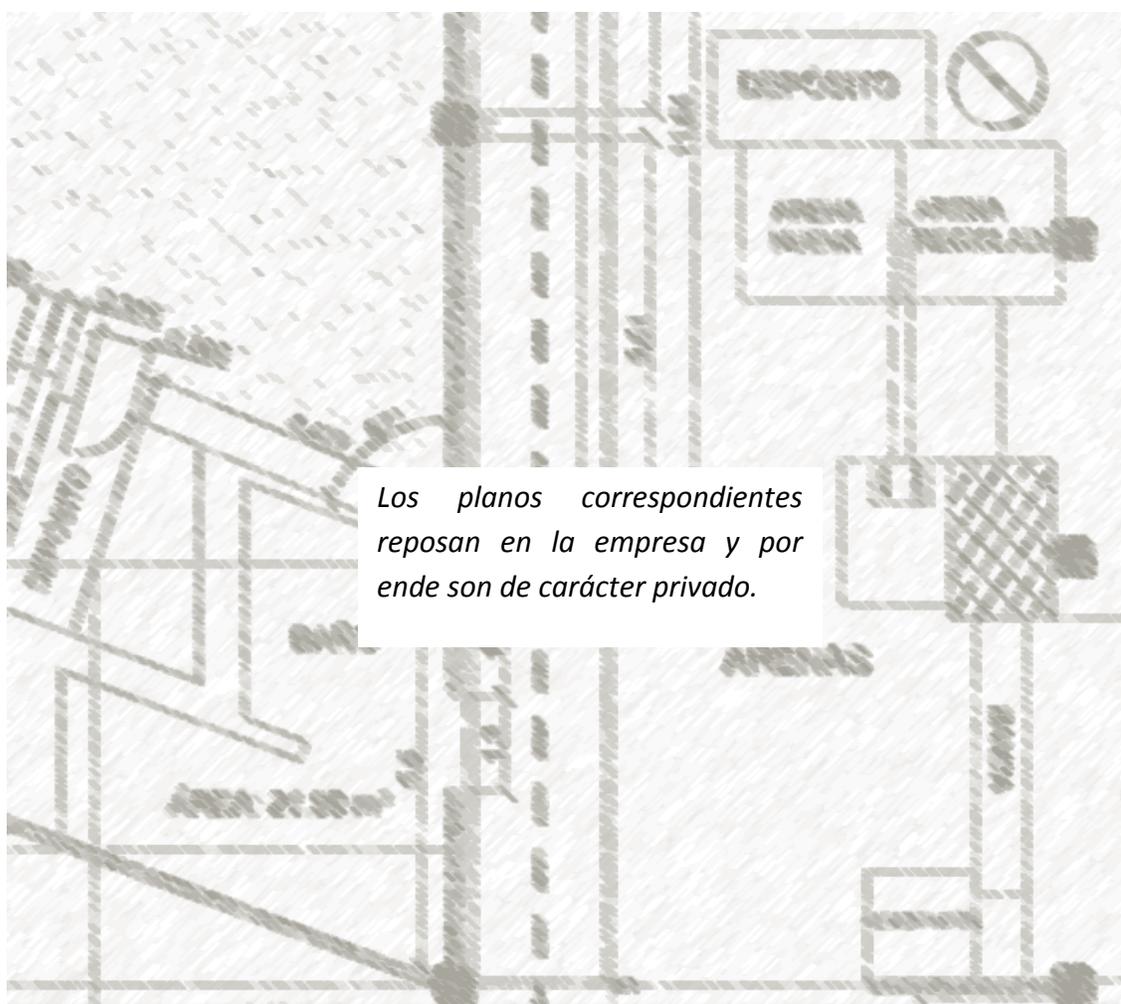


Figura 26. Distribución depósito de arenas Industrias Magma S.A.

En la Figura 26, se muestra la disposición de los elementos que intervienen en el almacenamiento de la arena; primero, la arena nueva se deposita directamente del camión al cárcamo 'depósito'. La arena utilizada se descarga por la tolva 'alimentación', es transportada por la banda (de longitud 5m) y al pasar por la zaranda ésta la deja caer en un cárcamo donde un elevador de cangilones la distribuye a dos tolvas: 'Arena Nueva' y 'Arena reciclada'. La primera tolva entonces, descarga también arena nueva en el cárcamo 'depósito' a parte de la bajada por el camión. Los desechos sólidos expulsados por la zaranda son recogidos por el mini cargador. Por esto, se tiene en cuenta el espacio que ocupa la medida de la pala de la máquina más el 30% de tolerancia, y la distancia necesaria para que el operario pueda transitar alejado de cualquier riesgo.

