MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE MOLDEO POLISET EN LA EMPRESA PENAGOS HERMANOS & CÍA LTDA.

FARLEY JAZMÍN GÓMEZ UTRERA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
Bucaramanga
2007

MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE MOLDEO POLISET EN LA EMPRESA PENAGOS HERMANOS & CÍA LTDA.

FARLEY JAZMÍN GÓMEZ UTRERA

Proyecto de grado para optar el título de Ingeniera Metalúrgica

Tutor: ELÍAS ARIZA VILLAMIL
Ing. Mecánico
Cotutor: ARNALDO ALONSO BAQUERO
Ing. Metalúrgico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
Bucaramanga
2007

DEDICATORIA

A mi mamí quien siempre esperó para que este día llegara.

A mi hijo que es el motor que impulsa mi vida.

A mi esposo que me brinda compañía y comprensión.

Para ellos y para todas las personas que confiaron en mí.

Farley Jazmín Gómez Utrera

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme culminar mis estudios.

A mi madre por su inmensa colaboración y esperanza.

A mi tía Isa por su colaboración.

A mi esposo por apoyarme y entenderme.

A Santiaguito por impulsarme.

Al Profesor Arnaldo Alonso por su asesoria y disponibilidad.

A Álvaro Mejía por su ayuda y confianza en mí.

A Mario Navarrete por su ayuda incondicional.

A toda mi familia por el apoyo y la espera.

A mis amigos por hacer de este largo proceso momentos inolvidables.

A la empresa Penagos por abrirme sus puertas.

A la Escuela de Ingeniería Metalúrgica por su colaboración.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	**1**
1. OBJETIVOS	**2**
1.1. OBJETIVO GENERAL	**2**
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	**2**
2. JUSTIFICACIÓN	**3**
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	**4**
4. RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA	**5**
5. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	**7**
5.1. RESINAS SINTETICAS	**7**
5.2. MATERIAS PRIMAS	**8**
5.2.1. Metanol (alcohol metílico)	***8***
5.2.2. Formol (Formaldehído	***8***
5.2.3. Fenol	***8***
5.2.4. Urea	***9***
5.2.5. Alcohol fulfurílico (fulfurol)	***9***
5.3. CLASIFICACIÓN DE LAS RESINAS SINTETICAS.	**9**
5.3.1. Resinas termoplásticas.	***9***
5.3.2. Resinas termoestables o termofijas.	9
5.3.2.1. Resinas Fenólicas.	***10***
5.3.2.2.Resinas Ureo-formol.	***11***
5.3.2.3. Resinas furánicas.	***11***
5.4. SISTEMA FENOLICO-URETANO.	***14***
5.4.1. COMPONENTES DE LA MEZCLA.	***15***
5.4.1.1. ARENA:	***15***

5.4.1.2. RESINA POLISET. *15*
5.4.2. PROCESO DE FRAGUADO EN POLISET. *18*
5.4.3 ALGUNOS PROBLEMAS POSIBLES. *20*
5.4.3.1. Acabado superficial: *20*
5.4.3.2. Riesgo de porosidad superficial. 20
5.4.3.3. *Veining:* *21*
5.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE MOLDES EN PENAGOS *22*
6. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA *27*
6.1. No se tiene un control de la arena adecuada para el proceso. *27*
6.2. El sistema de mezclado se realiza según las sugerencias del proveedor sin tener un mayor conocimiento del proceso, lo que puede llevar a cometer errores. *27*
6.3. Los bebederos presentan alta friabilidad. 28
6.4. El sistema de llenado y alimentación de los moldes no es el adecuado, se debe diseñar para cada molde dependiendo del tamaño y del grosor de la pieza. *28*
6.5. De que manera afecta la rentabilidad? *28*
7. PRUEBAS REALIZADAS *32*
7.1 Tamizado de la arena *32*
7.2 Resina *33*
7.3. CALAFETEO *34*
7.4. MOLDES VIBRADOS *35*
7.5. MAZAROTAS *36*
7.6. SISTEMA DE LLENADO *38*
8 .ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS *40*
8.1. Arena *40*
4.2 Resina **40**

8.3 Mazarotas **43**
8.4 Moldes Vibrados ***44***
***8.5 Nuevo diseño del sistema de llenado*:** **46**
8.6. Costos e Inversión ***49***

9. PROTOCOLO PARA LA FABRICACIÓN DE LOS MOLDES PENAGOS ***51***
10. RECOMENDACIONES ***54***
11. CONCLUSIONES ***55***
BIBLIOGRAFÍA ***56***

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Reacción de cura de resinas ureas, fenólicas y fúranicas. *13*
Figura 2. Mezclador. *22*
Figura 3. Proceso de mezclado. *23*
Figura 4. Mezclas separadas *23*
Figura 5. Modelos. *23*
Figura 6. Mezcla de las dos partes. *24*
Figura 7. Llenado de los modelos. *24*
Figura 9. Fabricación de las mazarotas con silicato de sodio y CO2. *25*
Figura 10. Moldes para ensamble. *25*
Figura 11. Distribución granulométrica *33*
Figura 12. Moldes calafeteados y pesados para posterior fusión. *34*
Figura 13. Moldes colados sin calafeteo. *35*
Figura 14. Pieza defectuosa por mal apisonado. *36*
FIGURA 15. Moldes fabricados por Penagos Hermanos. *36*
Figura16. Piezas defectuosas ocasionadas por erosión de arena. *37*
Figura 17. Diferencia de tamaños en las mazarotas. *37*
Figura 18. Sistema de llenado actual. *38*
Figura 19. Sistema de llenado sugerido. *38*
Figura 20. Sistema de llenado en árbol para tres piñones. *39*
Figura 21. Análisis granulométrico de la nueva arena *40*
Figura 22. Vaso de precipitado *41*
Figura 23. Extractor de olores *42*
Figura 24. Mesa vibratoria *46*
Figura 25. Molde colado por debajo *47*
Figura 26. Dos moldes colados por debajo *47*
Figura 27.Tres moldes en árbol *48*

