



UNIVERSIDAD DE BELGRANO

# Las tesinas de Belgrano

**Facultad de Ingeniería y Tecnología Informática  
Carrera de Ingeniería en Informática**

**Captura de conocimiento de una PYME  
industrial y construcción de modelos de  
simulación de costos de producción a partir del  
mismo**

**Nº 180**

**Marcelo Koblecovsky**

**Tutor: Carlos Gerardo Said**

Departamento de Investigación  
Abril 2005



## Índice de contenidos

Prólogo .....	5
Abstract .....	5
Introducción .....	6
Objetivos, Alcances y Límites .....	6
Objetivo .....	6
Alcances .....	6
Límites .....	6
Descripción general .....	6
La versatilidad del proceso de fundición .....	6
Repercusiones sobre la fundición a causa de un deterioro de dos décadas .....	7
Situación Argentina .....	8
Económica .....	8
General .....	9
La gente y los lugares de la industria .....	9
Los materiales de las piezas fundidas .....	10
Procesos de moldeo y fundición .....	11
El moldeo en arena auto-fraguante químicamente aglomerada ahorra energía .....	12
El moldeo en arena domina .....	12
Panorama energético .....	12
Panorama ambiental .....	13
Se está reduciendo la corriente de desechos .....	15
El proceso de captura .....	15
Elaboración de moldes y noyos .....	15
Descripción general del proceso .....	15
El moldeo en arena es el proceso más popular .....	17
Los sistemas de aglutinantes mantienen unida a la arena .....	18
Procesos 'auto – endurecibles' .....	18
Resumen de los insumos y resultados .....	19
Requerimientos de energía .....	20
Efluentes .....	20
Desperdicios .....	21
Desechos peligrosos .....	21
Resumen .....	21
Fusión en hornos eléctricos .....	22
Funcionamiento de los hornos de inducción .....	22
Hornos a inducción sin núcleo .....	22
El secado y precalentamiento mejora la eficiencia energética .....	23
Resumen de los insumos y resultados .....	23
Requerimientos de energía .....	24
Pérdidas de energía por enfriamiento .....	25
Hornos de inducción eficientes .....	25
Efluentes .....	25
Desperdicios .....	26
Desechos peligrosos .....	27
Resumen .....	27
Limpieza y Terminación .....	27
Visión del proceso .....	27
La terminación incluye los procesos térmicos y mecánicos .....	28
La arena de desecho con frecuencia se procesa para ser reutilizada .....	29
Resumen de entradas y salidas .....	29
Requerimientos de energía .....	29
Emisiones .....	30
Desperdicios .....	30
Resumen .....	31

Identificación de variables .....	32
Contexto del planteo del trabajo .....	32
Elaboración de Moldes y Noyos .....	32
Resumen de los insumos y resultados .....	33
Fusión en hornos eléctricos .....	33
Resumen de los insumos y resultados .....	35
Limpieza y Terminación .....	36
Resumen de entradas y salidas .....	36
Descripción de variables .....	37
Variables de Entrada .....	37
Datos de la pieza a fundir .....	37
Datos del molde para poder realizar la pieza .....	37
Datos de la aleación a fundir .....	37
Base Dólar Tomada para el Cálculo .....	38
Servicios Utilizados Dentro de la Industria .....	38
Variables de Proceso .....	38
Elaboración de Moldes y Noyos .....	38
Fusión en Hornos Eléctricos .....	39
Limpieza y Terminación .....	39
Variables de Salida .....	40
Simulación de costos de producción .....	40
Simulación de recuperación de arena .....	40
Implementación del modelo .....	41
Glosario .....	41
Lista de Acrónimos .....	46
Bibliografía .....	47
Libros .....	47
Internet .....	47
Anexo I: Vínculos de interés .....	48
Anexo II: Ejemplo de Simulación .....	49

## Prólogo

Con el objeto de poder entender el contenido de la tesis es importante, a mi criterio, comenzar la lectura de una de las siguientes dos maneras que serán propuestas a continuación para así luego poder entender el porqué de las variables que serán utilizadas para analizar la empresa en cuestión.

Es por ello que se propone al lector comenzar su lectura de alguna de las siguientes maneras:

1. Comenzando por «Descripción General», siguiendo con:

- «El Proceso de captura»;
- «Elaboración de moldes y noyos»;
- «Fusión en hornos eléctricos» y finalmente
- «Limpieza y Terminación».

De esta forma el lector podrá ver desde lo general, «El proceso de captura», hasta lo particular de cada subproceso. Con esto se obtiene el conocimiento del tema de la tesis en forma completa y aborda lo necesario para luego comprender el capítulo de la interacción entre las variables «Implementación del modelo».

o bien:

2. Teniendo en cuenta solamente el capítulo de «Identificación de variables».

De esta otra forma, el lector obtendrá un resumen de las partes más relevantes de la presente tesis, necesarias para comprender la interacción de las variables.

Además, con esta lectura se perderán aquellos detalles de situación de este tipo de industria en el mundo y en la Argentina, así como la descripción específica de cada subproceso.

En cualquiera de los 2 casos se aconseja leer el capítulo de «Descripción de variables» para poder entender luego a interacción de estas variables en la «Implementación del modelo» que será presentado durante la exposición de la tesis.

## Abstract

Este documento presenta la descripción del Trabajo Final de Carrera «**Captura de conocimiento de una PYME industrial y construcción de modelos de simulación de costos de producción a partir del mismo**».

Este trabajo se introduce en el contexto inmediatamente a continuación descrito y el objetivo del mismo puede ser descompuesto en una serie de aspectos fundamentales:

- la empresa sujeto del trabajo existe y se encuentra en producción desde larga data;
- el objetivo de la empresa es: fundición eléctrica de aceros al carbono, inoxidable, refractarios, nodulares, superaleaciones y materiales no ferrosos, para la realización de piezas moldeadas en arenas sintéticas o de auto fraguado, coladas estáticamente o centrifugadas, con entrega en bruto o mecanizadas, cubriendo una amplia gama de necesidades de productos fundidos para todo tipo de industria;
- el conocimiento técnico-gestión-comercial se encuentra concentrado en el dueño de la misma;
- la necesidad de estimar insumos, costos, stocks, componentes activos de la producción se basan en el conocimiento concentrado en el 'actor dueño';

Se realizará:

- análisis de los procesos que recorren de forma horizontal a la empresa;
- descomposición de proceso en actividades, hasta llegar a la identificación de las variables que intervienen en la producción;
- construcción de modelos de simulación los cuales permitan contestar a diversos interrogantes.

Se pretende en última instancia capturar el conocimiento concentrado; modelarlo; y haciendo uso de tecnologías maximizar la rentabilidad empresarial.

Para ello se utilizará un sistema basado en el conocimiento, que sea capaz de interactuar con cualquier usuario dentro de la empresa, con el fin de una vez ingresado todos los indicadores que tienen incidencia en la solución, el Sistema haga la recomendación de los mejores costos de fabricación y materia prima a utilizar.

## Introducción

### Objetivos, Alcances y Límites

#### Objetivo

El objetivo de este Trabajo Final de Carrera es capturar los indicadores de cada uno de los procesos dentro de la fabricación de piezas fundidas e implementar un modelo para la toma de decisiones de estos procesos a partir de parámetros introducidos por un usuario.

#### Alcances

El sistema basado en el conocimiento a implementar debe ser capaz de responder, como mínimo, a las siguientes preguntas:

- para producir X cuánto debo adquirir de Y;
- para producir X y ganar un Y % cuánto debo producir y cuánto voy a tardar, frente a una demanda Z; Para ello se utilizará los indicadores evaluados en cada uno de los subprocesos de fabricación dentro de la PYME industrial sujeto de este trabajo.

El sistema basado en el conocimiento a implementar será lo suficientemente sencillo para que cualquier usuario dentro de la empresa pueda aproximar, en gran medida, el valor de la fabricación de una pieza sin depender así del 'actor dueño'.

Se utilizará Excel 2000 y tablas dinámicas para implementar el proyecto.

#### Límites

El trabajo pondrá énfasis en el estudio de cada uno de los diferentes subprocesos intervinientes en la fabricación dentro de la industria en cuestión, y el desarrollo de un modelo matemático. Por lo tanto, no se estudiarán otros tipos de procesos industriales ni otras formas de implementación. Se utilizarán las funciones primitivas del Excel o nuevas funciones, en caso de ser necesario.

El modelo implementado estimará costos de fabricación a partir de los indicadores descritos en el presente trabajo.

## Descripción general

### La versatilidad del proceso de fundición

La fundición de metales ha sido descrita como «la ruta más directa y corta desde el diseño hasta la producción del componente»<sup>1</sup>. Prácticamente cada metal que pueda fundirse también podrá moldearse y el diseño de la pieza puede ser sumamente flexible.

Esta flexibilidad le permite a la industria de fundición de metales producir componentes simples o complejos, ya sea que se produzcan una vez como prototipo o miles de veces para ser usados en un producto manufacturado. No es sorprendente que la fundición de metales haya sido elegida como la técnica de conformación de metales para el 90% de todos los bienes que se elaboran y para toda la maquinaria destinada a la fabricación.

Además de producir componentes de productos más grandes, las fundiciones también pueden realizar el mecanizado, el ensamblado y el revestimiento de las piezas. Entre los productos moldeados reconocibles figuran los blocks de motor, las cajas de transmisión y las partes de suspensión de automóviles y camiones; los soportes inferiores de equipos agrícolas y de construcción, los accesorios estructurales y metálicos para electrodomésticos y los caños y las válvulas de accesorios de plomería y calderas. A continuación podemos observar la distribución de los productos en el mercado Argentino durante el año 2003, donde se fundieron 93.000 Toneladas de hierro gris y aleado.

---

1. Kanicki 1994.

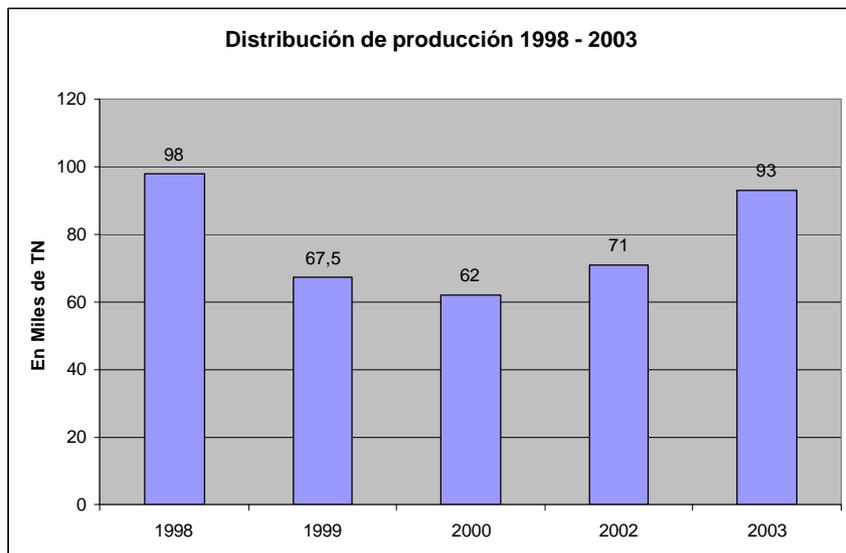


**Repercusiones sobre la fundición a causa de un deterioro de dos décadas**

En las últimas décadas, la industria argentina atravesó un largo período de achicamiento en razón del aumento de competencia extranjera, la disminución en la cantidad y el tamaño de los vehículos que se fabricaban, el mayor uso de materiales sustitutos de los metales y el mayor costo de cumplir con las reglamentaciones ambientales y el costo financiero que demandaba el país. Los niveles de producción de la industria cayeron desde 21,9 millones de toneladas en 1973 hasta 11,3 millones en 1991 y los fundidores de metales habían cerrado un tercio de sus fundiciones para principios de la década del noventa.

Sin embargo, luego de la devaluación de nuestro país durante el 2001 – 2002 y diferentes hechos históricos que fueron sucediendo en América Latina, esta década se intensificó la actividad en la producción nacional de autos, construcciones y fabricaciones varias de aceros, lo que hizo que aumentara la demanda de piezas.

La industria comenzó a recuperarse económicamente y en 2003 despachó su más alto volumen de piezas fundidas (93.000 toneladas) desde 1998. Luego de una depresión en la producción entre 1999-2002 durante una caída de la economía, la industria volvió a ganar impulso. A continuación podemos ver la distribución de producción Argentina a través de los años de hierro gris y aleados.



## Situación Argentina

### Económica

Según un informe realizado por el estudio económico de ADIMRA<sup>2</sup> en base a datos privados suministrados por industrias metalúrgicas durante en el *1er. Trimestre de 2003* y *1er. Trimestre de 2004* arrojó los siguientes datos:

- 76 % de las empresas suben su producción.
- 88 % de las empresas suben sus ventas.
- 36 % de las empresas alcanzaron entre el 76 % y 100 % de valores históricos.
- 32 % de las empresas lograrán su máxima utilización de capacidad instalada en 120 días.
- 60 % de las empresas tienen planes de modernización.
- 40 % de los proveedores de las empresas metalúrgicas no cumplen con compromisos de cantidad y precios.

Por otra parte, la actividad metalúrgica registró en el primer trimestre del 2004 una mejora, con niveles de producción y ventas superiores a los logrados en igual período del año anterior, cuando comenzó la recuperación de la demanda de las empresas usuarias. Así surge de la información recogida por el Departamento de Estudios Económicos de la Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina mediante una encuesta cualitativa realizada a firmas del sector (fabricantes de insumos y bienes intermedios, bienes de consumo durable y bienes de capital).

El 76% de las empresas encuestadas indicó que su producción creció en promedio un 33%. Mientras que el 88% registró un aumento de sus ventas del orden del 36,5%; si bien sólo el 36% de las firmas operó durante el primer trimestre del 2004 con un nivel de actividad entre el 76% y el 100% de sus valores históricamente normales.

La mayoría de las empresas consideran que, la tendencia de la actividad económica previsible para el próximo trimestre será la misma o mejor que la actual y el 32% de ellas estiman alcanzar el máximo nivel de utilización de su capacidad instalada en los próximos 120 días.

Cabe señalar, que las empresas metalúrgicas «sobrevivientes» de un largo período de apertura indiscriminada de la economía, que fueron afectadas además por la crisis financiera de finales de 2001, han realizado un importante esfuerzo de reestructuración económica, basado en recursos propios.

El resultado de esta dinámica llevó a que el 52% de las industrias mantuviera el número de personas ocupadas y un 40% incrementado su dotación de personal durante el primer trimestre del 2004 respecto del último trimestre de 2003.

El 68% de las empresas metalúrgicas indicó también, que sus proveedores están cumpliendo sus compromisos de provisión en los mismos plazos que en meses anteriores, si bien un 40 % de los proveedores no cumplen en cantidad y precio.

Por otra parte, la encuesta permitió comprobar que la mayoría de las empresas metalúrgicas se están viendo obligadas a aumentar su competitividad a través del incremento de las inversiones, por lo cual el 60% de las mismas tiene previsto implementar algún plan de modernización y/o re-equipamiento fabril.

Los objetivos de la inversión están dados por la necesidad de reemplazar maquinaria obsoleta, reducir costos, mejorar la calidad de los productos y expandir la capacidad productiva.

En las respuestas de los empresarios metalúrgicos, quedó claramente expuesto que el cumplimiento de esas metas depende de una política crediticia específica, que acompañe el esfuerzo que están realizando las empresas (por ahora, las líneas de crédito siguen siendo caras y son a muy corto plazo).

En síntesis, las perspectivas del sector en el corto plazo son positivas, pero para el largo plazo siguen prevaleciendo las dudas respecto a que la reactivación no sea sustentable en el tiempo y no se puedan amortizar los bienes de capital incorporados y/o a incorporar.

Frente a esto es interesante analizar las mejoras de procesos con la incorporación de bienes de capital de alta tecnología aún cuando las condiciones de crédito no son las más favorables en cuanto a los plazos y tasas de los mismos.

Un ejemplo que será analizado en el modelo es el de la compra de una máquina para hacer noyos la cual los realiza en 30 segundos; a diferencia del personal de fábrica que esta tardando 30 minutos.

Otras preocupaciones detectadas son:

- La escasa oferta de mano de obra calificada.
- Los alcances de la nueva Ley Laboral N° 25.877.
- La posible falta de insumos críticos (gas, electricidad, materias primas).

2. Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina.

- La permanencia de regímenes especiales que permiten la importación de bienes producidos en el país sin el pago de aranceles.

### General

Los mercados de metales fundidos tradicionales continuarán enfrentando la competencia proveniente de productores extranjeros en razón de sus menores escalas salariales y de las normas ambientales, lo cual disminuye el costo de sus productos. También existen obstáculos nacionales al éxito de la industria de fundición de metales en Argentina. Algunos productos fundidos están siendo reemplazados por el uso de materiales y procesos alternativos antes que por técnicas de fundición tradicionales. Por ejemplo, los aparatos electrodomésticos se están produciendo en materiales plásticos en lugar de fundición de hierro gris. Otros procesos de trabajo del metal, tales como la forja y la soldadura, también son potenciales competidores de los productos fundidos.

Las restricciones ambientales sobre las operaciones de la industria y el manejo de la polución y los productos de desecho, son cada vez más costosos para la industria y recortan sus ganancias dado el tratamiento que insume que se necesita para poder recuperar parte de los desechos de este tipo de industrias.

En un estudio reciente de las fundiciones de América del Norte, el 66% afirmó que planeaba cambiar uno o más procesos en los próximos tres años, a fin de asegurar el cumplimiento de las normas ambientales (Laitar y Geoffrey 1997).

La industria ha participado en actividades de investigación y desarrollo y ha incorporado nuevos adelantos tecnológicos en sus sistemas de procesamiento. Esto ha intensificado su eficiencia energética, su productividad y la calidad de sus productos, pero se requiere investigación y desarrollo adicional para generar mejoras continuas, a fin de mantener su posición de liderazgo global. Este último párrafo plantea un tema interesante en esta industria que es de larga data y donde, en general, no se realizan inversiones de tecnología. En el caso de la industria en cuestión se analizará otro proceso de mezclado mediante la introducción de una nueva tecnología existente hoy en día ahorrando hasta un 100% de los tiempos de proceso y mejorando la calidad de las piezas demostrando así la mejora continua en la industria.

### La gente y los lugares de la industria

En un estudio realizado a través de los años sobre las superficies de las plantas y capacidades máximas de despacho presente y futuras de las plantas de fundición en la República Argentina que fue publicado este año en la Revista N° 117 de CIFRA<sup>3</sup> arrojó los siguientes resultados:

CONCEPTO	1998	1999	2000	2002	2003
Personal ocupado en miles	7.3	5.3	4.9	5.8	7.2
Superficie cubierta de plantas (Km2)	400	330	290	280	300
Capacidad máxima de despacho (miles de toneladas)	360	300	280	270	290
Capacidad futura máxima de despacho (miles de toneladas)	400	300	290	300	320

Fuente: CIFRA (Cámara Industrial de Fundidores de la República Argentina). *Revista el fundidor*. Abril – Mayo 2004, Número 117. Página 66.

Cabe aclarar que este estudio fue realizado en base a las respuestas de las empresas asociadas a CIFRA y datos suministrados por entidades regionales e informaciones recibidas de empresas no asociadas.

Las fundiciones más importantes se encuentran distribuidas entre Gran Buenos Aires y Córdoba abasteciendo en gran medida al mercado local e internacional.

Si observamos el personal ocupado con respecto a Brasil, podemos observar los siguientes resultados:

PERÍODO/REGIÓN	Jul-04 (A)	Jun-04 (B)	Jul-03 (C)	A/B%	A/C%
1- CENTRO/MG	9.248	9.075	7.808	1,019	1,184
2- NORTE/NE	1.099	1.106	1.085	0,994	1,013
3- RIO DE JANEIRO	4.002	3.989	3.544	1,003	1,129
4- SÃO PAULO	22.860	22.663	20.221	1,009	1,131
5- SUL	16.015	15.829	13.740	1,012	1,166

Fuente: ABIFA (Asociación Brasileira de Fundición). Estadística de personal empleado. 09-10-04.