#### 2.1.4. Ampliación nave central.

Posteriormente, se inició con la ampliación del rango de medidas realizadas en la planta física abarcando más componentes de la misma. De esta manera se fueron agregando más zonas al Layout. A parte de la disposición de planta para la elaboración de los procesos y servicios de Industrias Magma S.A., es necesario contar con instalaciones que suplementan la actividad de la empresa; en la nave central entonces, se encuentran las oficinas, la zona de moldeo, cocina, baños, chatarra (Figuras 27 y 28).

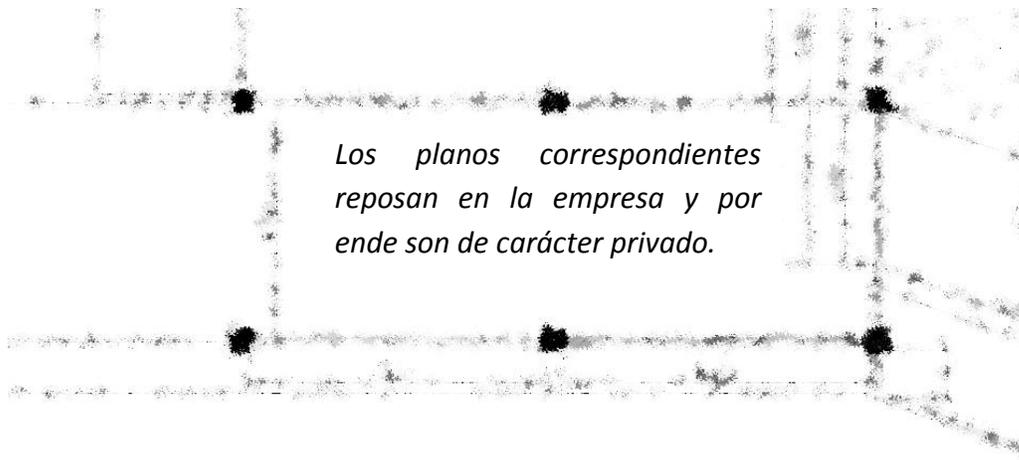
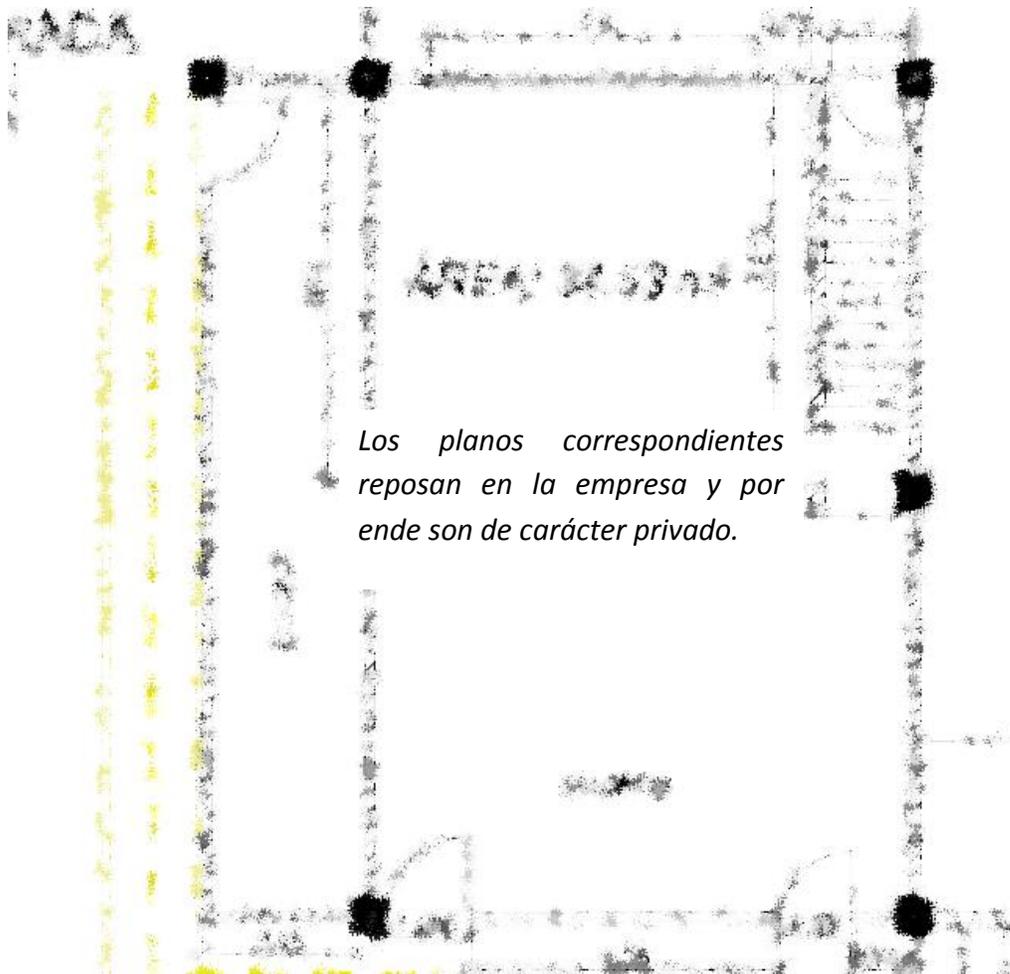