Figura 28. Piñones con el sistema de llenado por debajo *48*
Figura 29.Acabado superficial mejorado, sin arena pegada. *49*

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Vidas de banco y desmodelado. *19*

Tabla 2. Costos de producción individual para piñones elaborados con Poliset (Pesos) *30*

Tabla 3. Costos de producción mensuales para piñones elaborados con Poliset (Pesos) *30*

Tabla 4. Pérdidas en la fabricación de moldes (Pesos) *31*

Tabla 5. Distribución Granulométrica de la arena *32*

Tabla 6. Cantidades adecuadas de Resina *41*

Tabla 7. Ahorro de costos con la disminución en las cantidades de la resina *43*

Tabla 8. Diferencia de valores en la fabricación de mazarotas con Poliset y con silicato (mensual) *44*

Tabla 9. Diferencia en la fabricación de las mazarotas grandes a pequeñas *45*

Tabla 10. Inversión inicial. *50*

Tabla 11. Costo mensual adicional. *50*

Tabla12. Ahorro mensual con la implementación. *51*

TITULO. **MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE MOLDEO POLISET EN LA EMPRESA PENAGOS HERMANOS & CÍA LTDA.***

Farley Jazmín Gómez Utrera.**

Palabras claves:

Poliset, Arena sílice, Análisis granulométrico, Mazarotas, Calafeteo, Mesa vibratoria

RESUMEN

Penagos hermanos & Cía. Ltda. es la única empresa en Bucaramanga en utilizar el proceso de moldeo con resinas sintéticas de curado en frío, para la obtención de piñones utilizados en la maquinaria agrícola, sin embargo, estas piezas presentan defectos tales como porosidades internas y externas, penetración y erosión de arena, entre los más representativos, motivo por el cual se disminuye la rentabilidad de la empresa.

Durante el desarrollo de la practica se realizaron diferentes pruebas basadas en el diagnostico, entre ellas análisis granulométrico a la arena utilizada, ensayos para establecer las cantidades necesarias de resina, fabricación de moldes vibrados, colada sin calafeteo, disminución y fabricación de mazarotas con Poliset y finalmente elaboración de un nuevo sistema de llenado y alimentación de las piezas.

Los resultados obtenidos, permitieron concluir que: la arena utilizada por el proceso debe ser arena lavada, seca y de una fineza 40-70 A.F.S. La inclusión de vibración en la fabricación de los moldes, disminuye las porosidades y aumenta la calidad superficial de las piezas. La resina se disminuyo en un 27% lo que disminuye los costos de fabricación, además la implementación del nuevo sistema de llenado se traduce en la obtención del 80% de piezas buenas.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica, Director: Arnaldo Alonso Baquero

I TITLE. IMPROVEMENT OF THE PROCESS OF MOULDING POLISET IN COMPANY PENAGOS HERMANOS & CÍA LTDA.. **

Farley Jazmín Gómez Utrera.**

KEY WORDS:

Poliset, Granulometrico analysis, Sand silica, Mazarotas, Calafeteo, Vibratory table

SUMMARY

Penagos Hermanos & Ci'a. Ltda. is the only company in Bucaramanga in using the process of moulding with synthetic resins of cold cured, for obtaining pinions that used in the agricultural machinery. Nevertheless, these pieces present defects such as internal and external porosities, sand penetration and erosion, between most representative, reason by which the yield of the company is diminished.

During the development of it practices, were made different tests such as in grain size analysis of sand used, tests to determinate the necessary amounts of resin, manufacture of vibrated molds, tap without “calafeteo”, diminution of volume and manufacture of mazarotas with Poliset and elaboration of a new filling and feeding system of the pieces.

The results obtained, showedt: the sand used by the process must be washed, dried sand and most have a fineness 40-70 A.F.S. The use of vibration in the manufacture of the molds, diminishes the porosities and increases the quality superficial of the pieces. The rate of resin was decreased until 27% which descreased manufacture costs. Besides the implementation of new filling systems mears a production of 80 % of good pieces.

* Work of Degree

** Faculty of Fisicoquímicas Engineerings, School of Metallurgical Engineering, Director: Arnaldo Alonso Baquero

INTRODUCCIÓN

La industria de la fundición ha estado avanzando notoriamente en los últimos años debido a la aparición de países con un alto grado de desarrollo, aumentando la competitividad.

Una de las maneras de lograr competitividad en fundición se ha traducido en la aparición de nuevos procesos de moldeo dentro de los cuales, los procesos de moldeo con resinas sintéticas de curado en frío, han permitido mejorar no solo las condiciones de trabajo, sino la calidad de las piezas obtenidas.

POLISET, es un proceso de moldeo similar al mencionado anteriormente, es usado en la actualidad en Bucaramanga por la empresa Penagos Hermanos & Cía Ltda., es un proceso que ha tenido un comportamiento amigable con el medio ambiente, además aumenta la productividad al disminuir la mano de obra, obteniéndose piezas más precisas y de mejor terminado superficial debido a la disminución del formol, sustancia vetada por las entidades para la protección de la salud.

Ante este razón ha sido para mí, motivo de satisfacción ser la autora de un trabajo de grado, desarrollado en la empresa Penagos Hermanos & Cía Ltda., que tiene como finalidad el mejoramiento de dicho proceso para disminuir pérdidas y por ende aumentar la rentabilidad de una de las empresas metalmecánica más importantes de nuestra región.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Mejorar el proceso de moldeo ***POLISET*** en la empresa ***PENAGOS HERMANOS & CÍA LTDA.***

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar las características de las materias primas utilizadas en el proceso **POLISET.**
- Analizar el proceso de moldeo de las piezas.
- Evaluar el sistema de alimentación y llenado de los moldes.
- Presentar un protocolo para mejorar el proceso de elaboración de las piezas para que se obtengan sin defectos.