3. Cámara Industrial de Fundidores de la República Argentina.

Los emplazamientos de las fundiciones se han ubicado tradicionalmente cerca de las materias primas, el carbón, el agua y el transporte. Más recientemente, las nuevas fundiciones han sido construidas cerca de abastecimientos no costosos de chatarra metálica y electricidad, como así también de mercados locales para productos fundidos.

Además de las fundiciones en funcionamiento, las instituciones y las organizaciones de investigación públicas y privadas, también forman parte de la infraestructura de la industria de fundición de metales. Una serie de universidades y laboratorios nacionales tales como: INTEMA (UNMP - Facultad Ingeniería), U.B.A. (Facultad Ingeniería), I.N.T.I. (Dpto. MECÁNICA), C.N.E.A. (Dpto. Materiales), U.T.N. (Facult. Reg. San Nicolás), CENTRO INVEST. de MATERIALES, IRAM (Casa Central), entre otros realizan proyectos de investigación con relación a la fundición de metales.

En nuestro país existen varias cámaras tales como: Cámara de Industriales Fundidores de la República Argentina (CIFRA), Cámara de Industriales de Proyectos e Ingeniería de Bienes de Capital de la República Argentina (CIPIBIC), Centro Industrial de Las Parejas, Asociación de Industriales Metalúrgicos de Entre Ríos (ADIMER), Cámara de Industriales Metalúrgicos de Río Cuarto, Cámara Metalúrgica de No Ferrosos (CA-MENOFE), entre otras que brindan soporte sobre determinados aspectos técnicos así como también soporte legal y diversos cursos de capacitación.

### Los materiales de las piezas fundidas

Los materiales para las piezas fundidas pueden ser ferrosos (hierro y acero) o no ferrosos (por ejemplo: aluminio, magnesio y titanio). Aproximadamente el 82% de todos los productos fundidos fabricados hoy en día son ferrosos. La industria de la fundición de metales siempre ha sido líder en el reciclaje de los metales ferrosos y no ferrosos como material de carga, y la mayor parte del metal utilizado para las piezas fundidas proviene de productos reciclados. La siguiente tabla ofrece datos sobre los diversos porcentajes de los metales usados en las piezas fundidas en la Argentina durante 2003.

METALES UTILIZADOS EN LOS PROCESOS DE FUNDICIÓN DURANTE 2003		
Metal	Despachos (miles de toneladas)	% del Total
Hierro Maleable	4.2	2.44
Hierro Nodular	46	26.70
Acero	10.8	6.27
Aluminio	14.3	8.30
Aleaciones de cobre	4.0	2.32
Hierro gris y aleados	93	53.97
<b>TOTAL</b>	<b>172.3</b>	<b>100</b>

Fuente: CIFRA (Cámara Industrial de Fundidores de la República Argentina). *Revista el fundidor*. Abril – Mayo 2004, Número 117. Página 67.

Si observamos la producción de Brasil durante Julio-04 con respecto al mismo periodo del año anterior podemos ver los siguientes resultados:

PERÍODO/METAL	JUL/2004 (A)	JUN/2004 (B)	JUL/2003 (C)	A/B%	A/C%	JAN- JUL/04 (D)	JAN- JUL/03 (E)	D/E%
1- Hierro	206.779	203.734	166.039	1,015	1,245	1.345.974	1.127.693	1,194
2- Acero	19.217	18.559	11.108	1,035	1,730	109.425	68.244	1,603
3- No Ferrosos	18.997	19.887	14.858	0,955	1,279	134.411	102.376	1,313
3.1- Cobre	1.364	2.012	1.706	0,678	0,800	10.548	9.945	1,061
3.2- Zinc	522	516	509	1,012	1,026	3.831	3.819	1,003
3.3- Aluminio	16.608	16.981	12.259	0,978	1,355	117.042	85.989	1,361
3.4- Magnesio	503	378	384	1,331	1,310	2.990	2.623	1,140
<b>4- Total General</b>	<b>244.993</b>	<b>242.180</b>	<b>192.005</b>	1,012	1,276	<b>1.589.810</b>	<b>1.298.313</b>	1,225
<b>5- Producción diaria Ton/día</b>	<b>11.136</b>	<b>11.532</b>	<b>8.348</b>	0,966	1,334	<b>10.815</b>	<b>8.893</b>	1,216

Fuente: ABIFA (Asociación Brasileira de Fundición). Estadística de personal empleado. 09-10-04.

Analizando las tablas expuestas podemos observar que dentro de la región, más precisamente en Brasil se esta produciendo un gran porcentaje de producción con menor porcentaje de personal que en la Argentina lo cual denota la alta producción que obtienen con la aplicación de alta tecnología en la industria.

Por ello es interesante poder realizar un modelo matemático y así evaluar cuales son las variables que pueden mejorarse para lograr mayor producción, en el menor tiempo y con el uso de alta tecnología.

### Procesos de moldeo y fundición

Todas las piezas fundidas en metales comienzan de la misma manera: se crea un molde con una cavidad que define una forma y se introduce metal líquido en el molde para crear la pieza fundida. Otras operaciones que pueden producirse durante la fundición son la elaboración del modelo, la carga del horno, el desmoldeo, el enfriamiento, el manejo de la arena, el temple y el acabado. El proceso de fundición real es mucho más complejo dado que hay muchas formas de realizar las operaciones nombradas anteriormente.

La AFS<sup>4</sup> ha descrito 38 métodos para producir una pieza fundida en metal. Cada proceso ofrece ventajas distintivas que son familiares para los diseñadores y especialistas que las explotan. Sin embargo, a los fines de este Trabajo Final de Carrera, se los puede agrupar en seis categorías amplias, resumidas en la tabla que podemos ver a continuación.

PRINCIPALES PROCESOS DE FUNDICIÓN DE METALES	
<b>Moldeo convencional</b>	
Moldeo en arena en verde	
Moldeo de alta densidad	
Moldeo por secado superficial	
Moldeo en arena seca	
<b>Moldeo de precisión</b>	
Fundición por recubrimiento	
Fundición bajo presión	
Proceso de moldeo permanente	
Proceso Cosworth	
<b>Moldeo de semi-precisión</b>	
Proceso Shell (en cáscara)	
Fundición a la cera perdida	
<b>Moldeo especial</b>	
Fundición por centrifugado	
Moldeo en cancha y en fosa	
<b>Moldeo en arena auto-fraguante, químicamente aglomerada</b>	
Procesos "No-bake" (sin cocción)	
Caja fría y procesos en SO <sub>2</sub>	
Sistemas de catalizadores líquidos	
<b>Moldeo innovador</b>	
Moldeo por compresión	
Proceso FM	
"Rheocasting" y "Thixomolding"	

4. Abr. de American Foundry Society

### El moldeo en arena auto-fraguante químicamente aglomerada ahorra energía

Los procesos que se distinguen por el uso de aglutinantes y catalizadores químicos para curar o endurecen los moldes de arena sin el uso de calor, ayudan a la industria a ahorrar costos de energía. Se los emplea para producir noyos y moldes y la forma de la pieza puede ser bastante intrincada, si bien pueden consumir demasiado tiempo para grandes producciones.

Los **procesos «no-bake» (sin cocción)** son sistemas de aglutinantes para producir noyos, moldes con formas o bien moldes lisos. El aglutinante puede ser curado con un catalizador líquido o un gas. Este proceso forma noyos y moldes duros y rígidos, dando a la pieza buenas tolerancias dimensionales.

Los **procesos en caja fría y SO<sub>2</sub>** utilizan catalizadores gaseosos para producir noyos o moldes y poseen ciclos de producción cortos y costos de producción reducidos; permiten crear noyos y moldes dimensionalmente precisos y piezas con buenas características superficiales.

En los **sistemas de catalizadores líquidos**, la arena refractaria es revestida con el aglutinante y luego se agrega un catalizador líquido para endurecer (curar) el aglutinante.

### El moldeo en arena domina

Las diversas formas de moldeo en arena representan, en forma conjunta, un total de 60% del peso de las piezas de los Estados Unidos. El moldeo permanente y la fundición bajo presión representan otro 20% del total, mientras que la fundición por recubrimiento ha aumentado hasta aproximadamente 7% del total. La siguiente tabla indica los métodos de fundición utilizados en las fundiciones de los Estados Unidos en 2003, incluyendo el valor de las toneladas producidas por método de fundición.

MÉTODOS DE FUNDICIÓN UTILIZADOS Y VALORES DE PIEZAS FUNDIDAS DESPACHADAS POR LAS INSTALACIONES ESTADOUNIDENSES DEDICADAS A LA FUNDICIÓN DE METALES (2003)		
MÉTODO	UTILIZACIÓN (%)	TONELADAS PRODUCIDAS
Arena	60	10.560.000
Molde permanente	11	1.936,000
Bajo presión	9	1.584,000
Recubrimiento	7	1.232,000
1. Otros (combinados)	13	2.288,000
1.1 Moldeo en cáscara	7	--
1.2 Centrifugado, yeso y modelo evaporativo	6	--
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>17.600,000</b>

Fuentes: American Metalcasting Consortium (Consortio Estadounidense de Fundidores de Metales). 10-10-04.

Podemos ver en la tabla que el 60% de producción de metales se realiza en arena, lo cual hace que se generen desechos si la arena no es reprocesada para volver a ser utilizada. Peor aún es en el caso de las fundiciones que utilizan aglutinantes en sus arenas, ya que si no son tratadas correctamente pueden ser altamente contaminantes.

Esta descripción conceptual de los procesos de fundición de metales primarios suministra ciertos antecedentes del lugar en donde la industria utiliza la energía y genera el desecho, temas que serán considerados a continuación.

### Panorama energético

La fundición de metales se encuentra entre las industrias que más energía consumen. El calentamiento y la fusión de los metales consumen grandes cantidades de energía. Se ha estimado que se requieren tanto como 5.860 Kwh. para fundir y moldear una tonelada de piezas de hierro vendibles, si bien valores entre 3.809 y 4.395 Kwh. por tonelada resultan más comunes, en los Estados Unidos.

En nuestro país se utilizaron durante 2003, 185 millones de Kw. para la producción de las diversas metalúrgicas y en diversos metales. También se utilizó 43 millones de m<sup>3</sup> de gas industrial. Estos dos son utilizados en mayor parte en el proceso de fusión, lo cual hace tener en cuenta con detalle el uso de la energía, el cual representa gran parte de los costos dentro de este tipo de industrias.

Tal como se muestra en la siguiente tabla, la mayor parte de este uso de energía (un promedio de 55% de los costos totales de energía) puede atribuirse a la fusión. Esto ha forzado a la industria a hallar las

formas de hacerse más eficaz desde el punto de vista energético, a fin de seguir siendo competitiva. La industria ha hecho buenos progresos al reducir sus costos energéticos mediante el desarrollo y la adopción de equipos más eficaces y la ejecución de cambios en algunos de sus procesos.

<b>DESGLOSE DE LOS COSTOS ENERGÉTICOS DE LOS PROCESOS</b>	
<b>PASO DEL PROCESO</b>	<b>% DEL TOTAL DE COSTOS</b>
Elaboración de noyos	8
Elaboración de moldes	12
Fusión	55
Tratamiento térmico	6
Luego de fundido	7
Otros	12
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

Fuentes: American Metalcasting Consortium (Consortio Estadounidense de Fundidores de Metales). 10-10-04.

Se informó que el uso de la energía industrial total en 2003 para las fundiciones de hierro gris y maleable (que representan el 50,2% de la producción total de la industria) fue de 93 millones de KW en el mercado Argentino. Se estima que el consumo energético en toda la industria para todas las fundiciones es de aproximadamente 241 millones de Kw.

La tabla que se encuentra a continuación muestra el consumo de los principales insumos para el mercado argentino durante el 2003.

<b>CONSUMO DE INSUMOS</b>	
<b>COMBUSTIBLE</b>	<b>CANTIDAD DE USO</b>
Arrabio (Miles TN)	32
Chatarra (Miles TN)	150
Ferro aleaciones (Miles de TN)	3.9
Energía eléctrica (Millones de KW)	185
Gas Industrial (Millones de m <sup>3</sup> )	43
Coque (Millones de TN)	18

Fuente: CIFRA (Cámara Industrial de Fundidores de la República Argentina). Revista el fundidor. Abril – Mayo 2004, Número 117. Página 66.

### **Panorama ambiental**

Dado que las normas ambientales han aumentado el control y la cantidad de las mismas desde la década del 70, las fundiciones han sido cada vez más examinadas por los entes reguladores, tanto a nivel local, como estadual y federal. Si bien la industria de fundición de metales es reconocida por utilizar metales reciclados para producir piezas nuevas, el 75% de sus desperdicios podrían ser fácilmente reciclados pero en cambio terminan en basurales o son descargados en el aire o en el agua (Reuland y otros, 1997). Las fundiciones de hierro y de acero también se consideran grandes fuentes de contaminación peligrosa del aire a partir de procesos tales como la fusión, el colado, el enfriamiento y el desmoldeo. La siguiente tabla resume los tipos de productos de desecho y las emisiones que potencialmente podrían generarse por causa de los grandes procesos de fundición.

PRODUCTOS DE DESECHO DE LA INDUSTRIA DE FUNDICIÓN DE METALES		
OPERACIÓN	MATERIALES UTILIZADOS	POSIBLES DESECHOS/EMISIONES
Elaboración del modelo.	Madera, plástico, metal, cera, poli estireno.	Rezagos no metálicos, solventes, limpiadores, partículas, compuestos orgánicos volátiles.
Preparación del molde y noyo.	Arena, aglutinantes químicos, yeso, capa refractaria, cera, plástico, acero.	Arena quemada, noyos dañados, yeso para moldes, partículas, compuestos orgánicos, contaminantes del aire peligrosos, compuestos orgánicos volátiles, monóxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, dióxido de azufre, óxido nitroso, humos de los óxidos metálicos, amoníaco, cianuro de hidrógeno, óxidos de nitrógeno, vapores de poli estireno, agua de desecho con sólidos suspendidos, fenoles, sales disueltas y elevada temperatura.
Carga del horno y fusión del metal.	Chatarra metálica, lingotes y piezas rechazadas, fundentes, materiales refractarios, combustible.	Partículas, productos de combustión, compuestos de cloruro y fluoruro, humos de óxidos metálicos, ácido hidroclicórico, emisiones provenientes de aditivos, agua de desecho con metales, solventes, materiales refractarios.
Temple, Terminación, Limpieza y Revestimiento.	Pintura, inhibidores de corrosión, piezas sin terminación, agua, granalla de acero, solventes.	Compuestos orgánicos volátiles, polvo y partículas metálicas, solventes agotados, granalla de acero, ruedas de corte, limaduras metálicas, agua de desecho con solventes, aceite y grasa, sólidos suspendidos, temperaturas elevadas, pH alto o bajo.
Desmoldeo, enfriamiento, manipuleo de la arena.	Agua, cáusticos para depuradores en húmedo.	Arena de desecho, finos (no metálicos), partículas, monóxido de carbono, otros gases, compuestos orgánicos, agua de desecho con revestimiento de los moldes, temperaturas elevadas.
Fundición bajo presión.	Metal, combustible, lubricantes, fundentes, fluidos hidráulicos.	Fluidos hidráulicos de desecho, lubricantes, absorbentes para pisos, puntas de émbolos, agua de desecho con aceite, fenoles y temperaturas elevadas.

Fuente: Adaptado del EPA (Ente de Protección Ambiental) 1997.

La industria estadounidense estima que invierte más de 1,25 mil millones de dólares al año en tecnologías que permiten evitar la contaminación y en cumplir con las normas ambientales. La industria también ofrece un importante beneficio, al utilizar chatarra metálica (para la cual paga 1 mil millones de dólares estadounidenses al año) para cubrir el 85% de su material de carga para la producción de piezas ferrosas. Este reciclaje significativo de los materiales de desecho permite mantener 13,3 millones de toneladas de metal al año fuera de los basurales de los Estados Unidos (Radia, French y Slavin 1996; AFS y otros, 1998).

En la Argentina se utilizan los desechos para rellenar basurales y en algunos casos para rellenar calles. Estos desechos deberían ser tratados para evitar la contaminación que en nuestro país se regula a través de las leyes de impacto ambiental.

La industria está hallando nuevas formas de reciclar la arena quemada y de recuperar y reutilizar metales, productos químicos y demás productos de desecho. Muchas fundiciones también han realizado cambios en sus procesos, para ayudar a reducir las emisiones hacia el aire y agua.

La empresa en cuestión también se encuentra en proceso de modificar tanto su proceso de aire y agua, como su proceso de recuperación de arenas.

### Se está reduciendo la corriente de desechos

La ley de Prevención de la Contaminación de 1990 establece una prioridad para reducir la cantidad de desechos fabriles a través de la «reducción desde el origen», evitando la generación de desechos en el piso de la fábrica. Si esto fuera imposible, la segunda mejor opción sería reciclar los desechos producidos y la tercer mejor opción sería la recuperación del contenido energético de los desechos, siendo el tratamiento de la corriente de desechos el último recurso.

Algunas fundiciones están practicando la reducción de la arena de desecho desde el origen, la cual actualmente representa la mayor parte de la cantidad de desechos de la industria, eligiendo técnicas que generen menos arena de desecho.

Prioridades en la reducción desde el origen	
?	Evitar la producción de desechos en el lugar
?	Reciclar los desechos
?	Recuperar el contenido energético del desecho
?	Tratar la corriente de desechos

La industria también está haciendo esfuerzos para regenerar y reutilizar la arena de desecho o para desplazarla fuera del lugar para su reutilización. Las técnicas de reciclaje en el lugar incluyen métodos para eliminar contaminantes de la arena con diversos sistemas de tamizado, separación magnética, depuración o térmicos. La arena no peligrosa a veces es enviada a la industria de la construcción para la producción de cemento y hormigón o bien es utilizada para rellenar basurales (EPA 1997).

El polvo proveniente de los hornos de arco eléctrico a veces se puede reducir, evitando un excesivo sobrecalentamiento del metal, manteniendo una cubierta de fundente o de escoria por encima del metal líquido, precalentando el metal cargado y demás métodos. Algunas fundiciones han hallado que el polvo del horno de arco eléctrico puede ser reciclado hasta el proceso original o reutilizado fuera del proceso si primero se recuperan los residuos de zinc, plomo y cadmio (EPA 1997).

Los mejoramientos en los diseños de las piezas tendientes a reducir los defectos de las mismas también han ayudado a la industria a evitar desechos y reducir costos. Existen varios software de computación para asegurar un diseño óptimo de las piezas fundidas.

### El proceso de captura

El proceso de captura que será descrito y luego, el análisis que va a ser desarrollado, tienen como objetivo optimizar y mejorar el proceso de producción de la fabricación en este tipo de industrias de manufactura de fundición. La posibilidad de realizar una producción efectiva se demostrará, tomando como base una fundición de alta producción y una estimación minuciosa de cada uno de los trabajos que intervienen en el proceso de fundición.

Inoxidables Lincoln S.R.L. es una empresa con mas de 30 años en plaza que se encuentra, actualmente, en un proceso de expansión haciendo que la producción actual se lleve de 50 TN/año a 100 TN/año. Para ello posee 2 hornos de inducción de alta frecuencia de 250 y 180 Kva respectivamente de potencia y se realiza un proceso de moldeo en caja fría con resinas fenólicas.

Debido a la demanda, tanto a nivel nacional como global, se hace necesario cada vez más estimar con exactitud los costos para poder lograr una mayor rentabilidad y así aumentar la productividad.

Para ello voy a explicar a continuación en que consiste el proceso de fabricación de piezas de acero inoxidable en forma genérica y dentro de esa explicación voy a detallar cada uno de los subprocesos que lo compone, así como también los indicadores intervinientes para la empresa en cuestión.

Los subprocesos que lo componen son:

- Elaboración de moldes y noyos
- Fusión en hornos eléctricos
- Limpieza y Terminación

Cabe aclarar que voy a describir en profundidad los subprocesos de: Elaboración de moldes y noyos y Fusión en hornos eléctricos, dado que a mi criterio son los más importantes en este tipo de industria dado que manejan las métricas mas importantes de ella por su porcentaje en la intervención del proceso industrial de fabricación.