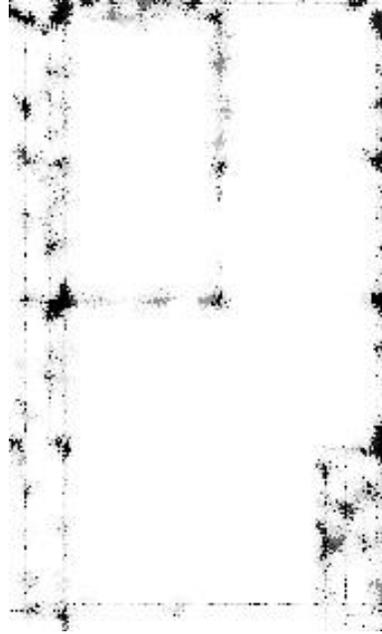
Figura 27. Área dispuesta para la chatarra (Nave Norte).



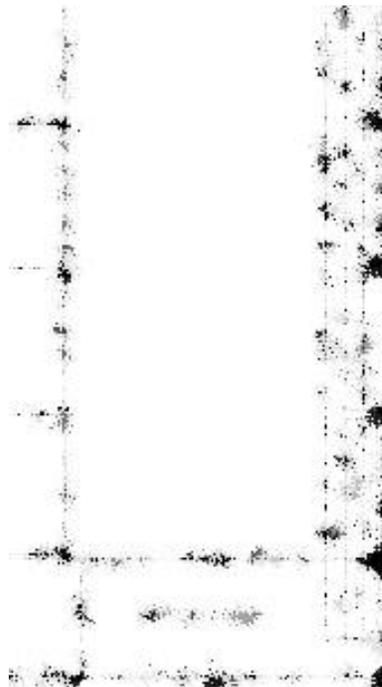
*Figura 28. Cocina, Cuarto para elaboración de machos, Oficina.*

### **2.1.5. Nave Norte**

La nave norte se destaca como una zona amplia donde la única oficina que se encuentra es el almacén, donde se recolectan los modelos (elaborados en madera) con una referencia y disponibilidad de uso futuro. La maquinaria PALMER y la antigua zona de recolección de arenas también se encontraban limitadas dentro de este espacio (Figura 29).



*Los planos correspondientes reposan en la empresa y por ende son de carácter privado.*



*Figura 29. Nave Norte con especificaciones de área y delimitación de oficina de almacenaje (parte superior izquierda).*

### 2.1.6 Nave Sur

La nave sur de Industrias Magma S.A. cuenta con la mayor disponibilidad de espacio debido a su extensa área respecto a las otras dos. Existen cinco salidas que pueden ser usadas para el transporte de material y productos terminados; en dirección al nor-oriente, hay tres puertas de gran capacidad relacionado al espacio (limitadas de columna a columna).



Figura 30. Nave sur y disposición de sistema de arena.