2. JUSTIFICACION.

Penagos Hermanos es la única empresa en Bucaramanga en emplear resinas sintéticas de curado en frío como método de moldeo, ya que las demás siguen utilizando el moldeo en verde (arena + arcilla + agua).

Actualmente la empresa Penagos cuenta con asesoría del Sena en la parte referente a la fabricación de los moldes, sin embargo hasta el presente no se ha presentado una solución técnica a los problemas presentados, sino que el asunto se maneja basado solo en la experiencia del asesor, ante esto, se vieron obligados a solicitar la colaboración de la escuela de Ingeniería Metalúrgica y ciencia de materiales de la UIS para que se realice un proyecto para solucionar el problema.

3. *PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ORIGEN DE LA PRÁCTICA.*

El mejoramiento continuo, la certificación y la competitividad son factores importantes para el crecimiento y reconocimiento de una empresa; es por esto, que para la empresa Penagos la calidad de sus productos es prioridad.

Penagos Hermanos produce aproximadamente 350 piezas semanales para el ensamble de la maquinaría que fabrica; la gran mayoría de estas piezas son piñonería de diferentes referencias que son utilizadas en la producción de picapastos, despulpadoras de café, desgranadoras de cereales, molinos y trapiches.

Para la fabricación de estas piezas especiales que necesitan la mayor exactitud y buen acabado en cada uno de sus dientes, la empresa a tomado la decisión de no utilizar el proceso de moldeo en verde (arena + arcilla + agua) que por sus características no permite obtener la calidad exigida, como es un excelente acabado superficial y alta precisión, por esto la empresa se ha decidido por el empleo del proceso de moldeo con resina autofraguante, conocido comercialmente como Poliset, fabricado por la compañía Foseco a través de su distribuidor nacional Quintal S.A.

Sin embargo las piezas han venido presentando defectos de fundición como rugosidad, porosidad, gota fría carbono brillante y piel de elefante.

Es así que el porcentaje de defectos alcanza normalmente un 20% como efecto negativo sobre la economía de la empresa. Como las piezas son coladas en empresas diferentes a Penagos, se presentan problemas para aceptar la culpabilidad sobre la aparición de defectos.

La impresión al observar la manera como se realiza el proceso es la de no ser un proceso convencional, por lo tanto, no se esta aplicando técnicamente ni se están teniendo en cuenta ciertas consideraciones propias del proceso de moldeo, lo que lleva a que se afecte de manera considerable la producción.

4. RESEÑA HISTORICA.

En Mayo de 1.892 los hermanos Mariano y Eugenio Penagos llegaron desde España a Santander y constituyeron una sociedad colectiva cuyo objeto principal era "El Estudio, Promoción y Ejecución de Proyectos Industriales".

Desde un pequeño taller, los PENAGOS iniciaron la fabricación de maquinaria especialmente para el sector agrícola. Comenzaron a producir picapastos, trapiches, motores hidráulicos Pelton entre otros. Hoy es extraño encontrar una hacienda que no haya contado o cuente con maquinaria fabricada por los PENAGOS.

Durante la revolución de los Mil Días, a principios del siglo, en sus talleres se aprovechó la experiencia de la fundición de partes para su maquinaria para aplicarla a la fabricación de material de guerra: cañones y balas que sirvieron a los ejércitos de Uribe Uribe.

En los años cuarenta, con la muerte de Eugenio, comenzó a efectuarse un relevo generacional; un aporte de nueva sangre que consolidó definitivamente lo que hoy se conoce como el Grupo PENAGOS. Dos nuevos jóvenes Ingenieros comienzan a trabajar: Alfonso y Eugenio.

Se fortalecieron las importaciones y se ensancharon los canales y los puntos de distribución. Se abrieron las exportaciones de Maquinaria PENAGOS. Los países de América Latina comenzaron a utilizar las máquinas santandereanas y para los campesinos y hacendados la maquinaria PENAGOS era sinónimo de durabilidad y calidad.

En 1.962 los PENAGOS viendo la necesidad de penetrar nuevos mercados y producir nuevas líneas, fusionaron su rama metal-mecánica en una sociedad que se llamó FUNDICIONES Y MAQUINAS S.A.

Debido a su alta especialización que los PENAGOS estaban llevando a sus empresas a comienzos de la década de los 70 se fundó PENAGOS HERMANOS & CIA. LTDA., para dedicarla exclusivamente a la fabricación de la maquinaria agrícola, pilar central de las industrias PENAGOS. Esa misma década marca también el ingreso al Grupo de una Tercera Generación de los PENAGOS.

Se adquirieron tecnologías de Italia y Brasil para modernizar la línea de maquinaria agrícola, especialmente en molinos para procesar granos y alimentos y en las Desgranadoras de Cereales, pero tal vez lo más satisfactorio en desarrollo tecnológico ha sido la participación de los PENAGOS en el sector del café, ampliando las exportaciones a la mayoría de los países productores incluyendo sitios tan distantes y exóticos como los países de África y de la Polinesia.

En la década de los 90 y con la vinculación de Mariano al sector del gas, los Penagos empezaron a fabricar los accesorios para gas mientras la compañía TECUN LTDA. se dedicaba a la comercialización, especialmente con las gaseras más importantes del país.

5. FUNDAMENTACION TEORICA.

Las primeras resinas aparecen en la segunda guerra mundial, cuando Johan Croning, empieza a trabajar con el proceso Shell Molding (moldeo en cáscara), el cual utiliza resina como aglomerante para la realización de los moldes, estas resinas presentaban muchas desventajas, entre las cuales sobresalía el endurecimiento con calor. Después, en los años 60 aparecen las resinas sintéticas endurecibles en frío mediante catalizadores químicos; entre estas aparece el proceso fenólico-uretano, que trabaja con tres partes, resina I, resina II y catalizador.