### Elaboración de moldes y noyos

#### Descripción general del proceso

Las piezas fundidas son componentes metálicos tecnológicos conformados de la siguiente manera: se diseña un molde para producir la forma deseada y se introduce un flujo de metal controlado en una cavidad

en la cual el metal solidifica. Las piezas fundidas con un acabado superficial liso y altas tolerancias se producen usando moldes de alta calidad. Además de los moldes, en el proceso de fundición se pueden utilizar masas preconformadas separadas denominadas noyos, para obtener características internas o externas que no podrían lograrse con el modelo del molde solamente. Los modelos tanto para moldes y noyos se fabrican en madera, resinas epoxi, poliuretano y otros plásticos, metales, cerámica y algunos otros materiales. El modelo debe compensar la contracción y el cambio en volumen que se produce cuando el líquido se transforma en sólido, a fin de ajustarse a las dimensiones de la pieza fundida final.

En general, los métodos de moldeo se clasifican en tres categorías:

- (1) Procesos de moldeo que hacen uso de un modelo permanente para producir un molde consumible.
- (2) Procesos de moldeo que hacen uso de un modelo consumible y un molde consumible.
- (3) Procesos de moldeo que hacen uso de un molde permanente.

La selección del proceso de moldeo adecuado depende del tipo y de la cantidad de piezas fundidas requeridas y de las propiedades tecnológicas buscadas. La siguiente tabla presenta un resumen de las relaciones entre el proceso utilizado y las propiedades de la pieza fundida resultante.

COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE MOLDEO					
PROPIEDAD	ARENA EN VERDE	MOLDE PERMANENTE	COLADA BAJO PRESIÓN	QUÍMICAMENTE AGLOMERADA (SIN COCCIÓN)	FUNDICIÓN DE PRECISIÓN
Costo relativo en cantidad	Bajo	Bajo	El más bajo	<i>Mediano</i>	El más alto
Costo relativo para pequeñas cantidades	El más bajo	Alto	El más alto	<i>Mediano</i>	Mediano
Peso permisible de la pieza fundida	Hasta 1 TN	45 Kg.	27 Kg.	<i>Ilimitado</i>	Gramos hasta 45 Kg.
Sección más delgada moldeable (pulgadas)	1/10	1/8	1/32	<i>1/10</i>	1/16
Tolerancia dimensional típica en pulgadas	0,012	0,03	0,01	<i>0,01</i>	0,01
Acabado superficial	Regular a bueno	Bueno	El mejor	<i>Bueno</i>	Muy bueno
Aleaciones que pueden moldearse	Ilimitado	Preferibles a base de cobre y de menor punto de fusión	Preferibles a base de aluminio y de menor punto de fusión	<i>Ilimitado</i>	Limitado

La empresa a analizar utiliza el método de moldeo con aglutinantes químicos, el cual figura en la tabla con el nombre de químicamente aglomerada, dado que la misma produce piezas en una gran variedad de aleaciones y tamaños. Este tipo de método de moldeo le da la flexibilidad al fundidor de poder generar cualquier pieza sin necesidad de grandes cambios a nivel productivo.

### El moldeo en arena es el proceso más popular

La arena de sílice es la más utilizada y existen muchos tipos de moldes para el moldeo en arena, que incluyen:

- arena en verde
- arena seca
- tierra arcillosa de moldeo
- en foso
- en cáscara (shell)
- moldes aglomerados químicamente (endurecidos al aire o auto - fraguantes)

El tipo de molde para el moldeo en arena utilizado para una pieza fundida específica se basa en la dimensión de la pieza y en los tipos de aglutinantes utilizados. Los noyos generalmente se clasifican de acuerdo al material con el que están hechos.

En el moldeo en *arena en verde*, la elaboración del molde y del noyo comienza con la preparación y el mezclado de las materias primas, que incluyen arena, aglutinantes, aditivos y agua. Estos diversos ingredientes se mezclan en una máquina conocida como molino mezclador, y la mezcla se transporta (mediante un sistema de transporte neumático o una cinta) luego al área de elaboración de moldes o noyos, donde es almacenada en tolvas o silos hasta que se la necesite.

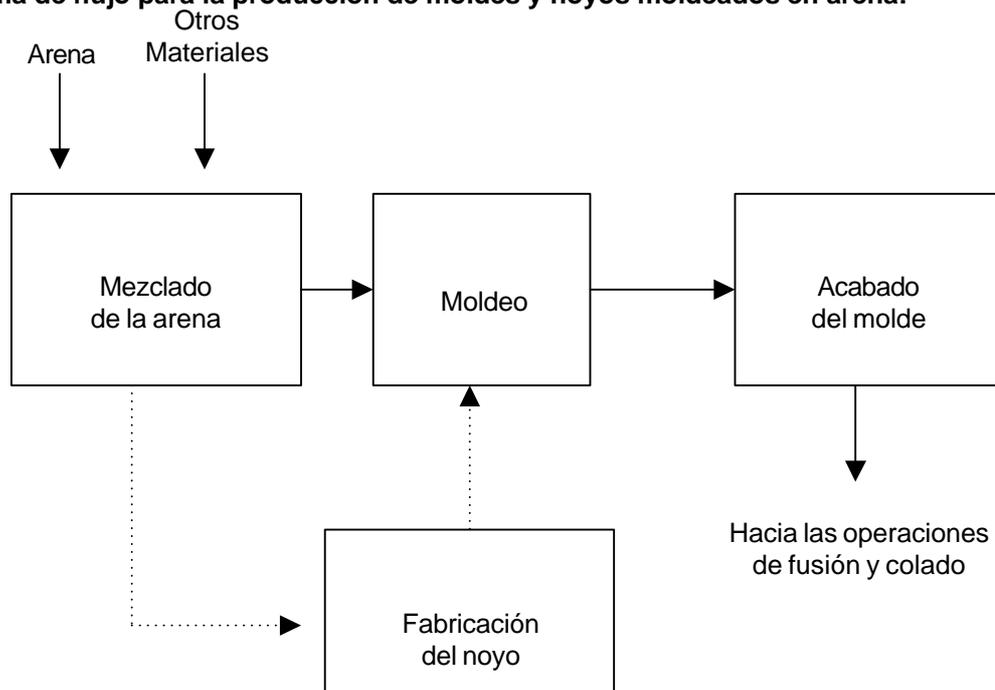
Para la mayoría de los tipos de moldeo en arena, los moldes se fabrican en máquinas de moldeo que sostienen los modelos para los moldes. Los noyos se fabrican en cajas de noyos que están compuestas de madera, metal u otro material duradero. Los moldes se conforman generalmente en dos mitades, conocidas como el sobre y la bajero, los cuales son engrampados entre sí para las operaciones de colado.

Durante las preparaciones de un molde de arena, la arena es rodeada por una caja denominada caja de moldeo y se debe apisonar alrededor de cada mitad del modelo. El apisonado puede realizarse a mano. Sin embargo, el apisonado mecánico permite una producción más rápida para el caso de grandes volúmenes de producción. Los métodos para lograrlo incluyen el apisonado por sacudidas, el apisonado por compresión y la proyección de arena. Los moldes químicamente aglomerados generalmente requieren sólo una sencilla vibración para lograr este paso.

En la mayoría de los casos, los modelos se extraen una vez que la arena ha sido adecuadamente apisonada. Dentro del molde se construye un sistema de alimentación compuesto por canales de colada, bebederos, ataques y mazarotas<sup>5</sup>, a fin de controlar la circulación del metal dentro de la cavidad durante el colado. El molde terminado es luego enviado al área de fusión y colado.

El siguiente WorkFlow ilustra los diversos pasos que tienen lugar en el moldeo en arena de moldes y noyos.

### Diagrama de flujo para la producción de moldes y noyos moldeados en arena:



5. Las mazarotas son aberturas que forman depósitos de metal líquido destinados a compensar la contracción del metal durante la solidificación, y se incluyen para la mayoría de los metales.

HECHOS AMBIENTALES Y ENERGÉTICOS CLAVES FABRICACIÓN DE MOLDES Y NOYOS			
ENERGÍA	EMISIONES	EFLUENTES	DESPERDICIOS
Utiliza entre 7% y 20% (en el orden de los 293 a 879 Kwh.) del consumo total de una fundición, según el tipo de pieza fundida y el metal	Benceno, fenoles y demás CPA, si se emplean noyos químicamente aglomerados.	Sedimentos provenientes de los limpiadores recolectores	Arena en verde de desecho. Arena mezclada con aglutinantes.

Fuentes: AFS (Sociedad de Fundidores Americana) e Inoxidables Lincoln S.R.L.. 17-10-04.

El proceso de moldeo que se utiliza en la empresa bajo análisis es el siguiente:

1. Se mezcla la arena en el molino mezclador junto con Resina Tipo I & II.
2. Se crean los noyos de la pieza deseada a través de la caja de noyo, si es que la misma posee alguno.
3. Con el modelo realizado - generalmente en aluminio, madera, tergopol - se introduce arena en el sobre y bajero para poder generar el positivo y el negativo (llamados así en al jerga de la fundición).
4. Luego se retira el modelo de aluminio, quedando el positivo y negativo de la pieza en arena mezclada con aglutinantes.
5. Se pinta el positivo y el negativo de la pieza con pintura al agua o al alcohol dependiendo de la terminación que se desea darle a la pieza.
6. En el positivo generado se realizan los canales de colada, colocación de mazarotas, ataques y se espera que la arena endurezca del todo.
7. Una vez que el proceso anterior concluyó se pintan las caras de contacto con el acero líquido con una pintura especial para proteger al molde del calor.
8. Se cierra el molde con un pegamento especial para altas temperaturas.
9. Se colocan los bebederos para poder colar la pieza.

#### Los sistemas de aglutinantes mantienen unida a la arena

Un aglutinante es un material que se agrega a la arena o un componente natural de la arena, el cual le ofrece cohesión a la misma. Los aglutinantes tanto orgánicos como inorgánicos, tales como los productos químicos y la arcilla, se emplean en la elaboración de moldes y noyos. La tecnología de los aglutinantes mejora constantemente en respuesta a las preocupaciones sobre el ambiente y la salud y seguridad de los trabajadores.

A los moldes de arena fabricados con arena húmeda, que también son mantenidos húmedos durante el colado, se los emplea para el moldeo en arena en verde. Las mezclas de arena en verde emplean la arcilla y el agua como principales aglutinantes e incluyen otros constituyentes tales como carbonos, cereales, almidones, celulosas, productos químicos y refractarios. A la arena en verde generalmente se la utiliza para conformar moldes, no noyos.

Existen tres tipos de procesos que emplean aglutinantes:

- Activados por calor
- Sin cocción
- Caja fría

#### Procesos 'auto – endurecibles'<sup>6</sup>

**Los sistemas que no requieren cocción** incluyen aglutinantes que fraguan a temperatura ambiente, habitualmente entre 23 y 29°C. Continuamente se mezclan e insuflan o vuelcan arena seca y limpia, aglutinante y catalizador en la caja de noyos o el accesorio de moldeo. Se puede usar calor para acelerar el proceso de endurecimiento del aglutinante. Esta categoría de aglutinantes resulta sumamente popular cuando se requiere un volumen moderado de piezas fundidas (Svoboda 1998).

**Los sistemas de aglutinantes para caja fría** emplean un catalizador de vaporización o un gas para que el molde o el noyo fragüen. Se inyecta arena en la caja de noyos o en el accesorio de moldeo y luego se la gasifica a presión; finalmente se purga el aire. Algunos sistemas de caja fría emplean aglutinantes inorgánicos y por lo tanto son más benignos para el ambiente.

6. Llamados así ya que la arena al ser mezclada con la resina y el catalizador no necesita un proceso de cocción para endurecer, sino que esto sucede a través de los aglutinantes químicos que se utilizan a temperatura ambiente.

**Resumen de los sistemas de aglutinantes utilizados:**

<b>SISTEMAS DE AGLUTINANTES USADOS EN LA FABRICACIÓN DE MOLDES Y NOYOS</b>	
<b>MÉTODO DE AGLUTINANTE</b>	<b>AGLUTINANTES UTILIZADOS</b>
Caja caliente o cáscara	Resinas fenólicas
	Resinas furánicas
	Resinas fenólicas/furánicas
	Resinas modificadas con urea
Caja tibia	Resinas fenólicas
	Resinas furánicas
	Resinas modificadas con urea
<i>Sin cocción</i>	<i>Furánico: ácido y básico</i>
	<i>Fenólico: ácido y básico</i>
	<i>Fenólico/éster</i>
	<i>Silicato/éster</i>
	<i>Fenólico/Uretano</i>
	<i>Uretano álquido</i>
Caja fría	Fenólico/uretano/amina
	Fenólico/éster
	Silicato/CO <sub>2</sub>
	Furano/CO <sub>2</sub>
	Epóxido/CO <sub>2</sub>
	FRC/CO <sub>2</sub>

La empresa bajo análisis utiliza un proceso 'auto-endurecible' que no requiere cocción y para ello utiliza como aglutinante resina fenólica básica y un catalizador para el endurecimiento del grano de arena, que fraguan a temperatura ambiente.  
 Con este proceso se realizan tanto los noyos como los moldes y para ello se utiliza el 1,2% de resina/aglutinante y el 20% del 1,2% de catalizador para la mezcla de arena.

**Resumen de los insumos y resultados**

La siguiente lista resume los insumos y los resultados de los procesos de fabricación de moldes y noyos.

**Insumos:**

- Arena
- Aglutinantes químicos (resina y catalizador)
- Arcillas
- Agua
- Combustible (para calentamiento)
- Electricidad
- Modelos
- Coquillas

**Resultados:**

- Moldes
- Noyos
- Emisiones
- Arena de desecho
- Agua de desecho

Estos insumos pueden ser cuantificados a través de métricas, las cuales serán descritas en el capítulo del modelo «Descripción de Variables», para así poder estimar cuales son los costos asociados a la Elaboración de Moldes y Noyos.

### Requerimientos de energía

La energía utilizada en el departamento de moldeo de una fundición típica se halla entre el 7 y el 20% del consumo de energía total de la fundición, según el tipo de piezas que se produzcan, el metal que se funde y cuele y la dimensión de la operación de fundición.

La energía se utiliza para tres propósitos básicos: transporte de materiales, mezclado mecánico, fabricación de moldes y noyos y calentamiento de moldes y noyos. La siguiente tabla describe el uso de la energía para diversos procesos.

Los procesos de fabricación de noyos en caja caliente y caja tibia también requieren calentamiento.

El proceso que no requiere cocción (químicamente aglomerado) emplea muy poca energía, dado que en la mayoría de los casos no se requiere calor. Se pueden usar refractarios especiales para revestir las superficies de los moldes y noyos con una capa delgada para promover el acabado superficial. Cuando se utilicen estos revestimientos, diluciones o pastas refractarias, se requiere energía para los pasos de secado.

USO DE LA ENERGÍA EN LA FABRICACIÓN DE MOLDES Y NOYOS		
PROCESO	CLASIFICACIÓN DE LA ENERGÍA UTILIZADA (10 = MÁS INTENSIVO)	EXPLICACIÓN
Arena al aceite	10	Altos requerimientos de energía para el curado, el revestimiento refractario y el proceso de pegado.
En cáscara	3	Bajos requerimientos de energía para la fabricación. No se requiere revestimiento refractario.
Caja caliente/tibia	7	Habitualmente se requiere revestimiento refractario.
Arena en verde	3 <sup>a</sup>	Se requiere mezclado.
	9 <sup>b</sup>	Altos requerimientos de energía para el curado.
Sin cocción	3	Bajos requerimientos de energía para la fabricación. A veces se requiere revestimiento refractario.
Caja fría	6	Requiere gas calentado, arena y curado posterior.
<i>a</i>	<i>Proceso de fabricación de moldes.</i>	
<i>b</i>	<i>Proceso de producción de noyos.</i>	

Fuentes: AFS (Sociedad de Fundidores Americana) y Inoxidables Lincoln S.R.L.. 17-10-04.

### Efluentes

Los procesos de fabricación de moldes y noyos generan volúmenes relativamente pequeños de efluentes. Sin embargo, parte del agua del proceso se utiliza durante la preparación de la arena, la preparación del aglutinante y del producto químico, el enfriamiento del sistema hidráulico y la limpieza en húmedo.

Para controlar los efluentes las empresas generalmente poseen su propia tratadora de efluentes antes de tirar productos contaminantes a las cloacas públicas. Esto es una ventaja ya que podemos reutilizar los mismos efluentes tratados, aunque la construcción de este tipo de plantas es bastante elevada. Hay que analizar el costo/beneficio dependiendo del uso de los efluentes para la producción de la fundición.

Para ello se analizará el costo teórico de utilización de agua sin tratamiento y cual es el ahorro utilizando un circuito cerrado de agua para ahorrar gran parte del gasto que se genera para el enfriamiento del horno y limpieza de modelos.

### Desperdicios

Los desperdicios del moldeo en arena incluyen los noyos rotos, la arena que se endurece prematura o inadecuadamente, las resinas y aglutinantes de desecho generados por los derrames, los residuos de los recipientes y los materiales vencidos. La arena que no se emplea en el molde puede ser reutilizada o regenerada. La mayor parte de los materiales utilizados en el proceso de fabricación de noyos y moldes se emplean en el área de colado (EPA 1997).

La arena de moldes y noyos usada puede ser regenerada usando sistemas de regeneración mecánica y/o térmica. Aproximadamente el 80 a 90% de la arena puede ser reutilizada, según el proceso de regeneración seleccionado.

En el caso del proceso de mezclado con aglutinantes fenólicos se puede recuperar hasta un 75% de la arena utilizada pudiendo mezclarla nuevamente con arena virgen y haciendo el proceso mas redituable.

Con respecto a este punto, se analizará en el modelo el beneficio generado si la industria bajo análisis tuviera hoy en día una planta de tratamiento y recuperación de los residuos de este subproceso.

### Desechos peligrosos

Generalmente no existen desechos peligrosos enumerados por la RCRA<sup>7</sup>, asociados a la fabricación de moldes y noyos, si bien los sedimentos no tratados pueden ser clasificados como desechos corrosivos y peligrosos debido al pH (EPA 1997).

### Resumen

Algunas consideraciones a tener en el subproceso Elaboración de moldes y noyos:

- Una empresa antes de decidir que proceso de moldeo utilizar debería evaluar las siguientes variables de las piezas a producir: costo relativo en cantidad, peso de la pieza fundida, sección más delgada que puede moldearse, tolerancia dimensional, acabado superficial y aleaciones que puede moldearse.
- La empresa utiliza un proceso en arena 'auto-fraguante' con resinas fenólicas y un catalizador llamados Resina I & II ya que es un proceso de moldeo bastante versátil en especial para fundir diferentes tamaños y calidades de materiales. Este proceso es utilizado tanto para la producción de moldes como de noyos.
  - † Para calcular los costos asociados, se calcula el peso del molde en arena y se le suma el 1,2% de resina y el 20% del 1,2% de catalizador.
- El molde se genera a partir de un modelo que es realizado por un tercero y cuyo costo depende del tamaño de la pieza y complejidad del trabajo.
- Para la fabricación de moldes se utilizan mazarotas y bebederos que son adquiridos a diversos proveedores.
  - † Para calcular el costo asociado se tomará un promedio del costo de los mismos.
- Los moldes son pintados con pintura al alcohol o pintura al agua dependiendo de la terminación superficial solicitada por el cliente.
  - † Para ello se calculara el peso de la pintura necesaria pintar 1 capa del molde y se la multiplicara por el precio del Kg.
- Tanto para la fabricación de moldes como de noyos, se utiliza tanto electricidad –movimiento de moldes y mezcla de arena- como gas –calentamiento del molde-.
  - † Para calcular los costos asociados, se tomará un promedio de 13,5% del total de la energía utilizada en la fundición lo que equivale a 586 Kwh., que salen de la tabla de «Hechos Ambientales y Energéticos Claves – Fabricación de Moldes y Noyos».
  - † Este costo, según experiencia del 'actor – dueño' puede calcularse como un 10% del total de gastos en servicios en forma mensual.
  - † Se considerarán las 2 posturas.
- Para pegar el positivo y negativo del molde se utiliza un pegamento especial para altas temperaturas.
  - † El costo se calculará en base al peso del material acorde al perímetro de la forma del modelo.
- Para los efluentes se analizará el costo teórico de utilización de agua sin tratamiento y cual es el ahorro utilizando un circuito cerrado de agua para ahorrar gran parte del gasto que se genera para el enfriamiento del horno y limpieza de modelos.