## **2.2. Trabajo de medidas en Metalbogotá S.A.**

Metalbogotá S.A. es una organización que cuenta con su propia planta de fundición ubicada en la calle 7 # 38-70. Allí, se tomaron medidas de cárcamos correspondientes a maquinaria que interviene en el proceso de fundición y transporte de arena para este mismo fin. La empresa a la que se hizo la visita, cuenta con la capacidad de producir 12000 toneladas anuales para fundir hierro gris, hierro nodular y acero<sup>3</sup>. Debido a las excelentes cantidades de producción mostradas por Metalbogotá S.A., lo más conveniente fue tomar como modelo una línea específica de moldeo para evitar problemas futuros con la maquinaria dentro de los procesos propios de Industrias Magma S.A.

### **2.2.1. Cárcamo Molino Speed Muller.**

En el proceso de moldeo en arena, es necesario compactarla de manera que al retirar las dos semi-cajas el molde permanezca intacto sobre la forma en la que fue elaborado con anterioridad. El proceso esencialmente es elaborado por uno o más operarios, bien sea que la compactación sea directamente manual, lo cual implica inversión de tiempo y esfuerzo físico, o, sea solventada con maquinaria que disminuya estos factores. El Molino Speed Muller aplicado al caso particular, cumple una función dentro de un sistema de transporte de arena para la elaboración de moldes; para hacer uso de él, es necesario proveerlo del espacio adecuado no solo para su ubicación dentro de la planta física, sino para cuestiones de mantenimiento. En la figura 31 se muestra un esquema en vista de planta del cárcamo del molino en Metalbogotá S.A. considerando el respeto hacia las proporciones ya establecidas con el cual estuvo funcionando a cabalidad durante una formidable cantidad de tiempo.

---

<sup>3</sup><http://www.metalbogota.com/joomla/index.php/2011-08-15-07-20-50/plantas>



*Figura 31. Cárcamo Molino Speed Muller.*

En la Figura 32 se ve un molino genérico pero que cumple con la función de recibir, mezclar y distribuir arena. Para esto está provisto de una tolva en la parte superior que es el eslabón que inicia del trabajo, el cuerpo principal del Molino (tambor) contiene un sistema de aspas que mediante un movimiento centrífugo mezclan la arena (Figura 33). Y al final, una canaleta distribuye el material a su destino, bien sea una máquina, otra tolva o un cárcamo.



Figura 32. Mezcladora (Molino) de arena para fundición

Fuente: [http://img.directindustry.es/images\\_di/photo-g/mezcladora-arena-fundicion-57840-3288279.jpg](http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/mezcladora-arena-fundicion-57840-3288279.jpg)

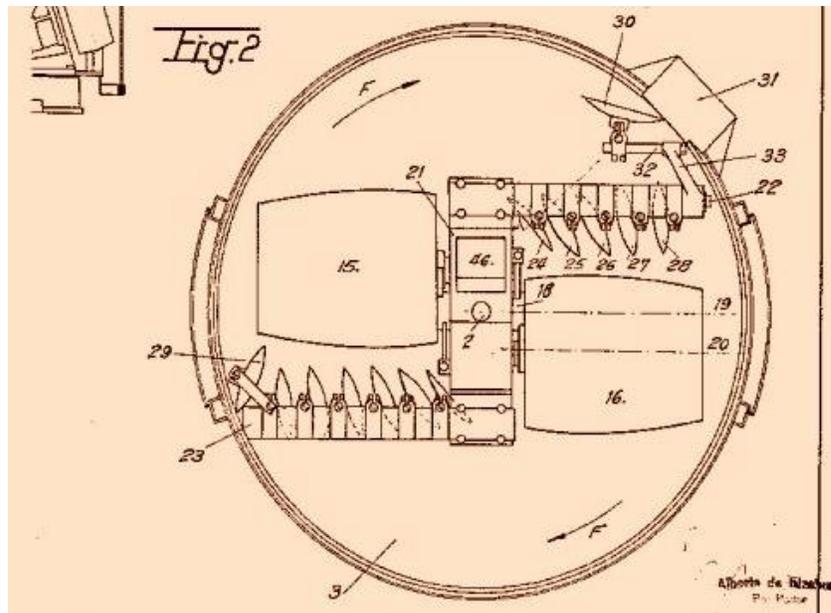


Figura 33. Vista superior Molino mezclador de arena (detalle: Aspas)

Fuente: <http://patentados.com/invento/molino-mezclador-para-arena-de-fundicion.html>

La distribución se hace a un cárcamo donde es recibida por un elevador de cangilones, éste, lo lleva a una banda ubicada a una altura considerable para que sea distribuido a las tolvas de las moldeadoras.