Este sistema ha venido recibiendo nombres comerciales a mediada que se ha mejorado ambientalmente, como por ejemplo, Alphaset, Betaset y actualmente Poliset, que se fabrica en Inglaterra por los laboratorios Foseco. Este producto es actualmente utilizado porque no tiene como componente formol, causante de la formación de los compuestos orgánicos volátiles (VOC), conocidos por su poder cancerígeno.

El interés que prima hoy en día es el estudio de las resinas que sean más amigables con el medio ambiente y con el hombre, con el fin de producir menos emisiones por colada.

5.1. RESINAS SINTETICAS.

Es una substancia que contiene una composición química completa, alto peso molecular y punto de fusión indeterminado. Estos compuestos presentan unas propiedades de polimerización de cura, esto es, fusión de varias moléculas para formar largas cadenas moleculares. Estas se polimerizan, la resina se endurece, formando bloques de material sólido y químicamente inertes. La reacción de polimeración es normalmente iniciada por ciertos agentes químicos, como ácidos

fuertes o ésteres o por factores físicos como el calor por endurecimiento o radiación.

Las resinas sintéticas vienen siendo utilizadas comercialmente desde el inicio del siglo pasado cuando fue introducido el material conocido como baquelita, pero, fue solamente durante la II guerra mundial que la industria descubre el inmenso potencial de aplicación de las resinas sintéticas.

5.2. MATERIAS PRIMAS

Las principales materias primas empleadas en la producción de resinas sintéticas para moldeo en arena, son:

5.2.1. Metanol (alcohol metílico).

Liquido incoloro, toxico e inflamable, miscible en agua, alcoholes y ésteres.
Es el primero y el más simple de los alcoholes alifáticos, con apenas un átomo de carbono. Punto de ebullición 64.5 °C. Utilizado en producción de formol, en síntesis químicas y como solventes.

5.2.2. Formol (Formaldehído).

Gas a temperatura ambiente y generalmente mezclado con agua para formar una solución clara, incolora, irritante y con olor penetrante que produce lagrimeo.
El formol es un aldehído, el primero o el más simple de la serie alifática. Utilizado para manufactura de resinas sintéticas por reacción con fenol urea melanina y otros. Es utilizado también como intermedio en la síntesis de otros productos químicos y desinfectantes.

5.2.3. Fenol.

Sólido cristalino, incoloro, venenoso y corrosivo. Es el compuesto químico más simple de la serie de los fenoles. Punto de fusión aproximadamente 42°C. Soluble en agua, alcohol y ester. El fenol es empleado para la fabricación de resinas para

fundición, resinas para abrasivos y materiales de fricción, aglomerados de la fibra de vidrio y otras fibras, laminados para decoración, etc.

5.2.4. Urea.

Sólido cristalino blanco, prácticamente incoloro e incombustible con punto de fusión 132.7°C. Es una de las principales materias primas para la fabricación de las resinas ureo-fenólicas que son resinas termo fijas de buena resistencia.

5.2.5. Alcohol fulfurílico (fulfurol).

Líquido venenoso, soluble en alcohol y ester, miscible en agua. Obtenido por reacción catalítica del fulfurol (aldehído fulfurílico). Utilizado como solvente en la producción de resinas sintéticas para fundición.

5.3. CLASIFICACIÓN DE LAS RESINAS SINTETICAS.

Las resinas sintéticas, pueden ser clasificadas en dos grandes grupos, de acuerdo a su propiedad final:

5.3.1. Resinas termoplásticas.

Son resinas que tienen la propiedad de ablandarse cuando se someten a temperaturas altas (calor) y endurecerse en presencia de temperaturas bajas (frío), todo depende de en que forma sea aplicada la temperatura.

5.3.2. Resinas termoestables o termofijas.

Son compuestos que se solidifican o curan, volviéndose insolubles, infusibles, rígidos y estables. Este tipo de endurecimiento se produce por una reacción química completa como condensación, reticulación, polimerización, etc. Para que la cura se lleve a cabo, deben existir ciertas condiciones que posibiliten estas reacciones, como el calor y pH adecuados. La estructura química de la resina es

controlada de forma que su polimerización final ocurra apenas es utilizada en la manufactura del producto final.
Esta es el principal tipo de resina empleado en la industria de fundición.
Las posibilidades de aplicación de resinas sintéticas para aglomeración de arena en fundición fueron percibidas hace mucho tiempo. Entretanto, los primeros sistemas de resinas comerciales surgieron apenas en la década de los 50.
Actualmente la aglomeración con resinas sintéticas prácticamente sustituye los métodos anteriores, que sobreviven apenas para algunas aplicaciones específicas en regiones económicamente poco desenvueltas.

Estas resinas pueden ser del tipo:

5.3.2.1. Resinas Fenólicas.

También llamadas resinas fenol-formol o FF, son resinas sintéticas termofijas producidas por la reacción fenol y formol.
Las primeras informaciones sobre las resinas fenólicas surgieron en 1872, en Alemania, cuando A. Von Bayer descubrió que el fenol reaccionaba con el formol deformando un producto resinoso. En 1907, en EUA, L. H. Baekeland público la primera patente de real interés sobre resinas fenólicas. En 1910, las resinas fenólicas fueron por primera vez aplicadas industrialmente en la producción de barnices de aislamiento eléctrico. A partir de 1914, la industria de equipamientos eléctricos comienza a utilizar regularmente estas resinas para la impregnación de papeles y telas. A partir de 1920 se desenvuelven los materiales moldeados para la industria automovilística, y sobretodo para la industria de equipamientos eléctricos.

Las resinas fenólicas pueden ser producidas por proceso alcalino o ácido:

Las resinas alcalinas, se caracterizan por un exceso de formol con relación al fenol, y son producidas con catalizadores alcalinos, de tipo hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, hidróxido de bario, etc. Estas resinas se producen por lo

general de forma liquida, aunque es posible también encontrarlas en estado sólido.