7. Ley de conservación y recuperación de recursos.

- Para los desperdicios se analizará en el modelo el beneficio generado si la industria bajo análisis tuviera hoy en día una planta de tratamiento y recuperación arena ya que es el más utilizado en este subproceso.

Los puntos expuestos inmediatamente arriba serán cuantificados para formar parte del modelo de estimación de costos que será desarrollado en el capítulo «Implementación del Modelo».

### Fusión en hornos eléctricos

#### Funcionamiento de los hornos de inducción

Los hornos de inducción utilizan campos magnéticos para generar el calor. Esta tecnología de hornos se emplea tanto en aplicaciones de fusión ferrosas como no ferrosas, si bien históricamente se la ha usado con mayor frecuencia para las primeras. Algunos hornos pequeños, en la gama de los 900 Kg. a las 9 TN de capacidad, son usados por la industria de fundición para reducir costos y mejorar el comportamiento ambiental.

Los hornos de inducción pueden funcionar de acuerdo a diversas configuraciones, entre las que se incluyen:

- Sistema de un solo horno,
- Funcionamiento por conmutación de potencia,
- Configuración de fusión y mantenimiento,
- Aquéllos que comparten la potencia.

En el sistema de horno único, cada cuba de horno es alimentada desde su propia fuente de alimentación.

En el funcionamiento por conmutación de potencia, las cubas del horno (habitualmente idénticas) son alimentadas desde una única fuente de alimentación, que es conmutada desde un horno al otro.

En los sistemas de fusión/mantenimiento, se utiliza una pequeña fuente de alimentación adicional para los requerimientos de mantenimiento. La configuración en la cual se comparte la energía es similar a la de fusión/mantenimiento, sólo que una única fuente de alimentación provee simultáneamente la energía de fusión a uno de los hornos y la energía de mantenimiento al segundo horno. En ambas configuraciones, los dos hornos alternan en sus funciones de fusión y colado. La producción de metal puede aumentarse hasta en un 20% con este tipo de funcionamiento (Mortimer 1994).

Los principales tipos de hornos de inducción utilizados en las fundiciones emplean una tecnología de inducción de canal o bien sin núcleo. Un horno de inducción consiste en una estructura refractaria que contiene una bobina de metal atravesada por una corriente alterna. Esta corriente crea un campo magnético que induce una corriente sobre la superficie del metal. El calor generado por esta corriente es enviado hacia el centro de la masa de metal, fundiéndola rápidamente. Dos variables pueden afectar el grado de calentamiento logrado en un horno de inducción: la velocidad de variación del campo magnético (frecuencia) y su intensidad (potencia).

La empresa posee 2 hornos de inducción sin núcleo de 250 Kva. y 180 Kva., lo cual equivale a 144 Kw. y 200 Kw. respectivamente. Esta equivalencia se calcula utilizando 0,8 como coseno entre el defasaje de tensión y corriente. Esto significa que la capacidad de fusión por vez es alrededor de 144 Kg. y 200 Kg. por colada utilizando una equivalencia de 1 Kwh. es igual a 1 Kg. de material producido.

#### Hornos a inducción sin núcleo

En un horno de inducción sin núcleo, una bobina de cobre helicoidal enfriada por agua rodea a una cavidad revestida con un refractario, que contiene el material de carga. Se produce una corriente inducida en el material de carga por acción de una corriente alterna en la bobina. Una vez que la carga es fundida, se produce una agitación como resultado de la interacción de corrientes en la masa líquida con el campo magnético. La velocidad de agitación aumenta al aumentar la potencia y al disminuir la frecuencia. Según la capacidad y la tasa de fusión requeridas, la frecuencia de la corriente suministrada habitualmente se clasifica en una de las tres categorías indicadas en la siguiente tabla (Horwath y otros, 1994).

CATEGORÍAS DE LOS HORNOS DE INDUCCIÓN	
DESIGNACIÓN DE LA FRECUENCIA	FRECUENCIA (HZ)
Red (o línea)	50 - 60
Baja	150 - 500
Media o alta	500 - 10.000

Fuentes: AFS (Sociedad de Fundidores Americana). 17-10-04.

Se emplean dos métodos para hacer funcionar un horno de inducción sin núcleo: El método del *pie de baño*, también denominado «colar y cargar», se retiene una porción de la carga líquida en el horno y se agrega material de carga sólido y el *método por lotes* requiere que el horno esté completamente vacío entre fusiones. La fusión por lotes a gran escala se ha vuelto más popular desde el desarrollo de componentes de alta potencia confiables para los equipos de frecuencia variable y de la tecnología que permite la utilización de una entrada de potencia plena durante todo el ciclo de fusión.

La empresa posee hornos de inducción de Media frecuencia ya que son de 3000 Hz. / 380 Volts.

### **El secado y precalentamiento mejora la eficiencia energética**

Si bien no se requiere, el secado/precalentamiento de la chatarra es conveniente en muchas aplicaciones de fusión, particularmente en el caso del hierro y del aluminio. El precalentamiento cumple las siguientes funciones (el secado cumple sólo las dos primeras):

- Extrae la humedad de la carga, reduciendo la posibilidad de explosiones por agua/metal.
- Elimina la suciedad y el aceite, produciendo una carga más limpia e inhibiendo la formación de escoria.
- Reduce los requerimientos energéticos del horno
- Aumenta la capacidad de fusión del horno

En los sistemas de secado, generalmente la carga no ferrosa es calentada a una temperatura que varía entre la ambiente y los 315 °C; los sistemas de precalentamiento calientan una carga ferrosa hasta tanto como 1.200 °F. Los sistemas de secado calientan la chatarra y otros materiales haciéndolos pasar a través de un túnel de llamas alimentado a gasoil o a gas, o bien usando el calor recuperado de la fusión. Los precalentadores de la carga son esencialmente sistemas de secado de la carga diseñados para darle a la chatarra temperaturas que rondan los 1.000°F.

Los sistemas de precalentamiento suministran todas las ventajas de los secadores y el beneficio adicional de ahorros energéticos significativos en el horno (Mortimer, 1994). Los precalentadores alimentados a gas poseen eficiencias térmicas de aproximadamente el 60%, inferiores a la eficiencia del horno. A pesar de la pérdida de eficiencia, el uso del gas que es relativamente no costoso, reduce los costos netos de operación.

En la empresa analizada, sólo se utiliza precalentamiento de la cuchara de fusión para evitar las diferencias de temperatura con el metal líquido.

Al igual que el horno eléctrico la cuchara esta recubierta por un material refractario especial capaz de soportar altas temperaturas.

Esto se realiza mediante gas expulsado a gran velocidad por una turbina o por aire comprimido.

Para ello se calculará el gasto utilizado en el tiempo promedio para calentar la cuchara tomando como base el gasto promedio mensual de la empresa.

### **Resumen de los insumos y resultados**

#### **Insumos:**

- Chatarra metálica
- Metal virgen
- Electricidad
- Agua de enfriamiento

#### **Resultados:**

- Metal líquido
- Escoria
- Dióxido de carbono
- Monóxido de carbono
- Emisión de partículas (polvo y humos) que contienen óxidos metálicos/minerales
- Emisiones orgánicas gaseosas, COV.
- Trazas de elementos (níquel, cromo hexavalente, plomo, cadmio, arsénico)
- Efluentes

Estos insumos deben ser cuantificados a través de métricas, las cuales serán descritas en el capítulo del modelo «Descripción de Variables», para así poder estimar cuales son los costos asociados a la Fusión en Hornos Eléctricos.

HECHOS ENERGÉTICOS Y AMBIENTALES CLAVES – HORNOS ELÉCTRICOS DE FUSIÓN			
ENERGÍA	EMISIONES	EFLUENTES	DESPERDICIOS
Energía usada por tipo de horno: <b>Inducción:</b> 25 a 10.000 Kw. (hornos modernos) <b>Arco eléctrico:</b> 300 a 30.000 Kw. <b>Reverbero caldeado por resistencias eléctricas:</b> 50 a 5.000 Kw.	Partículas (óxidos minerales y metálicos), CO, compuestos orgánicos.	Agua de enfriamiento de la bobina de inducción, limpieza, apagado. Constituyentes preocupantes – metales pesados, compuestos fenólicos -.	Escoria. Sedimentos y polvo del horno de arco eléctrico. Pérdidas de metal líquido por tipo de horno:  <b>Inducción:</b> 1 - 2%. <b>Arco eléctrico:</b> ~5%. <b>Reverbero eléctrico:</b> Hasta 3%.

Fuentes: AFS (Sociedad de Fundidores Americana) y Inoxidables Lincoln S.R.L.. 17-10-04.

### Requerimientos de energía

El consumo de energía de los hornos de inducción depende de muchas variables

La eficiencia general de los hornos de inducción sin núcleo depende de los parámetros de operación del horno y de los factores relacionados con la carga. El consumo de energía de un horno de inducción sin núcleo se ve afectado por los contaminantes (por ejemplo, óxido, arena, aceite, agua, revestimientos) que están en la carga, dado que dichos materiales contribuyen a la formación de escoria (Horwath y otros, 1994). La extracción de la escoria requiere un tiempo adicional durante el ciclo de fusión, lo cual reduce la eficiencia.

Para fundir hierro gris virgen en un horno de inducción sin núcleo, se requiere aproximadamente un 20% más de energía que si el hierro se encontrara en forma de chatarra. Los investigadores sostienen que se requiere una temperatura mayor y un tiempo de fusión más prolongado para hacer que el carbono proveniente del material virgen entre en solución. Sin embargo, estas diferencias entre los materiales vírgenes y la chatarra no han podido ser demostradas para los aceros al carbono y de baja aleación (Horwath y otros, 1994).

Otras variables que afectan el uso de la energía durante la fusión en hornos de inducción sin núcleo, incluyen el método de fusión (pie de baño versus por lotes), la aplicación de potencia (potencia escalonada versus potencia plena), el uso de tapas y el estado del horno (por ejemplo, caliente, medianamente caliente o frío). Para los materiales ferrosos, la fusión con pie de baño generalmente requiere menos energía que la fusión por lotes (del orden del 5% menos para el acero inoxidable), como ocurre con el uso del horno caliente (aproximadamente 2 a 4% menos para la fundición de hierro gris y el acero de baja aleación, en comparación con las condiciones en frío).

Para calcular los requerimientos de energía asociados a la fusión en esta industria se requiere conocer la potencia del horno y su configuración eléctrica. En el caso de la 'fundición bajo análisis' se tiene contratado un servicio de potencia de Tarifa 2 por un total de 216 Kw. a la empresa prestataria del servicio de energía eléctrica para la alimentación de toda la planta y en especial de los hornos de inducción de 144 y 200 Kw. los cuales generan el mayor consumo.

Para calcular los costos asociados se pueden obtener de 2 maneras: dividir el costo total de energía utilizada mensualmente sobre la cantidad de toneladas producidas y obtener el precio/kilogramo o bien utilizar un contador de Kw. que se encuentra instalado hoy en día en la potencia del horno para poder multiplicar la cantidad de Kw. utilizados por el precio del mismo según el horario en el cual se realice la operación. Se utilizará la segunda opción, ya que a mi criterio es mas certera ya que la primera se esta contabilizando otros procesos dentro de la fundición como parte del costo y no se individualiza el proceso de fusión en particular el cual me interesa remarcar.

**Pérdidas de energía por enfriamiento**

Las pérdidas de energía por enfriamiento de la bobina, son altas. Aproximadamente el 75% de la energía que consume el horno se utiliza para aumentar la temperatura del metal. La fuente principal de pérdida de energía se debe al sistema de enfriamiento por agua de la bobina, generalmente una pérdida del 20 al 30% (ACMA y otros, 1990, Smith y Bullard 1995).

Otras pérdidas de energía en un horno de inducción sin núcleo provienen de:

- pérdidas conductivas a través del revestimiento interior,
- pérdidas de calor asociadas con la escoria,
- pérdidas por radiación cuando la tapa del horno está abierta

Las pérdidas de calor asociadas a la escoria se dan en función de la temperatura y de la composición de la escoria producida. El contenido de calor de una escoria típica es de aproximadamente 410 Kwh/ton a 1.537 °C. A menos que se produzcan grandes cantidades de escoria, la pérdida de calor debida a la escoria no denigra sustancialmente el rendimiento general del horno (AFS<sup>8</sup> 1982). Las pérdidas de calor por radiación provenientes de un baño líquido no cubierto y del fondo de una tapa abierta, pueden alcanzar los 130 kW para un horno de 10 toneladas. Sin embargo, la pérdida del calor radiante, que es tan significativa para la fusión del hierro, no es importante en el caso de fundirse aluminio.

**Hornos de inducción eficientes**

Los hornos de inducción eficientes pueden consumir tan sólo 500 Kwh. por TN producida de acero. La siguiente tabla resume los requerimientos energéticos para diversos tipos de hornos eléctricos de fusión. El consumo general de energía para la fusión por inducción de frecuencia media, generalmente es del orden de los 520 a los 800 Kwh. por TN producida de acero. El uso de tapas en los hornos y demás medidas para aumentar la eficiencia energética, pueden reducir el consumo de energía relacionado con la fusión, a tan sólo 500 Kwh. por TN producida de acero. Si se tienen en cuenta los requerimientos energéticos para el mantenimiento y el equipo auxiliar, se ha indicado que el consumo de energía general es del orden de los 550 a 650 Kwh. por TN producida de acero (Booth 1996).

Con la electrónica de la potencia en estado sólido, la energía requerida en muchos hornos de inducción puede ser de tan sólo 500 Kwh. por TN producida para el aluminio o el hierro a una gran velocidad de utilización (Smith y Bullard, 1995).

El consumo de energía para los hornos de arco eléctrico se sitúa entre 450 y 550 Kwh. por tonelada de carga, según el tipo de chatarra y el período de tiempo aplicado (ACMA y otros, 1990).

Para un horno de fusión de reverbero, calentado por resistencias eléctricas, la única pérdida de calor se produce a través de la carcasa y desde las superficies metálicas radiantes expuestas.

USO DE ELECTRICIDAD EN LOS HORNOS ELÉCTRICOS DE FUSIÓN ENERGÍA UTILIZADA POR TN PRODUCIDA		
INDUCCIÓN	ARCO ELÉCTRICO	REVERBERO CALDEADO POR RESISTENCIAS ELÉCTRICAS
520 - 800 Kwh.	500 - 600 Kwh.	600 - 825 Kwh.
500 - 550 <sup>c</sup> Kwh.		
c: Hornos eficientes modernos.		

Fuentes: Smith y Bullard 1995; Booth 1996; Process Metallurgy Intl 1998.

**Efluentes**

El agua del proceso se utiliza para el enfriamiento del horno, la limpieza y el apagado de la escoria.

Los hornos de inducción producen varios efluentes

Se usa un sistema de enfriamiento por agua para enfriar la bobina de potencia en los hornos de inducción, evitando así el sobrecalentamiento del cobre. Algunos hornos utilizan sistemas de enfriamiento de paso único; algunos hornos de inducción son enfriados mediante sistemas abiertos de agua de enfriamiento recirculante.

Los efluentes de las fundiciones contienen metales pesados que pueden superar los límites establecidos por el EPA en los Estados Unidos o por el Departamento de Impacto Ambiental del Municipio donde este radicada la empresa en la Argentina. Estos metales generalmente se eliminan del agua de desecho mediante una regulación del pH, para formar hidróxido de metal insoluble seguido de un paso de asentamiento.

Los efluentes de las fundiciones también contienen una serie de compuestos fenólicos que generalmente se oxidan o destruyen químicamente si la concentración supera los límites prescriptos. La tecnología actual hace uso del dióxido de cloro como el oxidante a elegir para destruir los fenoles. El oxidante se

8. Sociedad Estadounidense de Fundidores.

inyecta directamente en la corriente del agua de desecho ya sea antes o después del clarificador. Esto hace que los compuestos se oxiden y formen ácidos orgánicos (principalmente maleico y oxálico) y, si las reacciones continúan hasta el final, se transforme en dióxido de carbono y agua (Fuller y otros, 1996).

Los sistemas de tratamiento del agua de enfriamiento procesan el agua para su reutilización.

Los principales sistemas de tratamiento del agua de enfriamiento son (Fuller y otros, 1996)

- † Sistemas de recirculación abiertos
- † Sistemas de paso único
- † Sistemas de recirculación cerrados

Los sistemas abiertos generalmente hacen uso de una torre de enfriamiento (a veces, un tanque de rocío) que enfría el agua recirculante por evaporación. A medida que el agua se evapora, los sólidos disueltos y suspendidos se concentran.

En un sistema de paso único, se hace pasar al agua a través de un sistema o equipo sólo una vez y se la descarga esencialmente sin cambio, a no ser por un aumento de la temperatura. Algunos sistemas de enfriamiento para los hornos de inducción emplean los sistemas de enfriamiento de paso único. Los sistemas de recirculación cerrados se usan frecuentemente para enfriar hornos, especialmente hornos de inducción.

El agua en los sistemas cerrados casi siempre es enfriada haciéndola pasar a través de un intercambiador de calor, como ser un radiador.

En la empresa 'bajo análisis' se utiliza un sistema de tratamiento de agua de recirculación cerrada. Para ello posee 1 bomba de presión de agua para hacer el recorrido entre el horno y el intercambiador de calor. Luego el intercambiador de calor, el cual esta compuesto por 2 radiadores SCANIA, de camión, modificados en serie con un forzador detrás y un mosquitero delante tal cual los radiadores que estamos acostumbrados a ver en el auto pero con una potencia muy superior.

Para el tratamiento de agua, se utiliza agua destilada y control de pH.

Este tipo de sistema abarata los costos de utilización de agua y elimina la necesidad de poseer una planta de tratamiento de agua propia en el caso de tener un sistema de enfriamiento por recirculación abierta. Además baja los costos de impuestos ya que según la ley de Impacto Ambiental se debe pagar anualmente por los desechos que arroja la empresa

El costo asociado a éste es el del llenado de 3000 litros de agua destilada para la disolución de los metales pesados provenientes del horno 1 vez por año.

### Desperdicios

Los principales productos de desecho provenientes de los hornos eléctricos son las pérdidas de metal líquido y la escoria. Además, los hornos de arco eléctrico generan polvo.

Las pérdidas de metal líquido generalmente son pequeñas

La superficie de la chatarra cargada en el horno puede oxidarse durante la fusión, lo cual provoca pérdidas de metal líquido. Dado que el metal en un horno de inducción se funde muy rápidamente y no existen productos de combustión presentes, se produce muy poca pérdida por causa de la oxidación. Algunos trabajos sugieren que el horno de inducción presenta rendimientos de hasta un 99%, en comparación con el rendimiento de un horno de arco eléctrico, que es de aproximadamente 95% (Swaney y Cignetti 1990, A.D. Little 1992).

Para aplicaciones de fusión de aluminio, las pérdidas de metal líquido típicas constituyen aproximadamente el 1% cuando se emplean hornos de inducción sin núcleo, en comparación con las pérdidas de metal líquido de hasta el 3% para la fusión en hornos eléctricos de reverbero (Svoboda 1998).

Para la industria 'bajo análisis' se calculará una pérdida del 1% del metal fundido a causa de la oxidación del mismo en el horno de inducción.

### Desechos peligrosos

Los hornos eléctricos generan tanto polvo como escoria peligrosos.

La escoria peligrosa puede ser reciclada cargándola en el cubilote

En las operaciones de fusión puede producirse escoria peligrosa si los materiales de carga contienen metales tóxicos tales como el plomo, el cadmio o el cromo. Por ejemplo, la escoria proveniente de las operaciones de fusión del acero inoxidable es peligrosa como resultado de las altas concentraciones de cromo. Dicha escoria puede ser reciclada como carga de los cubilotes; la escoria del horno de cubilote barre las trazas de metales provenientes de la escoria del horno de inducción. La escoria del cubilote resultante puede convertirse en un desecho no peligroso (EPA, 1997).

Este punto no será analizado en la presente tesis pero es un tema interesante para profundizar luego de ella dado que el tratamiento de desechos peligrosos dentro de la industria de hoy en día baja los costos referidos a la declaración anual de desechos contaminantes y por la cual se paga un canon anual.