### 2.2.2. Cárcamos Moldeadoras

Las moldeadoras deben contar con un espacio que asegure su estabilidad en el suelo, para esto, fueron tomadas las medidas de dos cárcamos correspondientes al lugar donde estaban operando con anterioridad (Figura 34 y 35).

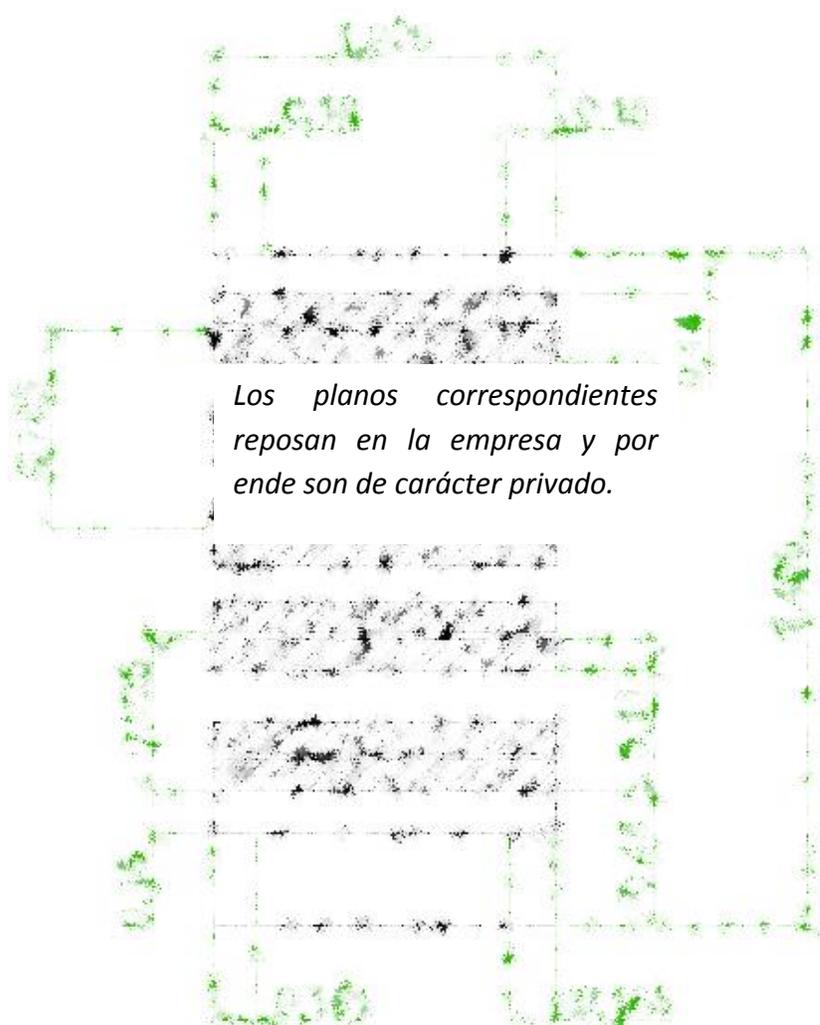
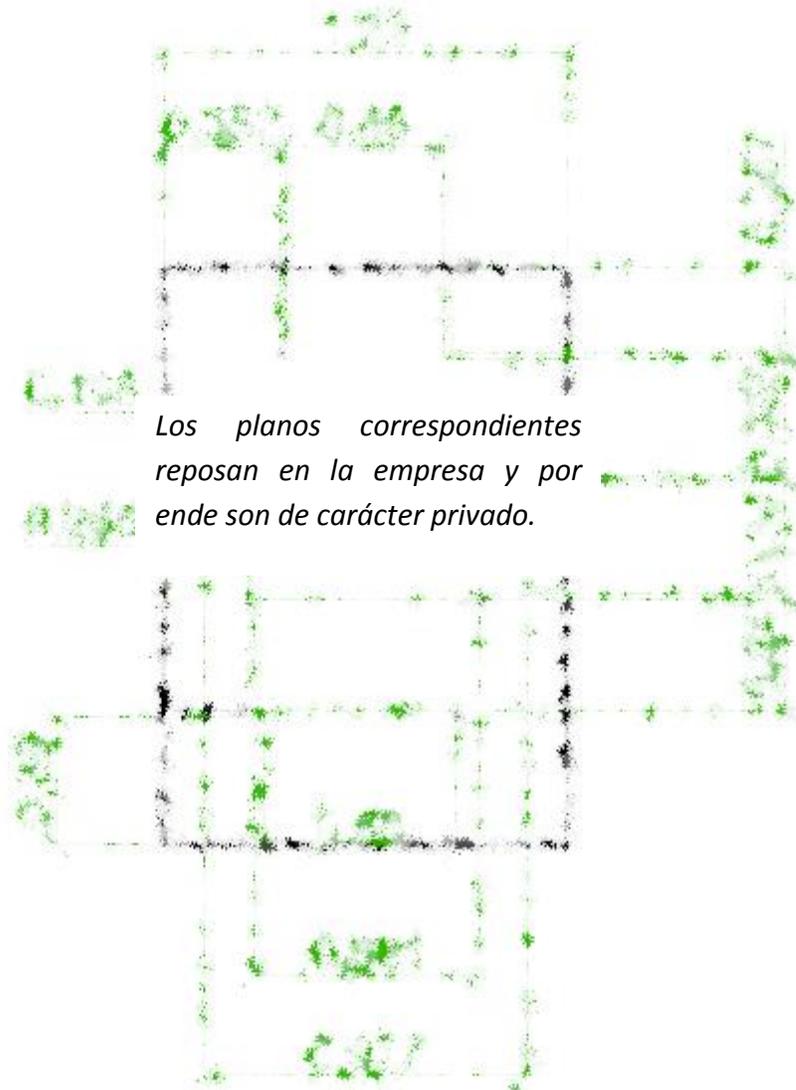