Las resinas ácidas, son obtenidas a partir de catalizadores ácidos, se caracterizan por un exceso de fenol con relación al formol. Son normalmente sólidas, pero pueden ser también entregadas de forma de solución en solventes orgánicos. Estas resinas se caracterizan además por su gran estabilidad para el almacenamiento. Su proporción molecular exige la adición de conversores para la cura final, siendo el hexametilenotetramina, el conversor más utilizado.
Las resinas fenólicas tanto ácidas como alcalinas, son muy empleadas como aglomerantes de arena, para preparación de revestimientos de machos y moldes para fundición.

5.3.2.2. Resinas Ureo-formol.

También llamadas resina urea o UF, son resinas sintéticas termofijas producidas por reacción del formol con urea. Presentan altas cualidades, como extraordinaria versatilidad y bajo costo. Pueden ser producidas por diversas composiciones moleculares, puras o modificadas por otros compuestos, resultando resinas especiales como por ejemplo, las modificadas con alcohol furfurílico.
Las resinas ureas contienen nitrógeno, originario de la propia urea que es una amina. Pueden ser formuladas con diversas temperaturas de cura, desde la temperatura ambiente hasta 200°C. Para la cura final es necesario secar la resina por evaporación del solvente (agua) y adicionar un conversor.

5.3.2.3. Resinas furánicas.

Son resinas complejas, con tres componentes activos: urea, formol/alcohol furfurílico (UF/FA) o fenol-formol/alcohol furfurílico (FF/FA). Son resinas líquidas y

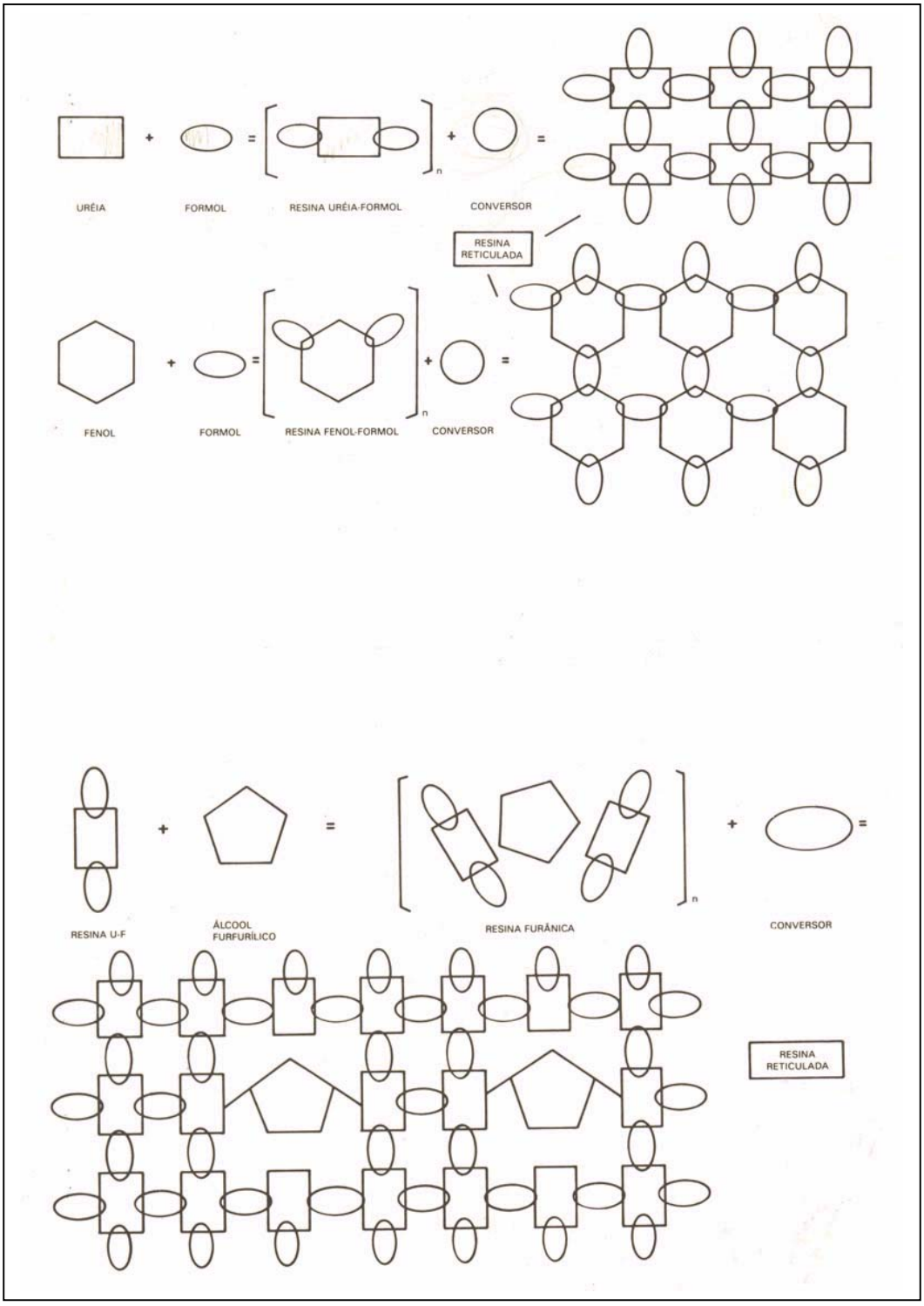
termofijas, catalizadas por sistemas ácidos. En fundición se utilizan los siguientes tipos básicos de resinas:

- **Resina ureo-furánica (UF/FA):** presenta composiciones de alcohol entre 30 y 80%, nitrógeno y agua, también alta resistencia y es adecuada para el uso con el aluminio o aceros fundidos de baja aleación. En algunos casos las altas composiciones de nitrógeno pueden interferir en las cualidades finales de la fundición, causando porosidades.