### Resumen

Algunas consideraciones a tener en el subproceso Fusión en hornos eléctricos son:

- Una empresa antes de decidir que proceso de fusión va a utilizar debería evaluar las siguientes variables: necesidad de producción mensual / anual, capacidad eléctrica o de gas disponible dentro de la zona donde esta situada la empresa, conocimiento de la dirección sobre la tecnología a utilizar, capacitación del personal para el mantenimiento del horno.
- La empresa utiliza un proceso de fusión con hornos de inducción sin núcleo los cuales permiten producir gran variedad de metales.
  - † Para calcular el costo asociado al horno se calculará la amortización promedio del material refractario necesario para cubrir el horno y la energía eléctrica utilizada para la fusión.
- El proceso de fusión puede mejorarse utilizando secadores y precalentadores de la materia prima y el horno.
- El principal desperdicio de la fusión es la escoria que se genera por la oxidación del metal dentro del horno.
  - † Para calcular el costo asociado a ésta se tomará un 1% del metal utilizado.
- El metal líquido real vendible es el 50% del fundido, esto se debe a gasto por mazarota, canales de colada, bebederos y escoria generada por la oxidación.
- Para la refrigeración del horno se utiliza un sistema cerrado de agua con intercambiadores de calor y forzadores.
  - † Se tomará como costo asociado el equivalente al llenado de los tanques de agua de 3000 litros por año de agua destilada que utiliza este sistema.
- En cuanto a los desechos peligrosos no serán analizados en la presente tesis pero es un tema interesante para profundizar luego de ella dado que el tratamiento de desechos peligrosos dentro de la industria de hoy en día baja bastante los costos referidos a la declaración anual de desechos contaminantes y por la cual se paga un canon anual.

Los puntos expuestos inmediatamente arriba serán cuantificados para formar parte del modelo de estimación de costos que será desarrollado en el capítulo «Implementación del Modelo».

### Limpieza y Terminación

#### Visión del proceso

Las operaciones de limpieza y terminación son el último paso en el proceso de fundición, si bien un diseño y una selección óptimos del sistema de ataque de colada, del moldeo, del equipo y de los materiales podrían ayudar a reducir la necesidad de este esfuerzo. En esta etapa se gasta hasta un 20% del costo de mano de obra en las fundiciones y es difícil atraer a operarios que hagan este tipo de trabajo (AFS 1997).

La limpieza y la terminación generalmente se refieren a la extracción de la arena, del óxido y del exceso de metal de la pieza fundida, tal como los ataques, las rebabas, los alambres para armadura de noyos y las mazarotas. Se puede usar el amolado para eliminar irregularidades debidas a los bebederos o las mazarotas. En muchos casos, las piezas son mejoradas mediante soldadura, revestimiento, tratamiento térmico u otros procedimientos tendientes a mejorar sus propiedades. Posteriormente, la pieza es inspeccionada para determinar la existencia de defectos y la calidad general, utilizando a veces ensayos no destructivos como por ejemplo: metalografías o tintas penetrantes, entre otros.

Las piezas fundidas se limpian después de ser enfriadas. Una vez que la pieza ha solidificado y se ha enfriado lo suficiente, se la separa del molde y se la limpia. En el moldeo en arena, este procedimiento se

conoce como desmoldeo. La arena proveniente del molde puede ser recogida para ser regenerada<sup>9</sup>; de lo contrario, la arena se puede aprovechar para su reutilización o relleno de basurales.

Una vez extraída la pieza del molde, se le quita la arena y el óxido que pueda haber quedado, a través de una serie de medios. Las técnicas tradicionales incluyen la vibración, la limpieza con brocha metálica o la limpieza del molde por desarenado. Las alternativas más nuevas incluyen someterlo a separadores de tambor rotativo o equipo de procesamiento en lecho fluidificado. Para manipular las piezas, particularmente las más grandes, se pueden usar manipuladores y robots.

El desarenado es el método más rápido y más uniforme. Para el desarenado se puede usar aire, agua o medios mecánicos.

En el desarenado por aire, se impulsan hacia la pieza arena, granalla esférica, granalla angular o cuentas de vidrio. El uso de desarenado por agua ayuda a reducir la formación de polvo. En el desarenado mecánico se impulsa granalla esférica o angular mediante una rueda rotativa u otro medio. El uso de granalla esférica produce una superficie brillante, mientras que la granalla angular opaca la superficie (Sylvia 1995). Las granallas esférica y angular se utilizan principalmente para las piezas ferrosas, mientras que la arena y las cuentas de vidrio se utilizan para las piezas no ferrosas.

Para las piezas de aleación de aluminio, latón o bronce, una limpieza con brocha metálica a través de un medio mecánico con frecuencia resulta una limpieza suficiente y produce una superficie brillante.

La vibración puede usarse para separar la arena de la pieza ya sea mediante vibración por fuerza bruta o resonancia a frecuencia natural. Los separadores rotativos separan la arena de la pieza mediante una acción de tamboreo continua, habitualmente rompiendo el ataque y los canales de colada, como así también aplastando los terrones de arena. Los robots y manipuladores se utilizan para ayudar a desplazar las piezas calientes y/o pesadas, hacia los dispositivos de limpieza.

### **La terminación incluye los procesos térmicos y mecánicos**

El corte o recorte de ataques, mazarotas, rebabas o costuras puede ocurrir antes o después de la operación de limpieza. Cuando resulte físicamente práctico, la operación de corte debe realizarse después de que la pieza haya sido limpiada, a fin de que la chatarra metálica resultante esté limpia cuando se la vuelva a fundir posteriormente.

La eliminación de ataques, mazarotas y demás protuberancias que no son parte de la pieza se logra mediante máquina de corte mecánico, tales como serrucho de bandas, ruedas o discos de corte abrasivos y cizallas para metal. Las cizallas son mejores para los materiales más dúctiles. Las mazarotas y los ataques en las piezas de acero moldeado se extraen con facilidad con soplete de corte oxi-acetilénico y lanza de oxígeno. Los sopletes de plasma también se utilizan para ataques y mazarotas más pequeños.

El corte mediante agregado de polvo es otro proceso para cortar grandes mazarotas moldeadas a partir de aleaciones resistentes a la oxidación. Se introduce polvo de hierro precalentado en una corriente de oxígeno; este hierro ardiente ataca luego la mazarota de metal mediante un proceso de desoxidación y oxidación. Esto permite la rápida eliminación de los ataques en aquellas piezas elaboradas en aleaciones altamente resistentes a la oxidación.

El recorte de rebabas, costuras y apéndices similares con frecuencia se logra cortando con herramientas manuales o con martillos cinceladores neumáticos. Las herramientas de rebabado portátiles, las amoladoras de plataforma fija y las amoladoras de bastidor oscilante se emplean para extraer en forma basta el exceso de metal. Las herramientas de rebabado pueden ser accionadas por electricidad o aire comprimido.

Las piezas fundidas a veces son tratadas térmicamente en la fundición utilizando calentamiento y enfriamiento controlados para lograr las propiedades metalúrgicas deseadas. En muchos casos, las piezas pueden pasar por operaciones de limpieza química y terminación adicionales, incluyendo el tratamiento térmico, el pintado y el revestimiento, con el propósito de mejorar sus propiedades finales. Estas operaciones con frecuencia se realizan en firmas externas.

En el caso de la industria 'bajo análisis' se utiliza lo siguiente: el corte se hace en éste sector a través de máquinas de corte con los electrodos correspondientes; el recorte de rebabas se hace mediante máquinas neumáticas, impulsadas con aire comprimido, mediante el uso de piedras abrasivas; el granallado se realiza con granallas esféricas en la máquina correspondiente; el tratamiento térmico se realiza fuera de la empresa.

También se realiza el mecanizado de la pieza a través del alesado – proceso de maquinado realizado por una alesadora para darle una mejor terminación superficial a la pieza fundida- y torneado - proceso de maquinado realizado por un torno para darle una mejor terminación superficial a la pieza - que serán contabilizados en el presente análisis.

9. Se utiliza este término ya que el grano de arena debe ser separado de los restos de metal que posea y de los compuestos químicos utilizados en el proceso de moldeo.

**La arena de desecho con frecuencia se procesa para ser reutilizada**

En algunas fundiciones, la arena es regenerada o reacondicionada para ser reutilizada. La regeneración de la arena es el tratamiento físico, químico o térmico de las arenas para fundición, con el propósito de que puedan sustituir en forma segura a la arena nueva en las mezclas para elaboración de noyos y para moldeo. La verdadera regeneración trata y limpia a todos y cada uno de los granos dentro de la masa de arena.

El reacondicionamiento, tal como se lo practica cuando se regeneran arenas para el sistema en verde, trata y limpia parcialmente la masa como un todo. Algunas formas de regeneración, tales como el desgaste mecánico en seco están más cercanas al reacondicionamiento que a la verdadera regeneración, dado que se realiza poca limpieza en cada uno de los granos de arena.

**Resumen de entradas y salidas****Entradas:**

- Pieza fundida (con arena)
- Agua, arena, granalla esférica, granalla angular o cuentas de vidrio
- Electricidad
- Combustible
- Discos de corte, discos de rebaba
- Oxígeno y Argón
- Electrodo de carbón
- Piedras montadas

**Salidas:**

- Arena de desecho
- Agua de desecho
- Emisiones de partículas
- Emisiones
- Chatarra metálica

Estos insumos pueden ser cuantificados a través de métricas, las cuales serán descriptas en el capítulo del modelo, para así poder estimar más precisamente cuales son los costos asociados a la Limpieza y Terminación.

**Requerimientos de energía**

Una variedad de procesos asociados con la fundición requieren energía térmica o eléctrica.

La limpieza y la terminación representan aproximadamente el 7% del uso energético de una fundición, o aproximadamente 293 Kwh. por tonelada de piezas fundidas sanas despachadas (Process Metallurgy International 1998). La energía se requiere para el insuflado u otro tipo de método de limpieza. El calentamiento puede ser necesario para el tratamiento térmico o para otros procedimientos de terminación. La energía también se requiere para los sistemas de regeneración de arena, en particular, para el calentamiento de la arena en el proceso térmico.

Para los equipos de transporte de la arena, regeneración de arena y recolección de polvo, se requieren numerosos motores. La mayor parte de las herramientas de corte y rebabado funcionan a aire comprimido. Una carga de aire comprimido típica para un área de limpieza y terminación promedio alcanza los 100 caballos de potencia. Las amoladoras eléctricas (tanto de rueda como de cinta) se están volviendo populares en razón de su mayor eficiencia energética.

Las unidades de regeneración térmica de arenas pueden ser eléctricas (para calentamiento por infrarrojos) o alimentadas a gas. Las unidades eléctricas pueden ser programadas de forma tal de integrarse al sistema de manejo de la demanda de potencia de la planta, para ofrecer un factor de carga óptimo y limitar el uso de la potencia pico.

El consumo de energía típico durante la regeneración es de 150 kWh. por tonelada utilizando equipo termoeléctrico.

Dado que en este momento, año 2004, la empresa no esta regenerando la arena, calcularé el costo teórico de este trabajo, teniendo en cuenta que se tiene la idea de realizarlo en el corto plazo para poder regenerar hasta en un 80% de la misma.

### Emisiones

El desmoldeo, la terminación y la regeneración de arena en seco pueden producir partículas.

Durante las operaciones de desmoldeo y limpieza se generan cantidades significativas de emisiones de partículas metálicas y polvo. Las partículas provenientes de la operación de desmoldeo pueden ser controladas con campanas y conductos en los puntos de generación de polvo claves y luego se las puede hacer pasar a través de mangas filtrantes, precipitadores electrostáticos o depuradores en húmedo.

Durante las operaciones de terminación, se emiten partículas metálicas generadas en la eliminación de rebabas, mazarotas y ataques y el desarenado con granalla esférica. Estas emisiones son controladas por ciclones con separadores y filtros de tela. El tipo de partículas viene determinado por el metal utilizado y el medio de desarenado.

Existe la posibilidad de que se generen contaminantes peligrosos del aire durante el desmoldeo. Si bien las especies específicas dependen del aglutinante utilizado, las más comunes incluyen todos los que siguen:

- benceno
- cresol/ácido cresílico
- formaldehído<sup>10</sup>
- disocianato de difenilmetileno
- naftaleno
- fenol
- tolueno
- materia orgánica poli cíclica
- compuestos de cianuro

Un estudio de ocho fundiciones de hierro y de acero ubicadas en los EEUU produjo los índices de emisión estimados de benceno y formaldehído provenientes del desmoldeo, que se muestran en la siguiente tabla:

FACTORES DE EMISIÓN PROMEDIO PARA EL BENCENO Y EL FORMALDEHÍDO, PROVENIENTES DEL DESMOLDEO EN LAS FUNDICIONES DE HIERRO Y ACERO <sup>a</sup> (KG/TN DE PRODUCCIÓN TOTAL DE METAL)				
PROCESO PARA EL AGLUTINANTE DEL MOLDE	BENCENO	BENCENO, DESVIACIÓN ESTÁNDAR	FORMALDEHÍDO	FORMALDEHÍDO, DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Arena en verde <sup>b</sup>	$3,76 \times 10^{-3}$	$1,22 \times 10^{-3}$	$1,76 \times 10^{-3}$	$1,08 \times 10^{-3}$
Sin cocción <sup>c</sup>	$2,40 \times 10^{-3}$	$1,11 \times 10^{-3}$	$3,62 \times 10^{-3}$	$1,36 \times 10^{-3}$
a: Datos provenientes de ocho instalaciones que moldean acero al carbono como así también hierro maleable, nodular y gris, utilizando diversos equipos de colado manual y automático.				
b: Arena en verde con carbón mineral molido, aglomerada con arcilla.				
c: Resina orgánica, sin cocción.				

Fuentes: Lindem 1996.

La regeneración de la arena en seco crea finos y polvo. La regeneración térmica de la arena crea escape de aire contaminado por los desperdicios de combustión, como así también finos, compuestos orgánicos volátiles y compuestos orgánicos.

### Desperdicios

En el pasado, la arena usada era simplemente desechada y más del 90% de la arena quemada proveniente de las fundiciones de hierro y de acero es todavía destinada a rellenar basurales como desechos no peligrosos (Regan y Tikalsky 1997). Sin embargo, las preocupaciones económicas y ambientales hacen conveniente procesar la arena de manera tal que pueda ser reutilizada en la fundición. Estas consideraciones incluyen el costo creciente de la arena nueva, la necesidad de conservar fuentes disponibles de arena de alta calidad, el costo creciente de eliminación de la arena usada, los controles ambientales más estrictos que hacen más difícil y costosa la eliminación de los desechos de la fundición y el alto consumo de arena nueva con el uso de arenas aglomeradas químicamente.

El procesamiento de la arena de desecho para ser reutilizada se conoce como regeneración.

La regeneración térmica es el proceso más comúnmente utilizado

10. Son los restos de arena con aglutinantes pegados en la pieza terminada.

La regeneración térmica quema y elimina todos los aglutinantes orgánicos y demás materiales carbónicos y orgánicos de la arena.

En comparación con el desgaste mecánico, es un proceso más costoso porque, además del tratamiento habitual de pre-aplastamiento y eliminación del metal, la arena es calentada a aproximadamente 500 a 800°C y luego enfriada para ser reutilizada. Se utilizan varios tipos de equipos para la regeneración térmica, tales como los secadores rotativos, los lechos fluidificados y los hornos de cuba. Los sistemas de lecho fluidificado son ahora muy populares porque carecen de piezas en movimiento, son eficaces y pueden lograr algo de enfriamiento.

La empresa bajo análisis tiene prevista la compra de una planta de tratamiento de desperdicio mediante la recuperación de hasta un 95% de la arena utilizada. Para ello se utilizará el ahorro teórico de la utilización de una planta mediante regeneración térmica. Primero se calienta la arena para separar los aglutinantes, luego se enfría a temperatura ambiente y se transporta a través del lecho fluidificado – arena transportada a presión de aire -. Una vez transportada se separan los metales que se encuentran en los granos de arena a través de un separador magnético y luego se almacena en una tolva para ser reutilizada, previo pase de un filtro de finos.

A continuación podemos ver la siguiente tabla la cual da un resumen de lo visto anteriormente:

<b>FACTORES CLAVES EN OPERACIONES DE LIMPIEZA Y TERMINACIÓN HECHOS ENERGÉTICOS Y AMBIENTALES CLAVES LIMPIEZA Y TERMINACIÓN</b>			
<b>ENERGÍA</b>	<b>EMISIONES</b>	<b>EFLUENTES</b>	<b>DESPERDICIOS</b>
293 Kwh. por tonelada de piezas fundidas sanas despachadas	Polvo, partículas metálicas, contaminantes peligrosos del aire, compuestos orgánicos volátiles (COV) y compuestos orgánicos.	Agua de desecho proveniente de las operaciones de terminación (por ejemplo, temple y eliminación de rebabas) Agua de desecho del depurador en húmedo	Arena para fundición quemada Polvo Metal Pérdidas de metal típicas – 0,5% a 1,0% en forma de partículas; 10% a 20% proveniente de la eliminación de ataques, mazarotas, finos, entre otros.

Fuentes: AFS (Sociedad de Fundidores Americana). 24-10-04.

## Resumen

Algunas consideraciones a tener en el subproceso Limpieza y Terminación son:

- Una empresa antes de decidir que proceso de limpieza y terminación va a utilizar debería evaluar las siguientes variables: calidad de terminación superficial requerida por el cliente, nivel de aceptación requerida según la utilización de la pieza, propiedades físicas requeridas por la norma (uso de tratamiento térmico), necesidad de mecanizado de la pieza, nivel de aceptación de defectos por parte del cliente (metalografías y tintas penetrantes), entre otros.
- La empresa realiza subprocesos de terminación de los siguientes tipos: separación de la pieza del molde; corte de canales de colada, mazarotas, bebederos; soldadura de piezas en caso de porosidad; terminación superficial a través de maquinas neumáticas y granalladoras con granallas esféricas; mecanizado de piezas a través de tornos, alzadoras, limadoras y demás maquinarias. El tratamiento térmico y demás ensayos químicos se realizan fuera de la empresa.
  - † Estos costos se calcularán en detalle en el siguiente capítulo donde se planteará el modelo matemático.
- El proceso de limpieza y terminación puede mejorarse a través del control de los COV<sup>11</sup>, utilización de forzadores de aire en cada área de trabajo, mejora de campanas de extracción mediante el uso de ‘trampas’, entre otros.

11. Abr. Compuestos Orgánicos Volátiles.

- El principal desperdicio de la terminación es la eliminación de los canales de colada, bebederos y mazarotas, que en algunos casos alcanza hasta el 50% de la pieza fundida.
  - La energía utilizada en la Limpieza y Terminación la voy a calcular por Kg. de pieza sana despachada.
  - En cuanto a los desperdicios, se calculará el costo-beneficio de la adquisición de una planta de tratamiento de arenas para una recuperación de hasta el 95% de la arena utilizada para el proceso.
- Los puntos expuestos inmediatamente arriba serán cuantificados para formar parte del modelo de estimación de costos que será desarrollado en el capítulo «Implementación del Modelo».

### Identificación de variables

Este capítulo tiene como objeto resumir lo más relevante de lo desarrollado anteriormente para poder entender en forma sucinta el contenido de la tesis.

Para ello se pensó la realización de un resumen con el siguiente esquema:

1. Contexto del planteo del trabajo
2. Elaboración de Moldes y Noyos
3. Fusión en hornos eléctricos
4. Limpieza y Terminación.

### Contexto del planteo del trabajo

En síntesis, las perspectivas del sector en el corto plazo son positivas, pero para el largo plazo siguen prevaleciendo las dudas respecto a que la reactivación no sea sustentable en el tiempo y no se puedan amortizar los bienes de capital incorporados y/o a incorporar.

Frente a esto es interesante analizar las mejoras de procesos con la incorporación de bienes de capital de alta tecnología los cuales se amorticen en tiempos cortos para que de esta manera la industria pueda seguir creciendo aún en tiempos donde no haya créditos bancarios.