Figura 34. Cárcamo con disposición de platinas transversales



*Figura 35. Cárcamo para segunda moldeadora (no se detalla disposición de platinas).*

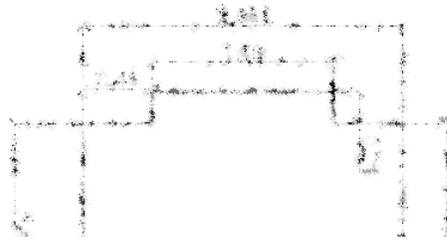
Para estas máquinas debe tenerse en cuenta una alineación entre su centro y una viga ubicada en la parte superior por la cual se extrae el molde después de pasar por el moldeo, esto debido al peso y que el operario debe transportarlo para dejarlo seguir su línea de recorrido en unos rodillos. Este detalle se muestra en la figura 36, donde las líneas discontinuas representan la viga horizontal.



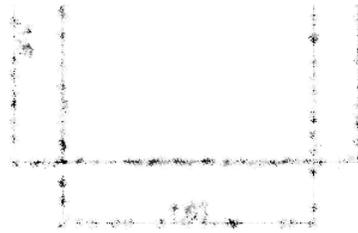
*Figura 36. Disposición de centro de moldeadoras alineadas con vigas y ubicadas respecto a columnas.*

### **2.2.3. Cárcamo elevador de cangilones**

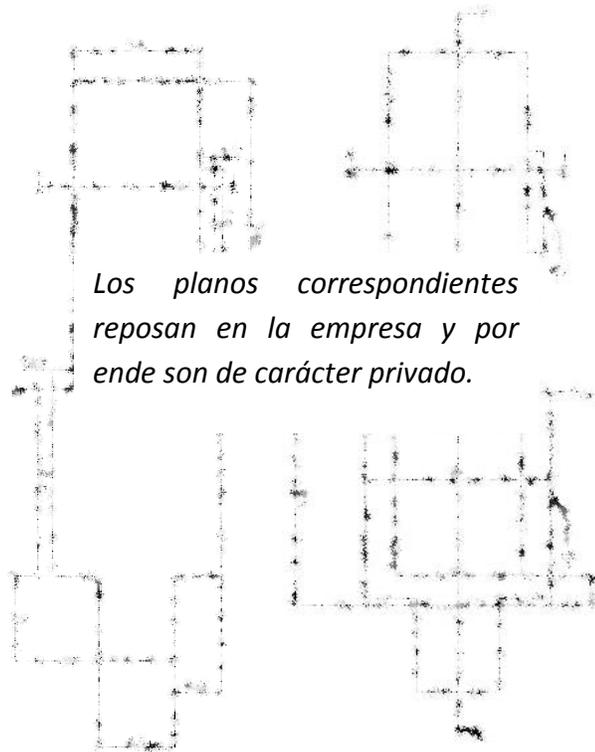
Unas semanas después, se realizó una nueva visita a Metalbogotá S.A. para tomar las últimas medidas correspondientes a las dimensiones del cárcamo para el elevador de cangilones (Figura 37), y el de la desmoldeadora (Figura 38).