- **Resina fenólico-furánica**: presenta composiciones de alcohol de 30 a70% con un desempeño ligeramente inferior a UF/FA, en términos de resistencia en frío. Entretanto, debido a la ausencia de nitrógeno, es más indicada para el uso con hierro fundido nodular y hierro fundido de alta resistencia.

- **Resina ureo-fenólico-furánica (UF/FF/FA): presentan** contenidos de alcohol entre 40 y 85% con bajos contenidos de nitrógeno, a pesar de mantener una alta resistencia en frío. Es adecuada para hierro fundido de alta resistencia y hierro fundido nodular.

Figura 1. Esquema de reacción de cura de resinas ureas, fenólicas y fúranicas.



5.4. SISTEMA FENOLICO-URETANO.

Las ventajas que han contribuido a la consolidación de esta clase de resina como agente de moldeo son:

1. Velocidad de curado corta y curado simultaneo en toda la masa de la mezcla, gracias a lo cual el tiempo de espera entre el moldeo y la colada es pequeño. Una hora después de hecho el molde o el macho ya se puede colar.

2. Tiempo de desmoldeo corto y regulable con bastante precisión mediante variaciones en la proporción de catalizador, entre 30 segundos y 15 minutos. Machos y moldes en 4 a 20 minutos con una vida de banco de 3 a 16 minutos respectivamente. Si se aumentan las adiciones de catalizador (dentro de ciertos límites) no se perjudica la resistencia mecánica final, sino que esta crece.

3. Altos valores en la relación vida de banco/tiempo de desmodelado, que pueden alcanzar hasta un 75%. Esta propiedad es muy importante puesto que da flexibilidad en los tiempos de llenado del molde y permite el desmodelado casi inmediatamente después de acabado aquél.

4. Durante el proceso de fraguado, la mezcla hecha con el sistema no pasa por un estado plástico intermedio, gracias a lo cual, mientras dura la vida de banco, se puede manejar la mezcla con buena fluidez y capacidad de llenado sin que pierda su resistencia a la tracción

5. Sirve lo mismo para machos o moldes pequeños que para grandes, ya que la relación tiene lugar simultáneamente en todos los puntos de la masa.

6. Las propiedades mecánicas del producto ya curado: resistencia a la tracción, al rayado, a la erosión del caldo, son muy buenas y están contribuyendo a la tendencia actual a moldear en motas, suprimiendo el uso de las cajas de moldeo y hasta de las camisas.

7. Gran precisión dimensional de los machos y moldes debido a que en este proceso de fraguado no existen cambios dimensionales originados por expansión térmica o contracción, ni se comban ni reviran. Las paredes quedan muy lisas, lo que facilita la consecución de piezas fundidas muy precisas.

8. Los machos y moldes obtenidos no se degradan fácilmente, de manera que los moldes ya aviados pueden esperar una semana antes de ser colados.

9. Vida más larga de las cajas de machos y modelos debido a la ausencia de catalizadores ácidos (ácido fosfórico/sulfúrico) necesarios con otros aglomerantes.

5.4.1. COMPONENTES DE LA MEZCLA.

5.4.1.1. ARENA.

En todos los procesos de moldeo, la calidad de la pieza fundida depende en gran medida de las propiedades físicas y químicas de la arena empleada.
En los procesos químicos, el precio de los productos aglomerantes es siempre elevado, en consecuencia, además de estas propiedades generales, se busca trabajar con arenas que necesiten un mínimo porcentaje de resinas y catalizador y esto depende de la forma y tamaño de los granos de sílice y de las impurezas que les acompañen.
Así, los granos redondeados proporcionan mejores propiedades que los angulares o sub-angulares, para un mismo porcentaje de aglomerante. En cuanto

a la finura de grano, debe estar entre 50-80 AFS. Si la granulometría es mayor aumenta la demanda de resina y decrece la fluidez.

Un sumidero de pérdidas son los finos, que absorben aglomerante sin utilidad alguna.

En cuanto a los aspectos puramente químicos, ya sabemos que todos los procesos de aglomeración de arena mediante resinas sintéticas están basados en una reacción química de endurecimiento llamado fraguado. La velocidad y alcance de esta reacción depende en gran medida de la composición e impurezas existentes en la arena. Los óxidos y carbonatos de los metales alcalinos y alcalinoterreos, presentes en la mayoría de la arena pueden hacerlas inutilizables.

Se ha llegado a la conclusión que existe una correlación entre ácido/álcali de la arena y la velocidad de desarrollo de la resistencia mecánica de la arena aglomerada. De aquí que sea interesante medir el pH y la demanda de ácido de la arena que vayamos a emplear. Las arenas que son fuertemente ácidas o básicas dan peores rendimientos en el mezclado y en las propiedades mecánicas del molde o macho obtenido. Las impurezas ácidas dificultan el fraguado, mientras que los contaminantes básicos pueden acelerarlo.

Estos contaminantes desaparecen prácticamente cuando la arena se lava bien. El ideal sería trabajar con arena formada exclusivamente con granos de sílice totalmente limpios. Como esto no es posible, nos debemos conformar con arena del 95% de sílice, prácticamente sin finos y con un contenido de álcalis inferior al 0.05%. Preferiblemente la arena debe ser ≥ 98% de SiO_2.

Las arenas especiales, como la zirconita y la cromita, no presentan inconvenientes para ser empleadas en este proceso.

También el grado de humedad de la arena influye desfavorablemente en la reacción. La arena se debe mantener por debajo del 0.25% de humedad para que no se disminuya las velocidad de curado, la fluidez de la mezcla y la resistencia mecánica del molde o macho.

La temperatura de la arena, en unión del porcentaje de catalizador, controla la velocidad de curado. Las velocidades de curado más rápidas se logran con arena entre 25 y 30°.

5.4.1.2. RESINA POLISET.

Es un sistema aglomerante, de tipo fenólico-uretano, formado por tres componentes:

- *Resina parte I:* Es una resina fenólica del tipo formaldehído, disuelta en una mezcla completa de disolventes orgánicos.