Algunos de los ejemplos de lo expuesto inmediatamente arriba y que serán analizados en el modelo matemático son:

- † La evaluación de compra de una máquina para hacer noyos la cual los realiza en 30 segundos, a diferencia del personal de fábrica que esta tardando 30 minutos.
- † Análisis de un proceso de mezclado mediante la introducción de una nueva tecnología existente hoy en día, llamado PEP-SET, ahorrando hasta un 100% de los tiempos de proceso y mejorando la calidad de las piezas demostrando así la mejora continua en la industria.

Si observamos las estadísticas expuestas de Brasil podemos observar que dentro de la región, se esta produciendo un 70 % más con 15% más de personal con respecto a la Argentina lo cual denota la alta producción que obtienen con la aplicación de alta tecnología en la industria.

Por ello es interesante poder realizar un modelo matemático y así evaluar cuales son las variables que pueden mejorarse para lograr mayor producción, en el menor tiempo y con el uso de alta tecnología.

Otro tema interesante de análisis es el de los desechos para rellenar basurales y en algunos casos para rellenar calles. Estos desechos deberían ser tratados para evitar la contaminación que en nuestro país se regula a través de las leyes de impacto ambiental.

La industria está hallando nuevas formas de reciclar la arena quemada y de recuperar y reutilizar metales, productos químicos y demás productos de desecho. Muchas fundiciones también han realizado cambios en sus procesos, para ayudar a reducir las emisiones hacia el aire y agua.

La empresa en cuestión también se encuentra en proceso de modificar tanto su proceso de aire y agua, como de recuperación de arenas.

La industria también está haciendo esfuerzos para regenerar y reutilizar la arena de desecho o para desplazarla fuera del lugar para su reutilización. Las técnicas de reciclaje en el lugar incluyen métodos para eliminar contaminantes de la arena con diversos sistemas de tamizado, separación magnética, depuración o térmicos. La arena no peligrosa a veces es enviada a la industria de la construcción para la producción de cemento y hormigón o bien es utilizada para rellenar basurales (EPA 1997).

La mejora en los diseños de las piezas tendientes a reducir los defectos de las mismas también han ayudado a la industria a evitar desechos y reducir costos. Existen varios software de computación para asegurar un diseño óptimo de las piezas fundidas.

### Elaboración de Moldes y Noyos

La siguiente tabla resume los posibles procesos de moldeo en este tipo de industria:

COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE MOLDEO					
PROPIEDAD	ARENA EN VERDE	MOLDE PERMANENTE	COLADA BAJO PRESIÓN	QUÍMICAMENTE AGLOMERADA (SIN COCCIÓN)	FUNDICIÓN DE PRECISIÓN
Costo relativo en cantidad	Bajo	Bajo	El más bajo	Mediano	El más alto
Costo relativo para pequeñas cantidades	El más bajo	Alto	El más alto	Mediano	Mediano
Peso permisible de la pieza fundida	Hasta 1 TN	45 Kg.	27 Kg.	Ilimitado	Gramos hasta 45 Kg.
Sección más delgada moldeable (pulgadas)	1/10	1/8	1/32	1/10	1/16
Tolerancia dimensional típica en pulgadas	0,012	0,03	0,01	0,01	0,01
Acabado superficial	Regular a bueno	Bueno	El mejor	Bueno	Muy bueno
Aleaciones que pueden moldearse	Ilimitado	Preferibles a base de cobre y de menor punto de fusión	Preferibles a base de aluminio y de menor punto de fusión	Ilimitado	Limitado

Fuentes: AFS (Sociedad de Fundidores Americana). 16-10-04.

La empresa a analizar utiliza el método de moldeo con aglutinantes químicos, el cual figura en la tabla con el nombre de químicamente aglomerada, dado que la misma produce piezas en una gran variedad de aleaciones y tamaños. Este tipo de método de moldeo le da la flexibilidad al fundidor de poder producir cualquier pieza sin necesidad de grandes cambios a nivel productivo.

La empresa bajo análisis utiliza un proceso 'auto-endurecible' que no requiere cocción y para ello utiliza como aglutinante resina fenólica básica y un catalizador para el endurecimiento del grano de arena, que fraguan a temperatura ambiente.

Con este proceso se realizan tanto los noyos como los moldes y para ello se utiliza el 1,2% de resina/aglutinante y el 20% del 1,2% de catalizador para la mezcla de arena.

### Resumen de los insumos y resultados

Según el proceso, la siguiente lista resume los insumos y los resultados de los procesos de fabricación de moldes y noyos.

#### Insumos:

- Arena
- Aglutinantes químicos (resina y catalizador)
- Arcillas
- Agua
- Combustible (para calentamiento)

- Electricidad
- Modelos
- Coquillas

#### Resultados:

- Moldes
- Noyos
- Emisiones
- Arena de desecho
- Agua de desecho

Estos insumos pueden ser cuantificados a través de métricas, las cuales serán descritas en el capítulo «Descripción de variables», para así poder estimar más precisamente cuales son los costos asociados a la Elaboración de Moldes y Noyos.

Para ello se analizará el costo teórico de utilización de agua sin tratamiento y cual es el ahorro utilizando un circuito cerrado de agua para ahorrar gran parte del gasto que se genera para el enfriamiento del horno y limpieza de modelos.

Con respecto a este punto, se analizará en el modelo el beneficio generado si la industria bajo análisis tuviera hoy en día una planta de tratamiento y recuperación de los residuos de este subproceso.

#### Algunas consideraciones a tener en el subproceso Elaboración de moldes y noyos:

- Una empresa antes de decidir que proceso de moldeo utilizar debería evaluar las siguientes variables de las piezas a producir: costo relativo en cantidad, peso de la pieza fundida, sección más delgada que puede moldearse, tolerancia dimensional, acabado superficial y aleaciones que puede moldearse.
- La empresa utiliza un proceso en arena 'auto-fraguante' con resinas fenólicas y un catalizador llamados Resina I & II ya que es un proceso de moldeo bastante versátil en especial para fundir diferentes tamaños y calidades de materiales. Este proceso es utilizado tanto para la producción de moldes como de noyos.
  - ‡ Para calcular los costos asociados, se calcula el peso del molde en arena y se le suma el 1,2% de resina y el 20% del 1,2% de catalizador.
- El molde se genera a partir de un modelo que es realizado por un tercero y cuyo costo depende del tamaño de la pieza y complejidad del trabajo.
- Para la fabricación de moldes se utilizan mazarotas y bebederos que son adquiridos a diversos proveedores.
  - ‡ Para calcular el costo asociado se tomará un promedio del costo de los mismos.
- Los moldes son pintados con pintura al alcohol o pintura al agua dependiendo de la terminación superficial solicitada por el cliente.
  - ‡ Para ello se calculará el peso de la pintura necesaria para el molde y se la multiplicará por el precio del Kg.
- Tanto para la fabricación de moldes como de noyos, se utiliza tanto electricidad –movimiento de moldes y mezcla de arena- como gas –calentamiento del molde-.
  - ‡ Para calcular los costos asociados, se tomará un promedio de 13,5% del total de la energía utilizada en la fundición lo que equivale a 586 Kwh., que salen de la tabla de «Hechos Ambientales y Energéticos Claves – Fabricación de Moldes y Noyos».
  - ‡ Este costo, según experiencia del 'actor – dueño' puede calcularse como un 10% del consumo mensual de cada servicio.
  - ‡ Se considerarán las 2 posturas.
- Para pegar el positivo y negativo del molde se utiliza un pegamento especial para altas temperaturas.
  - ‡ El costo se calculará en base al peso del material acorde al perímetro de la forma del modelo.
- Para los efluentes se analizará el costo teórico de utilización de agua sin tratamiento y cual es el ahorro utilizando un circuito cerrado de agua para ahorrar gran parte del gasto que se genera para el enfriamiento del horno y limpieza de modelos.
- Para los desperdicios se analizará en el modelo el beneficio generado si la industria bajo análisis tuviera hoy en día una planta de tratamiento y recuperación arena ya que es el más utilizado en este subproceso.

Los puntos expuestos inmediatamente arriba serán cuantificados para formar parte del modelo de estimación de costos que será desarrollado en el capítulo «Implementación del Modelo».

### Fusión en hornos eléctricos

Para este subproceso, la empresa posee 2 hornos de inducción sin núcleo de 250 Kva y 180 Kva, lo cual equivale a 144 Kw y 200 Kw respectivamente. Esta equivalencia se calcula utilizando 0,8 como coseno entre el defasaje de tensión y corriente. Esto significa que la capacidad de fusión por vez es alrededor de 144 Kg. y 200 Kg. por colada utilizando una equivalencia de 1 Kwh. es igual a 1Kg. de material producido.

Estos hornos son llamados de Media frecuencia ya que son de 3000 Hz. / 380 Volts.

En la empresa analizada, sólo se utiliza precalentamiento de la cuchara de fusión para evitar las diferencias de temperatura con el metal líquido.

Al igual que el horno eléctrico la cuchara esta recubierta por un material refractario especial capaz de soportar altas temperaturas.

Esto se realiza mediante gas expulsado a gran velocidad por una turbina o por aire comprimido.

Para ello se calculará el gasto utilizado en el tiempo promedio para calentar la cuchara tomando como base el gasto promedio mensual de la empresa.

### Resumen de los insumos y resultados

#### Insumos:

- Chatarra metálica
- Metal virgen
- Electricidad
- Agua de enfriamiento

#### Resultados:

- Metal líquido
- Escoria
- Dióxido de carbono
- Monóxido de carbono
- Dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno
- Emisión de partículas (polvo y humos) que contienen óxidos metálicos/minerales
- Emisiones orgánicas gaseosas
- Trazas de elementos (níquel, cromo hexavalente, plomo, cadmio, arsénico)
- Efluentes

Estos insumos pueden ser cuantificados a través de métricas, las cuales serán descritas en el capítulo del modelo, para así poder estimar más precisamente cuales son los costos asociados a la Fusión en Hornos Eléctricos.

Para calcular los requerimientos de energía asociados a la fusión en esta industria se requiere conocer la potencia del horno y su configuración eléctrica. En el caso de la 'fundición bajo análisis' se tiene contratado un servicio de potencia de Tarifa 2 por un total de 216 Kw. a la empresa prestataria del servicio de energía eléctrica para la alimentación de toda la planta y en especial de los hornos de inducción de 144 y 200 Kw. los cuales generan el mayor consumo.

Para calcular los costos asociados se pueden obtener de 2 maneras: dividir el costo total de energía utilizada mensualmente sobre la cantidad de toneladas producidas y obtener el precio/kilogramo o bien utilizar un contador de Kw. que se encuentra instalado hoy en día en la potencia del horno para poder multiplicar la cantidad de Kw. utilizados por el precio del mismo según el horario en el cual se realice la operación. Se utilizará la segunda opción, ya que a mi criterio es mas certera ya que la primera se esta contabilizando otros procesos dentro de la fundición como parte del costo y no se individualiza el proceso de fusión en particular el cual me interesa remarcar.

En la empresa 'bajo análisis' se utiliza un sistema de tratamiento de agua de recirculación cerrada. Para ello posee 1 bomba de presión de agua para hacer el recorrido entre el horno y el intercambiador de calor. Luego el intercambiador de calor, el cual esta compuesto por 2 radiadores SCANIA, de camión, modificados en serie con un forzador detrás y un mosquitero delante tal cual los radiadores que estamos acostumbrados a ver en el auto pero con una potencia muy superior.

Para el tratamiento de agua, se utiliza agua destilada y control de pH.

Este tipo de sistema abarata mucho los costos de utilización de agua y elimina la necesidad de poseer una planta de tratamiento de agua propia en el caso de tener un sistema de enfriamiento por recirculación abierta. Además baja los costos de impuestos ya que según la ley de Impacto Ambiental se debe pagar anualmente por los desechos que arroja la empresa

Algunas consideraciones a tener en el subproceso Fusión en hornos eléctricos son:

- Una empresa antes de decidir que proceso de fusión va a utilizar debería evaluar las siguientes variables:

necesidad de producción mensual / anual, capacidad eléctrica o de gas disponible dentro de la zona donde esta situada la empresa, conocimiento de la dirección sobre la tecnología a utilizar, capacitación del personal para el mantenimiento del horno.

- La empresa utiliza un proceso de fusión con hornos de inducción sin núcleo los cuales permiten producir gran variedad de metales.
  - † Para calcular el costo asociado al horno se calculará la amortización promedio del material refractario necesario para cubrir el horno y la energía eléctrica utilizada para la fusión.
- El proceso de fusión puede mejorarse utilizando secadores y precalentadores de la materia prima y el horno.
- El principal desperdicio de la fusión es la escoria que se genera por la oxidación del metal dentro del horno.
  - † Para calcular el costo asociado a ésta se tomará un 1% del metal utilizado.
- El metal líquido real vendible es el 50% del fundido, esto se debe a gasto por mazarota, canales de colada, bebederos y escoria generada por la oxidación.
- Para la refrigeración del horno se utiliza un sistema cerrado de agua con intercambiadores de calor y forzadores.
  - † Se tomará como costo asociado el equivalente al llenado de los tanques de agua de 3000 litros por año de agua destilada que utiliza este sistema.
- En cuanto a los desechos peligrosos no serán analizados en la presente tesis pero es un tema interesante para profundizar luego de ella dado que el tratamiento de desechos peligrosos dentro de la industria de hoy en día baja bastante los costos referidos a la declaración anual de desechos contaminantes y por la cual se paga un canon anual.

Los puntos expuestos inmediatamente arriba serán cuantificados para formar parte del modelo de estimación de costos que será desarrollado en el capítulo «Implementación del Modelo».

### Limpieza y Terminación

Para este subproceso, en la industria 'bajo análisis' se utiliza lo siguiente: el corte se hace en éste sector a través de maquinarias con los electrodos correspondientes; el recorte de rebabas se hace mediante máquinas neumáticas con piedras abrasivas a aire comprimido; el granallado se realiza con granallas esféricas en la máquina correspondiente; el tratamiento térmico se realiza fuera de la empresa.

También se realiza el mecanizado de la pieza a través del alesado<sup>12</sup> y torneado<sup>13</sup> que serán contabilizados en el presente análisis.

### Resumen de entradas y salidas

#### Entradas:

- Pieza fundida (con arena)
- Agua, arena, granalla esférica, granalla angular o cuentas de vidrio
- Electricidad
- Combustible
- Discos de corte, discos de rebaba
- Oxígeno y Argón
- Electrodo de carbón
- Piedras montadas

#### Salidas:

- Arena de desecho
- Agua de desecho
- Emisiones de partículas
- Emisiones
- Chatarra metálica

Estos insumos pueden ser cuantificados a través de métricas, las cuales serán descritas en el capítulo del modelo «Descripción de Variables», para así poder estimar más precisamente cuales son los costos asociados a la Limpieza y Terminación.

La empresa bajo análisis tiene prevista la compra de una planta de tratamiento de desperdicio mediante la recuperación de hasta un 95% de la arena utilizada. Para ello se utilizará el ahorro teórico de la utilización de una planta mediante regeneración térmica. Primero se calienta la arena para separar los aglutinantes,

12. Proceso por el cual se utiliza una alesadora para darle una mejor terminación superficial a la pieza fundida.

13. Proceso por el cual se utiliza un torno para darle una mejor terminación superficial a la pieza fundida.

luego se enfría a temperatura ambiente y se transporta a través del lecho fluidificado – arena transportada a presión de aire -. Una vez transportada se separan los metales que se encuentran en los granos de arena a través de un separador magnético y luego se almacena en una tolva para ser reutilizada, previo pase de un filtro de finos.

### Algunas consideraciones a tener en el subproceso Limpieza y Terminación son:

- Una empresa antes de decidir que proceso de limpieza y terminación va a utilizar debería evaluar las siguientes variables: calidad de terminación superficial requerida por el cliente, nivel de aceptación requerida según la utilización de la pieza, propiedades físicas requeridas por la norma (uso de tratamiento térmico), necesidad de mecanizado de la pieza, nivel de aceptación de defectos por parte del cliente (metalografías y tintas penetrantes), entre otros.
- La empresa realiza subprocesos de terminación de los siguientes tipos: separación de la pieza del molde; corte de canales de colada, mazarotas, bebederos; soldadura de piezas en caso de porosidad; terminación superficial a través de maquinas neumáticas y granalladoras con granallas esféricas; mecanizado de piezas a través de tornos, alzadoras, limadoras y demás maquinarias. El tratamiento térmico y demás ensayos químicos se realizan fuera de la empresa.
- † Estos costos se calcularán en detalle en el siguiente capítulo donde se planteará el modelo matemático.
- El proceso de limpieza y terminación puede mejorarse a través del control de los COV, utilización de forzadores de aire en cada área de trabajo, mejora de campanas de extracción mediante el uso de 'trampas', entre otros.
- El principal desperdicio de la terminación es la eliminación de los canales de colada, bebederos y mazarotas, que en algunos casos alcanza hasta el 50% de la pieza fundida.
- La energía utilizada en la Limpieza y Terminación la voy a calcular por Kg. de pieza sana despachada.
- En cuanto a los desperdicios, se calculará el costo-beneficio de la adquisición de una planta de tratamiento de arenas para una recuperación de hasta el 95% de la arena utilizada para el proceso.

Los puntos expuestos inmediatamente arriba serán cuantificados para formar parte del modelo de estimación de costos que será desarrollado en el capítulo «Implementación del Modelo».

## Descripción de variables

Las variables que serán utilizadas en la «Implementación del modelo» para obtener resultados certeros sobre el gasto de cada subproceso se detallan a continuación:

### Variables de Entrada

#### Datos de la pieza a fundir

Nro_Pieza	Diam. Exterior	Diam. Interior	Largo	Cantidad	Peso	Aleación	Molde	Observaciones
1	240	200	400	10	43,40	1	1	Tubo de acero inoxidable calidad 316.
2	300	200	400	10	123,31	2	1	Tubo de acero inoxidable calidad 316L.

#### Datos del molde para poder realizar la pieza

Código_Molde	Ancho	Largo	Espesor	Peso	Observaciones
1	400	400	500	112,00	Datos del molde necesario para fundir el tubo.

#### Datos de la aleación a fundir

Aleación	SAE	DIN	ASTM	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Co	V	Fe	MPrim	Costo Mprim	MSec	Costo MSec
1	316L	1.4404	A743 CF3M	0,03	1	2	0,045	0,03	17	12	3	0	0	65	90,00%	\$ 4,00	10,00%	\$ 2,50
2	316	1.4401	A743 CF8M	0,08	1,5	1,15	0,04	0,04	20	11	3	0	0	65	50,00%	\$ 3,00	50,00%	\$ 1,90

**Base Dólar Tomada para el Cálculo**

Fecha	U\$S
10/02/2005	\$ 2,92
11/02/2005	\$ 2,93

**Servicios Utilizados Dentro de la Industria**

Fecha	Descripción	Importe
08/09/2004	Agua	\$ 311,02
17/08/2004	Gas	\$ 322,87
04/10/2004	Luz	\$ 3.796,83

**VARIABLES DE PROCESO****Elaboración de Moldes y Noyos**

Numero_Variable	Nombre_Variable	Descripción	Limite Inferior	Valor	Limite Superior	Otro	Costo
1	Resina	Resina furánica básica para mezclar con la arena	1,20%	1,40%	1,60%		3,15 \$/Kg.
2	Catalizador	Catalizador para mezclar la arena	0,24%	0,20%	0,32%		7,35 \$/Kg.
4	Pintura al alcohol	Pintura utilizada para el molde.	1,00%	1,50%	2,00%		2,88 \$/lt.
5	Pintura al agua	Pintura utilizada para el molde.	1,00%	1,50%	2,00%		3,65 \$/Kg.
3	Camisa exotermica	Es utilizada en el molde para manejar la contracción líquida - sólida.	20,00%	35,00%	50,00%	15,19 Kg	1-20 U\$S/CU
6	Electricidad	Electricidad utilizada para el proceso de moldeo.	13,50%	10,00%	16,00%		
7	Peganoyo	Pegamento utilizado para pegar los noyos de las piezas	0,03%	0,02%	0,05%		1,5 \$/Kg.
8	Noyo	Son pasadores utilizados para generar los orificios del molde.					
8.1	Arena	Arena virgen utilizado para la mezcla de resina y catalizador.					
8.2	Resina	Resina furanica para el noyo.					
8.3	Catalizador	Catalizador utilizado para el noyo.					
8.4	Pintura	Generalmente se utiliza pintura al agua porque resiste mayores temperaturas.					
9	AguaSinTratar	Agua de red sin tratamiento interno.					
10	Gas	Gasto de gas mensual que afecta a este subproceso.					
11	Mezclado de arena	Gasto de mezclado de arena con resina y catalizador, considerando que la máquina esta amortizada.	20,00%	60,00%	100,00%		
11.1	Mantenimiento	Gasto anual de mantenimiento asociado al subproceso.		U\$S 3000			
11.2	Electricidad	Electricidad utilizada para el proceso de mezclado utilizando un consumo de 20 Kwh (Consumo de la máquina mezcladora).					
11.3	Amortización	Costo de amortización de la máquina si fuera nueva.					
12	Arena	Arena virgen utilizada para la mezcla de resina y catalizador en el molde.					0,041 \$/Kg.