*Los planos correspondientes reposan en la empresa y por ende son de carácter privado.*



*Figura 37. Cárcamo para elevador de cangilones.*



*Los planos correspondientes reposan en la empresa y por ende son de carácter privado.*

*Figura 38. Cárcamo Desmoldeadora.*

## Conclusiones.

Frente al trabajo realizado como solución a un problema de una empresa del sector industrial, es importante hacer mención al hecho de que más allá de la realización de un proyecto de forma individual, lo que prevalece es la acción de generar contactos en el sector industrial para involucrar estudiantes que tengan o no experiencia en el mismo, y al mismo tiempo genere un beneficio para todas las partes involucradas (incluyendo a la universidad).

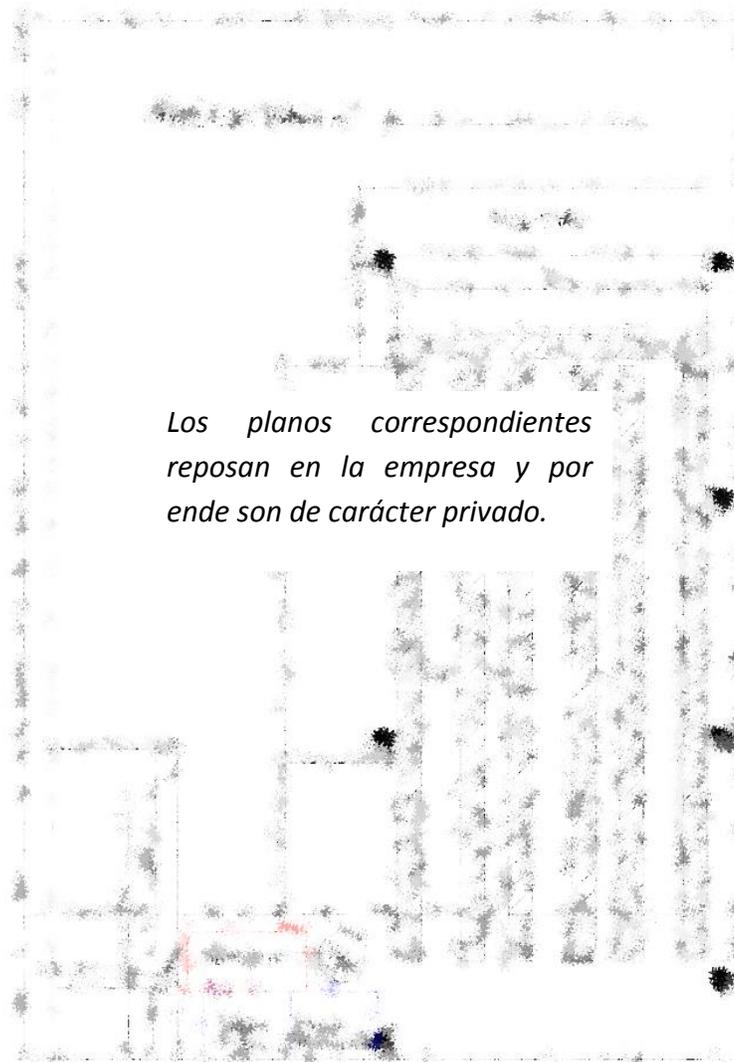
En el contexto estudiantil, los beneficios de este tipo de proyectos radican en no limitarse a cumplir con un requisito de grado, sino crear en el estudiante una conciencia investigativa honesta que es sin duda el mayor acto de solvencia para la práctica diaria de la carrera ingenieril. Inducir a la comunidad estudiantil en la industria es un buen aliciente para dimensionar las responsabilidades del sector y enfocar el estudio con miras a los aportes futuros que se puedan hacer en los procesos propios de producción y control de las empresas en Colombia.

Para la universidad, es bastante beneficioso crear un vínculo con el sector privado que la dé a conocer como una institución que participa activamente en los procesos técnicos basados en la actualidad industrial colombiana.