- *Resina parte II:* Una mezcla de isocianatos con disolventes orgánicos.

5.4.1.3. CATALIZADOR.

Catalizador compuesto de Piridina que reacciona con los hidroxilos de la resina a través de reacciones rápidas formando una estructura termofija. La cantidad de catalizador que se debe utilizar es del 5-10% y depende del tiempo de vida útil, de la granulometría de la arena y del tamaño y forma del macho o molde.
La cantidad de catalizador influye directamente sobre el tiempo de fraguado.
La formula del catalizador se encuentra patentada por la casa fabricante, cualquier información dirigirse a Quintal que es la empresa que distribuye para Colombia.

Propiedades físicas medias.

	Resina I	**Resina II**	**Catalizador**
Estado físico	ámbar	marrón oscuro	ámbar
Peso específico	1.80	1.13	1.03
Punto inflamación °F	180		
Viscosidad (cp)	60-80	176	276

Almacenamiento de las resinas:

Las resinas son sustancias viscosas, que se espesan cuando están a temperaturas bajas. Por esto si las resinas llegan frías a la mezcladora, tendremos dos inconvenientes:

- La mezcla con la arena será más difícil, menos homogénea.

- Como la viscosidad es función de la temperatura para mantener fija la proporcionalidad de resina necesaria se debe también mantener aproximadamente fija la temperatura (25 ° C).

5.4.2. PROCESO DE FRAGUADO EN POLISET.

El proceso de aglomerante a emplear para hacer una mezcla dada depende de la pureza de la arena, de la forma de sus granos y de la temperatura. Suele ser del 1 al 2 % del peso de la arena. Dentro de esto la proporción de ambos componentes del aglomerante: resina I a resina II, suele ser de 55:45 ó 60:40, etc.
La cantidad de catalizador a añadir es un tanto por ciento del peso de la resina parte I. Depende del tiempo de desmodelado requerido, de la temperatura y de la clase de arena, oscila del 4 al 8 %.
La reacción de fraguado se inicia tan pronto se encuentran las tres partes juntas; pero durante un cierto tiempo, avanza muy lentamente, y ya cerca del final se desarrolla a toda velocidad. El tiempo total de fraguado es corto en comparación con otros sistemas. Mientras dura esa primera etapa de fraguado, la mezcla de los tres componentes con la arena es altamente fluida, y se puede manejar, verter, repartir y vibrar sin problemas. Esta etapa se llama vida de banco y constituye aproximadamente el 75% del tiempo total.

La segunda etapa ha de transcurrir obligadamente con la mezcla en reposo. La fluidez disminuye rápidamente y si nos empeñamos a seguir moviéndola o vibrándola, las propiedades mecánicas del producto final resultarán perjudicadas.
La reacción química de fraguado no origina productos secundarios, por lo que tiene lugar de manera uniforme en todos los puntos de la masa, por lo tanto la resistencia mecánica y el choque térmico serán también uniformes en las secciones gruesas como en las finas.
El tiempo de desmodelado puede hacerse variar casi infinitamente entre 30 segundos y 15 minutos, dependiendo del tipo de catalizador que se emplee. Por lo tanto este tiempo el fundidor lo elige de acuerdo con la cadencia de producción necesaria y con los medios de que disponga.

Tabla 1. VIDAS DE BANCO Y DESMODELADO.

% catalizador	vida de banco (minutos)	tiempo de desmodelado (minutos)
1.2	10	12
1.4	8	10
1.8	6	8
1.8	6	8
1.8	4	5
2	3	4
2.2	2	3
2.4	1	1-30''

5.4.3 ALGUNOS PROBLEMAS POSIBLES.

5.4.3.1. Acabado superficial:

Como en otros procesos de moldeo, contribuye al buen acabado superficial la finísima capa de carbono lustroso que se forma en la superficie de contacto de la arena con el caldo, capa que permite prescindir en muchos casos de los revestimientos refractarios.

En ocasiones esta capa de carbono lustroso se hace demasiado gruesa y entonces origina irregularidades superficiales en forma de “laps” o “wrinkles”.

El origen de este fenómeno puede estar en la temperatura de colada, la disposición de la alimentación o las proporciones de aglomerante y de arena. Así, la formación de esa capa de carbono lustroso puede minimizarse en gran medida “quemándola”, utilizando temperaturas de colada más elevadas y mayor velocidad de colada. También puede contribuirse a este efecto añadiendo a la mezcla agentes oxidantes como el óxido de hierro.

Otro medio consiste en disminuir el porcentaje total de aglomerantes en la mezcle de arena y cambiar las proporciones entre las dos resinas incrementando la cantidad de resina I.

5.4.3.2. Riesgo de porosidad superficial.

Los defectos de porosidad subsuperficial y superficial (poros, sopladuras, etc.) han sido siempre habituales en el proceso de moldeo en verde de piezas de hierro fundido y acero.

Al parecer las nuevas técnicas de moldeo autofraguante, estos defectos llegaron a constituir problemas muy importantes.

Los factores causales de la porosidad son varios y resulta difícil considerarlos por separado, ya que se suelen presentar juntos y ser interactuantes.

De todos ellos se considera como muy responsable a los gases nitrógeno e hidrógeno, los cuales se desprenden en estado naciente por la reacción del caldo

con las paredes de los moldes y machos, al descomponerse las resinas por efecto, sobretodo del calor. Estos gases son mucho más solubles en el hierro líquido que en el sólido, por lo que, al solidificarse el caldo, tienden a desprenderse y se quedan retenidos cerca o en la superficie en forma de burbujas, generalmente de tamaño pequeño, a veces casi microscópicas.
Como es sabido, el hidrógeno forma parte de todos los compuestos orgánicos. No es posible suprimirlo, aunque si minimizarlo controlando el contenido de agua. En cambio, si es posible controlar la cantidad de nitrógeno.
En el caso de Poliset, solo la resina II contiene nitrógeno, por lo tanto cuando se presentan problemas de porosidad, se debe:

- Reducir en lo posible el porcentaje total de aglomerantes en la mezcla de arena.
- Emplear una mezcla con la menor proporción de resina II.