## Fusión en Hornos Eléctricos

Numero_Variable	Nombre_Variable	Descripción	Limite Inferior	Valor	Limite Superior	Otro	Costo
1	Gas	Gasto de gas mensual que afecta a este subproceso.					
2	Electricidad						
2.1	Electricidad. Fuera de punta	Valor del KW asociado al gasto del horno después de las 18.00 hs.		\$ 6.618,79		\$ 8,26	\$ 24,596
2.2	Electricidad. Punta.	Valor del KW asociado al gasto del horno entre las 7.00 - 18.00 hs				\$ 5,71	
2.3	Electricidad. Valor del Kw.	Valor nominal del Kw.				\$ 0,063	
3	Agua Destilada Circuito Cerrado	Agua utilizada para refrigeración del horno. Se calcula el costo de llenado de los tanques de agua destilada en forma anual.					
3.1	Llenado de tanques	Costo de llenado de tanques de agua de circuito cerrado.		3000		\$ 0,3703	Costo a futuro (Simulación)
3.2	Reposición por evaporación	Costo de reposición por evaporación de agua destilada. Alrededor de 2% mensual.		2%		\$ 0,0000	Costo a futuro (Simulación)
4	Material. Oxidación	Pérdida por oxidación de material luego de la fusión.	2,00%	3,00%	4,00%		
5	Horno 1	Horno de fusión. 144 Kw.					
5.1	Tiempo de Fusión.	Tiempo que se utiliza para realizar una colada.				22,61 Minutos	
5.2	Refractario	Material que recubre el horno para mantener su temperatura.				197,29 Kg.	2,4 U\$S / Kg
6	Horno 2	Horno de fusión. 200 Kw.					
6.1	Tiempo de Fusión.	Tiempo que se utiliza para realizar una colada.				16,28 Minutos	
6.2	Refractario	Material que recubre el horno para mantener su temperatura.				686,67 Kg.	2,4 U\$S / Kg
7	Matenimiento						
8	Chatarra metálica	Material utilizado para formar la aleación buscada.					
9	Metal Virgen	Material virgen utilizado para formar la aleación buscada.					
10	Agua Circuito Abierto	Agua utilizada para refrigeración del horno	50 %	60 %	70 %		
11	Bebedero	Dispositivo utilizado para poder introducir la el material líquido dentro del modelo.	2,00%	2,00%	5,00%		
12	Camisa de mazarota	Dispositivo utilizado para compensar la contracción de la pieza fundida durante su solidificación.	20%	45,00%	50,00%		1-20 U\$S/CU

## Limpieza y Terminación

Numero_Variable	Nombre_Variable	Descripción	Limite Inferior	Valor	Limite Superior	Otro	Costo
1	Tratamiento Térmico	Calentamiento que se le da a la pieza terminada para darles las propiedades físicas deseadas.					1 U\$S/Kg.
2	Gas	Gasto de gas mensual que afecta a este subproceso.	2,00%	3,50%	5,00%		
3	Agua	Agua utilizada para limpieza de las piezas terminadas.	2,00%	3,50%	5,00%		
4	Piedras de amolado	Piedras utilizadas para la terminación superficial de la pieza.	200	500	1000		\$ 3,16 c/u
5	Discos de corte	Discos utilizados para cortar los canales de colada y bebederos.	50	200	500		\$ 3,97 c/u
6	Electrodos de corte	Utilizados para cortar materiales muy duros.					U\$S 2,10 c/u
7	Electrodos de soldadura	Utilizados para soldar las piezas con pequeños defectos.	2,00%	6,00%	10,00%		20 U\$S/Kg
8	Recuperación de arena	Cantidad teórica de recuperación de arena	65,00%	80,00%	95,00%	-\$ 1,254	
9	Mecanizado	Horas de mecanizado para mejorar la terminación de la máquina.					25 \$/hora
10	Ensayo químico	Son ensayos que se realizan para comprobar el material fundido.					5 \$/elemento
11	Electricidad	Electricidad utilizada para las máquinas de terminación.	5,00%	7,00%	10,00%		
12	Granallado	Costo de terminación realizado por terceros.					0,5 \$/Kg
13	MO	Mano de obra					10 \$/hora

**Variables de Salida****Simulación de costos de producción**

Nro_Pieza	Numero_Variable	Nombre_Variable	Descripción
1	1	Costo_Modelo	Costo del modelo cuyo costo es tercerizado.
1	2	Costo_MoldeNoyo	Costo de fabricación del molde y los noyos para el modelo deseado.
1	3	Costo_Fusión	Costo de la fusión del molde generado.
1	4	Costo_Terminación	Costo de terminación de la pieza fundida.

**Simulación de recuperación de arena**

Numero_Variable	Nombre_Variable	Descripción	Limite Inferior	Valor	Limite Superior
<b>1 Sin Recuperación</b>					
1.2	Precio	Cantidad de contenedores usados anualmente.	6	8	10
1.3	Gente	Gente necesaria para romper las cajas de arena y extraer la pieza.			
		Herramental necesario para romper las cajas de arena tales como: martillos neumáticos, puente grua, entre otros.			
1.4	Herramental		3,00%	4,00%	5,00%
1.5	Arena	Cantidad de arena desperdiciada mensualmente.	20 TN	50 TN	100 TN
<b>2 Recuperadora</b>					
2.1	Inversión	Costo de la maquina de recuperación	\$ 40.000,00	\$ 60.000,00	\$ 80.000,00
2.2	Montaje	Costo del montaje	\$ 5.000,00	\$ 7.000,00	\$ 10.000,00
2.3	Transporte	Costo del transporte del exterior	\$ 2.100,00	\$ 2.500,00	\$ 3.000,00
2.4	Impuestos	Impuestos y gastos de aduana	\$ 9.450,00	\$ 14.070,00	\$ 18.900,00
2.5	Mantenimiento	Costo de mantenimiento mensual	\$ 3.000,00	\$ 5.000,00	\$ 7.000,00
2.6	Amortización	Tiempo de Amortización	1 año	5 años	10 años

Aquellas celdas de intersección entre una fila y una columna que no poseen valor es porque en el capítulo «Implementación del modelo» van a ser calculados en forma dinámica durante el proceso de simulación, obteniendo así valores justificados con el basamento teórico explicado en la presente tesis.

## Implementación del modelo

En la mayoría de los proyectos de negocios y mas que nada en situaciones como la planteada donde el conocimiento se encuentra en el 'actor dueño' de la empresa en cuestión se requiere de la utilización de alguna herramienta tecnológica para poder plantear una solución a las diferentes situaciones cambiantes del negocio para optimizar los costos asociados a la producción.

Por ello es importante, una vez que se tienen documentados los requerimientos de negocio poder evaluar las métricas asociadas y los posibles valores que pueden tomar.

A partir de lo anterior es interesante poder construir un modelo que pueda responder a varios cuestionamientos de hoy en día en este tipo de industria como por ejemplo:

- † ¿Cuál es el costo asociado por sector de la empresa?
- † ¿Puedo saber el costo del kilogramo de un material en especial?
- † ¿Cuánto tiempo tardo en fundir una pieza?
- † ¿Cuál es el desperdicio que estoy teniendo de un material?
- † ¿Cuánta materia prima necesito para fabricar el producto final?

La respuesta a estas preguntas puede obtenerse a través de un modelo que plantearé en Excel con tablas dinámicas en el cual se expandirá la mayor cantidad de métricas asociadas a cada proceso para responder los diversos cuestionamientos de cada área específica a la fabricación de piezas.

Cabe aclarar que hoy en día la empresa no tiene algo como lo propuesto en la presente tesis dado que el 'actor dueño' de la empresa es el único responsable tanto técnico como comercial lo cual hace poco viable a través del tiempo su existencia y la competencia de la empresa tanto a nivel nacional como internacional.

En consecuencia, existe la necesidad de generar un modelo para minimizar la dependencia y así poder disminuir la incertidumbre por parte de la empresa para con el cliente cuando el 'actor' no se encuentra en los alrededores de la empresa.

Otro beneficio que provee la solución es la independencia de criterio, y la seguridad de que el resultado no esta influenciado por el 'actor' o bien por el empleado que propone la solución, utilizando en algunos casos criterios poco justificables.

Para ello se procederá a la identificación de las variables, justificación de las mismas y el armado del modelo matemático.

## Glosario

Las definiciones utilizadas en este glosario fueron obtenidas de una o más de las siguientes fuentes, o de las fuentes citadas en la bibliografía:

FOLDOC: Free On-Line Dictionary of Computing ([foldoc.doc.ic.ac.uk](http://foldoc.doc.ic.ac.uk))  
Academic Press Dictionary of Science and Technology ([www.harcourt.com/dictionary](http://www.harcourt.com/dictionary))  
Wikipedia, the free encyclopedia ([http://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Page](http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page))  
Real Academia Española (<http://www.rae.es>)

**Acero:** son aleaciones de hierro y carbono, con porcentajes de éste último variables entre el 0,03 al 2,00%. Se distinguen de las **fundiciones**, también aleaciones de hierro y carbono, en que la proporción de éste último es superior (entre el 1,5 y el 4%).

La diferencia fundamental entre ambos es que los aceros son, por su ductilidad, fácilmente deformables en caliente bien por forja, laminación y extrusión, mientras que las fundiciones se fabrican generalmente por moldeo.

Además de los componentes principales indicados, los aceros incorporan otros elementos químicos, algunos perjudiciales, provenientes de la chatarra, el mineral o el combustible empleado en el proceso de fabricación, como el azufre y el fósforo, mientras que otros se añaden intencionalmente para la mejora de alguna de las características del acero, bien para incrementar la resistencia, ductilidad, dureza, etc. o para facilitar algún proceso de fabricación como puede ser el mecanizado; tal es el caso de los elementos de aleación como el níquel, el cromo, el molibdeno, etc.

**Agente antiadherente para el molde:** Recubrimiento que mejora la calidad de la superficie de la pieza fundida y facilita la extracción de esta ultima del molde.

**Aleación:** Sustancia que tiene propiedades metálicas y que está compuesta por dos o más elementos químicos de los cuales al menos uno es un metal.

**Aleación, primaria:** Cualquier aleación para fundición a presión, cuyo componente principal ha sido refinado directamente a partir del mineral, no de chatarra de metal reciclada.

**Aleación, secundaria:** Cualquier aleación para fundición a presión, cuyo componente principal se obtiene a partir de chatarra de metal reciclada.

**Alesado:** Proceso por el cual se utiliza una alesadora para mecanizar la pieza y de esta forma darle una mejor terminación superficial.

**Ampolla:** Burbuja superficial provocada por la expansión de los gases (generalmente causada por el calentamiento) que quedaron atrapados dentro de la pieza fundida o debajo del recubrimiento.

**Análisis de flujo:** Simulación por ordenador para hacer un modelo de cómo fluye, se enfría y solidifica el metal fundido en un molde.

**Ángulo de desmoldeo:** Sesgo que se da a paredes, machos y otras partes de la cavidad del molde para permitir la fácil eyección de la pieza.

**Arena de sílice:** es el material de moldeo primordial utilizado por los fundidores para producir moldes consumibles, proceso que se conoce como moldeo en arena. La arena es un material relativamente no costoso y lo suficientemente refractario para tal fin y se la emplea en casi dos tercios de todas las fundiciones.

**Bebedero:** Dispositivo utilizado para poder introducir el material caliente fundido en el molde realizado.

**Canal de colada:** Paso en el molde que conecta los caños de colada o los orificios del émbolo de un molde con el bebedero, por donde el metal fundido penetra en la cavidad o cavidades.

**Cavidad:** Depresión o impresión en un molde en el que se forma la pieza fundida.

**CNC:** Control Numérico Computerizado es un sistema que utiliza un ordenador dedicado como unidad de control de la máquina que se utiliza para mecanizado.

**Colada:** Segmento del ciclo de fundición en el que el metal fundido es introducido a presión en el molde.

**Compuerta:** Paso para el metal fundido, que conecta el canal de colada con una cavidad del molde. También, todo el contenido expulsado de un molde, incluyendo las piezas fundidas, las compuertas, los canales de colada, mazarota y la rebaba. Otra forma de llamar al bebedero.

**Contracción, por solidificación:** Reducción dimensional que acompaña al endurecimiento (solidificación) del metal que pasa del estado fluido al estado sólido.

**Corredera:** Porción del molde diseñada para que se desplace en paralelo a la línea de división del molde. El extremo interior forma parte de la pared de la cavidad del molde que tiene una o más muescas guía y, algunas veces, incluye uno o varios machos.

**Cromado:** Recubrimiento de conversión que consiste en compuestos de cromo trivalentes y hexavalentes.

**Corte sesgado:** Depresión en la pared lateral, u orificio hecho mediante la inserción de un macho en una pieza fundida, para sujetar la pieza durante la apertura de las matrices. Se necesita una corredera o forma especial de macho (como por ejemplo un macho de extracción) para permitir la eyección de la pieza del molde.

**CPM:** Ciclos por minuto, expresa la velocidad de una máquina de fundición a presión en términos de la cantidad de coladas (que pueden ser de múltiples cavidades) hechas por minuto.

**Crisol:** Recipiente en el que se funde la aleación de metal.

**CuarTEAMIENTO:** Pequeñas grietas sobre la superficie de un molde, que producen las correspondientes venas levantadas en las piezas fundidas a presión. Provocadas por el repetido calentamiento de la superficie del molde causado por la inyección de las aleaciones fundidas.

**EDM:** Electro erosión por chispas o mecanizado electro erosivo es un proceso para rebajar el metal utilizando chispas. En este proceso, un electrodo conformado crea una cavidad que es una copia fiel del electrodo.

**EDM con alambre:** Similar al mecanizado electro erosivo, pero utilizando un electrodo de alambre, como sierra de vaivén, para crear patrones lineales en el acero.

**Émbolo:** Ariete o pistón que empuja el metal fundido hacia el interior de un molde.

**Éster:** compuesto orgánico utilizado durante el proceso de auto-fraguado formado por la reacción entre un ácido y un alcohol con la eliminación de agua.

**Envejecimiento:** Modificación de la estructura metalúrgica de una aleación, que tiene lugar durante un período de tiempo posterior a la colada y afecta las propiedades del material y las dimensiones del componente. Se acelera mediante un calentamiento moderado.

**Erosión:** de la compuerta Daño al molde, causado por la alta temperatura a largo plazo y la alta velocidad del torrente de metal fundido que entra en la cavidad.

**Estabilidad:** dimensional Capacidad de un componente de conservar su forma y dimensiones durante un período prolongado de trabajo.

**Excoriación:** Desprendimiento de partículas de una superficie metálica, causado por fricción por deslizamiento.

**Fatiga:** Fenómeno que lleva a la fractura cuando la pieza es sometida a esfuerzos continuos o fluctuantes, que tiene un valor máximo menor que la resistencia a la tracción del material.

**Fatiga, térmica:** Agrietamiento (o fisuración) de la superficie de la cavidad del molde de fundición a presión. Es causada por la dilatación y contracción de la superficie exterior de la cavidad, que se produce cada vez que se inyecta metal fundido en el molde.

**Fenol:** Alcohol derivado del benceno, obtenido por destilación de los aceites de alquitrán. Se usa como antiséptico en medicina.

**Ferroso, sa:** *adj. Quím.* Se dice de las combinaciones de hierro bivalente.

**Filete:** Unión curva de dos superficies, por ejemplo, paredes que se tocarían en ángulo de aristas vivas.

**Fluencia:** Deformación continua de un material durante el transcurso del tiempo, cuando es sometido a un esfuerzo constante, y dependiente de la temperatura y del esfuerzo inicial.

**Fresado con láser:** Técnica de fabricación de herramientas mediante la cual se rebaja metal del molde utilizando rayos láser.

**Fusión:** Acción y efecto de fundir o fundirse.

**Galleta:** Exceso de metal vertido con cuchara de colada que permanece en el contenedor de una máquina de fundición a presión en cámara fría. Forma parte de la colada y es extraída del molde junto con la pieza. También se le conoce como escoria.

**Horno:** Recipiente en el que se funde la aleación de metal.

**Hierro:** es un elemento químico de número atómico 26 situado en el grupo 8 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es **Fe**. Es un metal maleable, tenaz, de color gris plateado y presenta propiedades magnéticas; es ferromagnético a temperatura ambiente. Fundamentalmente se emplea en la producción de aceros, consistentes en aleaciones de hierro con otros elementos, tanto metálicos como no metálicos, que confieren distintas propiedades al material.

Se considera que una aleación de hierro es acero si contiene menos de un 2% de carbono; si el porcentaje es mayor, recibe el nombre de fundición.

**Impresión:** Cavidad en un molde. También, la marca o depresión que deja la bola, o punta de penetración de un comprobador de dureza.

**Inserto:** Pedazo de material, generalmente metal, que se coloca en un molde antes de cada colada. Cuando el metal derretido se funde alrededor del inserto, éste se convierte en parte integral de la pieza fundida a presión.

**Inserto de molde:** Calzo o pieza desmontable del cuerpo de un molde.

**Inyección:** Proceso de introducir a presión el metal fundido en un molde.

**Línea de agua:** Tubería o paso a través del cual se hace circular agua para refrigerar el molde.

**Línea de división:** Marca que queda en una pieza fundida, en la zona correspondiente al punto donde se unen las dos mitades del molde; también, la superficie de unión entre las porciones de la tapa y del eyector del molde.

**Lingote:** Metal o aleación fundido en una forma conveniente para el almacenamiento, transporte y refusión.

**Lubricante:** de molde Fórmulas líquidas que se aplican en el molde para facilitar la separación de las piezas fundidas y evitar que se peguen.

**Macho:** Sinónimo de noyo.

**Macho, fijo:** Macho que, cuando el molde se abre y cierra, no se mueve en relación con el bloque de la cavidad en el que está montado.

**Macho, móvil:** Macho que tiene que desplazarse a lo largo de cierto recorrido cuando se abre el molde, o inmediatamente después de que el molde se haya abierto, para permitir la libre eyección de la pieza fundida.

**Máquinas de cámara caliente:** Máquinas de fundición a presión que tienen el émbolo y el sifón (cámara de presión del metal) sumergidos en el metal fundido que se encuentra en el horno de mantenimiento.

**Máquina de cámara fría (Cold-Box):** Máquina de fundición a presión diseñada para que ni la cámara ni el émbolo metálicos estén continuamente sumergidos en el metal fundido.

**Marca de contracción:** Depresión superficial que algunas veces aparece cerca de una sección pesada que se enfría más lentamente que las zonas adyacentes.

**Marcas del eyector:** Marcas que dejan los expulsores en las piezas fundidas.

**Mazarota:** Dispositivo utilizado para compensar la contracción del material fundido durante su solidificación.

**Métrica:** Arte que trata de la medida o estructura de los versos, de sus clases y de las distintas combinaciones que con ellos pueden formarse.

**Molde:** Bloque de metal utilizado en el proceso de fundición a presión, que incorpora la cavidad o las cavidades que dan forma al componente, el sistema de distribución del metal fundido, y medios para la refrigeración y eyección de la pieza fundida.

**Molde combinado:** Molde con dos o más cavidades diferentes en las que se producen piezas diferentes.

**Molde múltiple / multicavidad:** Molde que tiene más de una impresión duplicada.

**Molde unitario:** Molde intercambiable con otros en un porta molde común.

**Noyo:** Macho, por lo general, de sección circular. Son pasadores utilizados para generar los orificios en el molde de fundición a presión, que pueden ser fijos o móviles.