La fundición debe estar en mejora constante dadas las posibilidades que ofrece el proceso. En particular, una vez terminado el proyecto en Industrias Magma S.A., se llegó a concluir y ratificar que existen factores que influyen en el nivel de producción de la empresa; desde la administración y manejo de personal, hasta la ubicación de implementos de trabajo, horarios y ambiente laboral, todo sin lugar a dudas influye en el funcionamiento integral y armónico de una organización que está llamada a ser líder en el sector de la fundición. Para lo que corresponde a este trabajo, se limitó a la búsqueda de uno de esos factores: la ubicación estratégica de maquinaria, sin lugar a dudas, demuestra que asegurar el flujo correcto de materias primas a través de los procesos de elaboración de producto final, donde se use la menor cantidad de tiempo y energía, significa reducción de costos y esfuerzos y por lo tanto mayor eficiencia a lo largo de la línea de producción.

Mantener un control de espacio para el tránsito de maquinaria, operarios y arenas fue uno de los puntos fuertes dentro de la planeación del proyecto, debido a los diferentes métodos de moldeo de la empresa y a la infraestructura con que se cuenta en la planta física de Industrias Magma. En un principio, se contaba con la disposición que se muestra en la Figura 23 para la nave central, donde en un

futuro se ubicará la maquinaria para moldeo de resinas, de piso, hornos, tratamiento térmico, terminado, matachado y depósito de modelos (Anexo 1). En la nave sur se optó por implementar el sistema de aprovechamiento de arenas (Figura 30) que anteriormente no contaba con un espacio destinado para su utilización. También se logró planear la ampliación y adecuación del baño para el personal (Figura 26). Para la ubicación de las moldeadoras, se optó por una distribución que tuviera en cuenta el menor tránsito posible de metal fundido y facilidad de vaciado en los moldes (Figura 39).



*Figura 39. Ubicación de carriles para vaciado y máquinas de moldeo.*

Una vez terminado el proceso de planeación de ubicación de maquinaria se espera naturalmente que más allá de querer concluir este trabajo sirva como base para los cambios constantes que demanda la industria de la fundición y el sector industrial; es quizás la mayor conclusión que se puede aportar a este proyecto el agradecimiento por ser parte de un proceso de mejora no solo para Industrias Magma S.A., sino de manera personal, profesional y mancomunadamente con la Universidad ECCI. Todo lo que se relaciona con la naturaleza está en constante movimiento y es necesario ser parte del compromiso por avanzar y lograr un mejor porvenir.

## Bibliografía

- [1] Rundman, «Metal casting process,» *Metal Casting*, vol. 9, nº 16, pp. 120-130, 2010.
- [2] P. Beeley, *Foundry Technology (Second Edition)*, Butterworth Heinemann, 2001.
- [3] O. Q. Sagayo, «Principios de la tecnología de fundición».
- [4] E. C. Solutions, «Guide to Casting and molding processes,» *Castin Source Directory*, p. 7, 2006.
- [5] R. H. PALMER, *Foundry Practice*.
- [6] T. Z. Verástegui, «Propuesta de una metodología para la implementación industrial de un circuito de arenas de moldeo en verde,» *Reporte Metalúrgico y de Materiales*, nº 6, 2008.
- [7] S. M. Strobl, «Fundamentos en la preparación y control de la arena verde,» *Modern Casting/ FundiExpo*, p. 8, 2000.
- [8] T. d. f. y. t. d. m. -. D. d. I. Mecánica. [En línea]. Available: [http://www.ehu.es/manufacturing/docencia/389\\_ca.pdf](http://www.ehu.es/manufacturing/docencia/389_ca.pdf). [Último acceso: 8 Junio 2015].
- [9] «Metalografía de las fundiciones,» [En línea]. Available: <http://www.esi2.us.es/IMM2/Pract-html/y2.html>. [Último acceso: 11 06 2015].
- [10] O. Cordova, *Fundición Atruchada*, 2012.
- [11] W. F. S. -. J. Hashemi, *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*, 4 ed., Mc Graw Hill, 2004.
- [12] ASM Handbook Vol 1, *Properties and Selection: Irons, steels and High Performance Alloys*. p1274., Novelty, Ohio, United States: ASM International, 2005.
- [13] Real Academia Española, «Real Academia Española,» [En línea]. Available: <http://lema.rae.es/drae/srv/search?id=yB4dZFMawDXX2bD019Y3>. [Último

acceso: 14 03 2015].

[14] «The Foundry Process,» p. 10.

[15] I. G. Castro, *Fundiciones*, 2009.