**Palanca:** Mecanismo de conexión empleado para multiplicar mecánicamente la presión al cerrar las matrices de una máquina de fundición.

**Pasador posicionador:** Pasador guía que garantiza la alineación entre cavidades de las dos mitades del molde.

**pH:** Se utiliza esta notación como medida de la naturaleza ácida o alcalina de una solución acuosa. Se expresa como  $\text{pH} = -\log H$ , es decir, que:

$\text{pH} = 7$  medio neutro

$\text{pH} < 7$  medio ácido

$\text{pH} > 7$  medio alcalino

El pH del agua natural depende de la concentración de anhídrido carbónico, consecuencia de la mineralización de las sales presentes en el agua.

El pH de las aguas naturales se debe a la composición de los terrenos atravesados, así pues, el pH alcalino indica que éstos son calizos, y un pH ácido que son silíceos. Los valores de pH compatibles con la vida de las especies acuáticas está comprendido entre 5 y 9, situándose los más favorables entre 6 y 7,2.

En un vertido con pH ácidos, se disuelven los metales pesados, y con pH alcalinos precipitan.

**Piel de la pieza fundida a presión:** Metal de la superficie de una pieza fundida a presión, que tiene aproximadamente 0,8 Mm. de espesor y se caracteriza por una estructura de granos finos y por estar libre de porosidad.

**Porosidad:** Vacíos o poros producidos por los gases atrapados, o por la contracción durante la solidificación.

**Porta molde:** Bloque grande de acero que forma la base para una mitad del molde para fundir a presión. Todos los otros componentes del molde están unidos a o montados sobre el porta molde.

**Puerto:** Abertura a través de la cual el metal fundido penetra al cilindro de inyección.

**Rebaba:** Membrana a aleta delgada de metal que se forma en una pieza fundida, en la zona correspondiente a la línea de separación del molde, respiraderos y alrededor de los machos móviles. Este exceso de metal se debe a las holguras de trabajo y funcionamiento de molde.

**Rebosadero:** Depresión en el molde, conectada a la cavidad del molde por medio de una compuerta, para ayudar a la adecuada expulsión de los gases.

**Respiradero:** Paso estrecho en la línea de división del molde, que permite la salida del aire de la cavidad del molde a medida que éste se va llenando de metal fundido.

**Ritmo de fundición:** Cantidad media de coladas que pueden hacerse durante una hora de trabajo continuo.

**Sifón:** Canal que conecta un crisol o cámara de metal con una tobera o caño de colada del molde, que contiene un paso a través del cual el metal fundido es empujado a presión en dirección al molde. Es el mecanismo de inyección de metal de la máquina de fundición a presión en cámara caliente.

**Soldadura:** Adherencia del metal fundido a partes del molde.

**Tiempo de llenado de la cavidad:** El período de tiempo necesario para llenar la cavidad con el metal fundido después de que éste comience a penetrar en la cavidad.

**Tobera:** Extremo de salida de un sifón, o el racor tubular que une el sifón con el caño de colada.

**Troquel de desbarbado:** Troquel para cortar o rebajar la rebaba de una pieza fundida a presión.

**Torneado:** Proceso por el cual se utiliza un torno para mecanizar la pieza y de esta forma darle una mejor terminación superficial.

**Vacío:** Poro grande u orificio dentro de la pared de una pieza fundida, por lo general provocado por gases que han quedado atrapados.

**Vaso de fusión:** Recipiente en el que se funde la aleación de metal.

## Lista de Acrónimos

**AFS:** Sociedad Americana de Fundidores. Puede verse en: <http://www.afsinc.org/>

**COV:** Compuestos Orgánicos Volátiles.

**CPA:** Contaminantes Peligrosos del Aire.

**DOE:** Ministerio de Energía de los Estados Unidos.

**EIA:** Administración de Información Energética de los Estados Unidos.

**EPA:** Ente de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

**TRI:** Emisiones Químicas Tóxicas.

**HAP:** Contaminantes peligrosos del aire.

**Kva:** Kilo – Mil -; Volt – Tensión -; Ampere – Corriente -

**RCRA:** Ley de Conservación y Recuperación de Recursos.

**UTS:** Normas de Tratamiento Universal (contaminantes)

## Bibliografía

### Libros

- [1]. QUE Corporation. *Using Excel Version 5 for Windows*. Edition 1993.
- [2]. Dudley C. Gould. *Metalcasting Dictionary*. AFS, American Foundry Society
- [3]. Jüst - Scharkus. *Tablas para la industria metalúrgica, segunda edición*. Editorial Reverté S.A. 13<sup>o</sup> edición, 1979.
- [4]. Julio Astigarra Urquiza, José Luis Aguirre Ormaza. *Hornos industriales de inducción*. Editorial Mc Graw Hill, 1995.
- [5]. Eduard H. Hempel. *Dirección de plantas industriales*. Fondo de cultura económica, 1963.
- [6]. Derrick Bailes. *The professional approach to overhead lifting*. The Foundry Trade Journal, October 2003.
- [7]. Colin Wood, Adrew Queenan and Iain Hoyland. *Development in foundry refractories and the impact of these on European foundries*. Casting Plant + Technology intl. 2/2003.
- [8]. Ronald Schneider, Matthias Kuhne, Michael Colditz and Hermann Bülter. The application of modern process – data capture systems as an efficient tool for the control, gathering and analysis of foundry – specific data. Casting Plant + Technology intl. 3/2003.
- [9]. CIFRA (Cámara Industrial de Fundidores de la República Argentina). *Revista el fundidor*. Abril – Mayo 2004, Número 117.
- [10]. Antonio Augusto Gorni. Inventário revela o perfil das fundições brasileiras. *Fundição e serviços*, Noviembre, 2003

### Internet

- [11]. <http://www.oit.doe.gov/metalcast/pdfs/profile.pdf>. *Industrial Technological Program (ITP). Metal Casting Home Page*
- [12]. <http://www.oit.doe.gov/metalcast/tools.shtml> *Tools & Publications of Metal Casting*.
- [13]. <http://cmc.aticorp.org/>. *Metal Cast Coalition*
- [14]. [http://www.acipco.com/internacional/datos\\_de\\_ingenieria/conversion.cfm](http://www.acipco.com/internacional/datos_de_ingenieria/conversion.cfm) *Conversión de unidades norteamericanas a sistema métrico decimal*.
- [15]. <http://www.dynacast.com/index.php?l1=diecasting&l2=processes&l3=multislide&language=es> *Fundición internacional de Zinc, Manganeso y Aluminio*.
- [16]. <http://www.abifa.org.br> Asociación Brasileña de Fundición.
- [17]. <http://www.cifra.org.ar> Cámara de Industriales Fundidores de la República Argentina.
- [18]. <http://www.adimra.com.ar> Asociación Industriales Metalúrgicos de la Republica Argentina.
- [19]. <http://www.feaf.es/bienvenido.asp> Federación Española de Asociaciones de Fundidores.
- [20]. <http://www.unalmed.edu.co/~fundicio/enlaces.htm> Universidad Nacional de Medellín, Colombia. Página de Fundición.
- [21]. <http://www.ingenieroambiental.com/> Leyes de Impacto Ambiental.
- [22]. <http://www.estrucplan.com.ar/> Disposiciones Legales de Seguridad y Medicina, Impacto Ambiental, Efluentes Líquidos, Efluentes Gaseosos, entre otros.

## Anexo I: Vínculos de interés

CATEGORÍA	CONTENIDO	DIRECCIÓN WEB
REVISTAS	Modern Casting	<a href="http://www.moderncasting.com">www.moderncasting.com</a>
	Foundry Management and Technology	<a href="http://www.foundrymag.com">www.foundrymag.com</a>
	Fundidores	<a href="http://www.metalspain.com">www.metalspain.com</a>
	Foundry International / Castings / Buyer / Foundry Trade Journal	<a href="http://www.dmg.co.uk/castings">www.dmg.co.uk/castings</a>
	Hom mes et Fonderie	<a href="http://www.atf.asso.fr">www.atf.asso.fr</a>
	Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui	<a href="http://www.ctif.com">www.ctif.com</a>
	Metal Casting and Surface Finishing	<a href="http://www.metals.rala.com.au">www.metals.rala.com.au</a>
	Swedish Foundry Association	<a href="http://www.gjuteriforeningen.se">www.gjuteriforeningen.se</a>
ASOCIACIONES Y ORGANISMOS	The Aluminum Association. Datos Estadísticas y Aplicaciones	<a href="http://www.aluminum.org">www.aluminum.org</a>
	AFS (American Foundryman's Society)	<a href="http://www.afsinc.org">www.afsinc.org</a>
	AMC (American Metalcasting)	<a href="http://amc.atcorp.org">amc.atcorp.org</a>
	Consortium Australian Die Casting Association	<a href="http://www.diecasting.asn.au">www.diecasting.asn.au</a>
	Brazilian Foundry Association	<a href="http://www.abifa.org.br">www.abifa.org.br</a>
	China Foundry Association	<a href="http://www.foundry-china.com">www.foundry-china.com</a>
	CAEF (European Foundry Association)	<a href="http://www.caef-eurofoundry.org">www.caef-eurofoundry.org</a>
	North American Die Casting Association / NADCA)	<a href="http://www.diecasting.org">www.diecasting.org</a>
	Italian Non Ferrous Foundry Association	<a href="http://www.amafond.com">www.amafond.com</a>
	Institute of British foundrymen	<a href="http://www.ibf.org.uk">www.ibf.org.uk</a>
	Association - Zinc Fonderie	<a href="http://www.zinc-fonderie.com">www.zinc-fonderie.com</a>
	Steel Founders Society of America	<a href="http://www.sfsa.org">www.sfsa.org</a>
	Association Technique de Fonderie	<a href="http://www.atf.asso.fr">www.atf.asso.fr</a>
	Centre Technique des Industries de la Fonderie	<a href="http://www.ctif.com">www.ctif.com</a>
	Belgian Foundry Association	<a href="http://www.fabrimetal.be">www.fabrimetal.be</a>
	Danish Foundry Association	<a href="http://www.di.dk">www.di.dk</a>
	Finnish Foundry Association	<a href="http://www.met.fi">www.met.fi</a>
	German Foundry Association	<a href="http://www.dgv.de">www.dgv.de</a>
	Italian Ferrous Foundry Association	<a href="http://www.ronet.it/assofond">www.ronet.it/assofond</a>
	Dutch Foundry Association	<a href="http://www.fme.nl/frames/branches/avneg.html">www.fme.nl/frames/branches/avneg.html</a>
	Dutch Metals Association	<a href="http://www.mkbnet.nl/sector/industriemetaalunie">www.mkbnet.nl/sector/industriemetaalunie</a>
	Norwegian Foundry Association	<a href="http://www.tbl.no">www.tbl.no</a>
	Spanish Foundry Association	<a href="http://www.feaf.es">www.feaf.es</a>
	Swedish Foundry Association	<a href="http://www.gjuteriforeningen.se">www.gjuteriforeningen.se</a>
	Swiss Foundry Association	<a href="http://www.jgp.ch/gvs">www.jgp.ch/gvs</a>
	Ductile Iron Society	<a href="http://www.ductile.org">www.ductile.org</a>
South African Institute of Foundrymen	<a href="http://www.icon.co.za/%7Esaif/profile.htm">www.icon.co.za/%7Esaif/profile.htm</a>	
Casting Source Directory	<a href="http://www.castingsource.com">www.castingsource.com</a>	
Austrian Foundry Institute (OGI)	<a href="http://www.ogi.at">www.ogi.at</a>	
CENTROS DE INVESTIGACIÓN	CDC (Castings Development Centre (BCIRA y SCRATA)	<a href="http://www.castingsdev.com">www.castingsdev.com</a>
	University of Birmingham Casting	<a href="http://www.irc.bham.ac.uk/casting">www.irc.bham.ac.uk/casting</a>
	Net Shape Modelling	<a href="http://www.instmat.co.uk">www.instmat.co.uk</a>
	Institute of Materials	<a href="http://www.instmat.co.uk">www.instmat.co.uk</a>

## Anexo II: Ejemplo de Simulación

Para el siguiente ejemplo de simulación vamos a partir del siguiente caso de hipótesis:

### **CASO 1: La empresa en cuestión recibe una orden de pedido por un Tubo de acero inoxidable de calidad 316.**

Los resultados de los subprocesos arrojarían los siguientes resultados en base a la simulación realizada.

#### **Elaboración de Moldeo y Noyos**

Numero_Variable	Nombre_Variable	Descripción	Limite Inferior	Valor	Limite Superior	Otro	Costo	Incidencia
1	Resina	Resina furánica básica para mezclar con la arena	1,20%	1,40%	1,60%		3,15 \$/Kg.	\$ 1,6857
2	Catalizador	Catalizador para mezclar la arena	0,24%	0,20%	0,32%		7,35 \$/Kg.	\$ 0,5619
4	Pintura al alcohol	Pintura utilizada para el molde.	1,00%	1,50%	2,00%		2,88 \$/lt.	\$ 1,6513
5	Pintura al agua	Pintura utilizada para el molde.	1,00%	1,50%	2,00%		3,65 \$/Kg.	\$ 2,0928
3	Camisa exotermica	Es utilizada en el molde para manejar la contracción líquida - sólida.	20,00%	35,00%	50,00%	15,19 Kg	1-20 U\$/CU	\$ 10,5000
6	Electricidad	Electricidad utilizada para el proceso de moldeo.	13,50%	10,00%	16,00%			\$ 0,3225
7	Peganoyo	Pegamento utilizado para pegar los noyos de las piezas	0,03%	0,02%	0,05%		1,5 \$/Kg.	\$ 0,0115
8	Noyo	Son pasadores utilizados para generar los orificios del molde.						
8.1	Arena	Arena virgen utilizado para la mezcla de resina y catalizador.						\$ 0,0784
8.2	Resina	Resina furanica para el noyo.						\$ 0,2468
8.3	Catalizador	Catalizador utilizado para el noyo.						\$ 0,5760
8.4	Pintura	Generalmente se utiliza pintura al agua porque resiste mayores temperaturas.						\$ 0,2860

**Fusión en Hornos Eléctricos:**

Numero_Variable	Nombre_Variable	Descripción	Limite Inferior	Valor	Limite Superior	Otro	Costo	Incidencia
1	Gas	Gasto de gas mensual que afecta a este subproceso.						\$ 0,5979
2	Electricidad							
2.1	Electricidad. Fuera de punta	Valor del KW asociado al gasto del horno después de las 18.00 hs.		\$ 6.618,79		\$ 8,26	\$ 24,596	
2.2	Electricidad. Punta.	Valor del KW asociado al gasto del horno entre las 7.00 - 18.00 hs				\$ 5,71		\$ 14,0613
2.3	Electricidad. Valor del Kw.	Valor nominal del Kw.				\$ 0,063		
3	Agua Destilada Circuito Cerrado	Agua utilizada para refrigeración del horno. Se calcula el costo de llenado de los tanques de agua destilada en forma anual.						
3.1	Llenado de tanques	Costo de llenado de tanques de agua de circuito cerrado.		3000		\$ 0,3703	<b>Costo a futuro (Simulación)</b>	
3.2	Reposición por evaporación	Costo de reposición por evaporación de agua destilada. Alrededor de 2% mensual.		2%		\$ 0,0000	<b>Costo a futuro (Simulación)</b>	
4	Material. Oxidación	Pérdida por oxidación de material luego de la fusión.	2,00%	3,00%	4,00%			\$ 1,0986
5	Horno 1	Horno de fusión. 144 Kw.						

**Limpieza y Terminación:**

Numero_Variable	Nombre_Variable	Descripción	Limite Inferior	Valor	Limite Superior	Otro	Costo	Incidencia
1	Tratamiento Térmico	Calentamiento que se le da a la pieza terminada para darles las propiedades físicas deseadas.					1 U\$/Kg.	\$ 43,404
2	Gas	Gasto de gas mensual que afecta a este subproceso.	2,00%	3,50%	5,00%			\$ 0,021
3	Agua	Agua utilizada para limpieza de las piezas terminadas.	2,00%	3,50%	5,00%			\$ 0,5759
4	Piedras de amolado	Piedras utilizadas para la terminación superficial de la pieza.	200	500	1000		\$ 3,16 c/u	\$ 2,713
5	Discos de corte	Discos utilizados para cortar los canales de colada y bebederos.	50	200	500		\$ 3,97 c/u	\$ 1,085
6	Electrodos de corte	Utilizados para cortar materiales muy duros.					U\$S 2,10 c/u	\$ 6,077
7	Electrodos de soldadura	Utilizados para soldar las piezas con pequeños defectos.	2,00%	6,00%	10,00%		20 U\$/Kg	\$ 1,736
8	Recuperación de arena	Cantidad teórica de recuperación de arena	65,00%	80,00%	95,00%	-\$ 1,254		
9	Mecanizado	Horas de mecanizado para mejorar la terminación de la máquina.					25 \$/hora	\$ 12,799
10	Ensayo químico	Son ensayos que se realizan para comprobar el material fundido.					5 \$/elemento	\$ 18,771

**Resultados de la Simulación:**

Nro_Pieza	Numero_Variable	Nombre_Variable	Descripción	Costo	Ganancia	Venta
1	1	Costo_Modelo	Costo del modelo cuyo costo es tercerizado.	\$ 1200	50,00%	\$ 1.800,00
1	2	Costo_MoldeNoyo	Costo de fabricación del molde y los noyos para el modelo deseado.	\$ 55,14	47,00%	\$ 81,05
1	3	Costo_Fusión	Costo de la fusión del molde generado.	\$ 274,51	47,00%	\$ 403,54
1	4	Costo_Terminación	Costo de terminación de la pieza fundida.	\$ 113,41	47,00%	\$ 166,72
				<b>\$ 443,06</b>		<b>\$ 651,30</b>
				10,21 \$/Kg.		15,01 \$/Kg.

**CASO 2:** La empresa en cuestión desea realizar la recuperación de la arena utilizada dentro de los subprocesos analizados para la generación del producto final.

Numero Variable	Nombre Variable	Descripción	Limite Inferior	Valor	Limite Superior	Costo	Incidencia
1	Sin Recuperación						
1.2	Precio	Cantidad de contenedores usados anualmente.	6	8	10	\$ 50,00	\$ 136,52
1.3	Gente	Gente necesaria para romper las cajas de arena y extraer la pieza.					\$ 2.027,30
1.4	Herramental	Herramental necesario para romper las cajas de arena tales como: martillos neumáticos, puente grúa, entre otros.	3,00%	4,00%	5,00%		\$ 51,83
1.5	Arena	Cantidad de arena desperdiciada mensualmente.	20 TN	50 TN	100 TN	41 \$/TN	\$ 699,66
						<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2.915,32</b>
2	Recuperadora						Mensual
2.1	Inversión	Costo de la maquina de recuperación	\$ 40.000,00	\$ 60.000,00	\$ 80.000,00		
2.2	Montaje	Costo del montaje	\$ 5.000,00	\$ 7.000,00	\$ 10.000,00		
2.3	Transporte	Costo del transporte del exterior	\$ 2.100,00	\$ 2.500,00	\$ 3.000,00		
2.4	Impuestos	Impuestos y gastos de aduana	\$ 9.450,00	\$ 14.070,00	\$ 18.900,00		\$ 234,50
2.5	Mantenimiento	Costo de mantenimiento mensual	\$ 3.000,00	\$ 5.000,00	\$ 7.000,00		\$ 416,67
2.6	Amortización	Tiempo de Amortización	1 año	5 años	10 años		\$ 1.116,67
						<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.767,83</b>
							Mensual

**Notas:** El ahorro con la recuperación de arena será del orden de 61 % con respecto a la utilización de hoy en día de la empresa.  
La diferencia operativa entre hoy en día y a futuro es de: \$ 1.147,48  
Se considera para la amortización una tasa del 4% de bonos del tesoro norteamericano para calcular la inversión.  
El tiempo estimado de recuperación para la inversión es 4,53 años

Estos y otros casos serán simulados durante la presentación a realizarse delante del jurado al momento de la evaluación de la tesis con el fin de explicar con mayor profundidad tanto la forma de cálculo de la presente tesis como el objeto de la misma.