Un factor negativo es un mal mezclado que produzca una desigual distribución de los componentes aglomerantes de la arena.

5.4.3.3. *Veining.*

Se llama veining al defecto superficial de las piezas fundidas originado por la penetración del caldo en una grieta producida en la pared de la mezcla endurecida.
Los granos de sílice sufren una expansión notable aproximadamente cerca de los 565°C. Esta expansión puede ocasionar el agrietamiento de la pared y la consiguiente penetración del metal en dichas grietas.
La severidad de este defecto en las arenas aglomeradas con Poliset, depende sobre todo de la arena base, y también de la configuración de la pieza. En estas piezas conflictivas se ha mostrado eficaz disminuir el nivel de aglomerante, añadir óxido de hierro (hasta el 2%) o añadir agentes “acolchantes” resistentes a altas temperaturas. También pueden ser útiles las pinturas refractarias.

5.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE MOLDES EN PENAGOS

Antes de realizar la descripción del proceso de fabricación de los moldes en Penagos, se deben indicar dos hechos importantes dentro de este mismo que son:

1. El empleo de dos procesos de moldeo (Poliset y arena+silicato+CO2); esto implica un aumento en las variables a controlar y por lo tanto una mayor probabilidad de cometer errores.
2. Los moldes se cuelan en otras fundiciones, lo cual genera problemas en la manipulación y el transporte de estos.

Después de lo anterior continuamos con el proceso para la fabricación de los moldes en Penagos, el cual inicia con la preparación de las materias primas, como son la arena, las resinas, (parte I, parte II y catalizador).

Se utiliza un mezclador eléctrico sin rodillos, debido a que la mezcla no se debe calentar, figura 2:

Figura 2. Mezclador.

La mezcla consiste en 3.5 Kg de arena (no exactos), más una medida suministrada por el proveedor de resina parte II; se pone en funcionamiento el

mezclador por 1 minuto y luego se retira de este en un recipiente. Se repite el proceso con otros 3.5 Kg de arena pero con la resina parte I más el catalizador.

Figura 3. Proceso de mezclado.

Al tener las dos mezclas por separado (ver figura 4), se preparan los modelos, se limpian y se les adiciona polvo separador (figura 5).

Figura 4. Mezclas separadas

Figura 5. Modelos.

Luego se hace la combinación de las dos partes, por igual y manualmente, amasándose hasta que la mezcla sea homogénea (figura 6).

Figura 6. Mezcla de las dos partes.

Esta mezcla es repartida a los modelos, se apisonan y posteriormente se hacen unos respiraderos y se deja en reposo hasta que endurezca.

Figura 7. Llenado de los modelos.

Cuando la mezcla ya ha endurecido se realiza el proceso de desmodelado y se obtienen las partes ya sean posteriores o superiores que conformarán los moldes.

Figura 8. Estantería con los moldes listos para el ensamble.

Para la fabricación del bebedero, se realiza el siguiente proceso (ver figura 9); preparada la mezcla de arena y silicato de sodio, se adiciona a el modelo, se apisona y se gasea con CO2:

Figura 9. Fabricación de los bebederos o mazarotas con el proceso de silicato de sodio y CO2.

Por último los moldes se ensamblan, dos partes o tres cuando llevan machos y se pegan las uniones con una mezcla de harina de trigo y agua y finalmente están listos para su fusión (figura 10).

Figura 10. Moldes para ensamble.

Para la fusión de estos moldes, Penagos Hermanos no cuenta con una fundición propia, ellos utilizan el servicio de empresas fundidoras que se encuentran fuera de la planta, lo que implica que los moldes después de ensamblados deben ser transportados a la fundición.

Al llegar a la fundición, son calafeteados (cubiertos con arena de moldeo en verde y apisonados con el fin de no permitir que se despeguen en el momento de la fusión debido a la presión metalostática), y finalmente fundidos.

6. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

Después de una adecuada recopilación de la información concerniente con el proceso ***POLISET***, un seguimiento del proceso realizado en Penagos durante estos meses y después de una revisión de las características de las materias primas (calidad, almacenamiento), se llegó al siguiente diagnostico que trata de explicar las causas de los problemas que se presentan:

6.1. No se tiene un control de la arena adecuada para el proceso.

De acuerdo a la información encontrada, este proceso es muy exigente con la arena que se debe utilizar, y esto, por que de ella depende la cantidad de aglomerante y por supuesto la calidad de la pieza terminada, la arena ha utilizar debe ser de excelente pureza, lavada y seca, y en lo posible excepto de óxidos, además debe cumplir con un requisito importantísimo y es que la fineza debe estar entre 45 y 50 A.F.S.

6.2. El sistema de mezclado se realiza según las sugerencias del proveedor sin tener un mayor conocimiento del proceso, lo que puede llevar a cometer errores.

Como se dijo anteriormente la cantidad de aglomerante depende en gran medida de la pureza de la arena con que se esté trabajando, y la arena utilizada en Penagos es muy irregular lo que nos lleva a pensar que todas las mezclas no tienen las mismas características y propiedades. La arena no es pesada con exactitud, simplemente se tiene un recipiente de referencia, que mide el volumen de la arena a mezclar mas no su peso, esto debido a que la fineza de la arena no siempre es la misma.

Las cantidades de las resinas se suministran por unas pautas que da el proveedor sin tenerse en cuenta las variaciones que se presentan con la arena.

6.3. Los bebederos presentan alta friabilidad.

Los bebederos, que son fabricados con silicato de sodio y gaseados con CO2, presentan una alta friabilidad, es decir, la arena se desprende con gran facilidad; esto ocasiona que el molde al ser transportado desde Penagos a la fundición por causa de la vibración del transporte, se desprendan granos de arena en su interior produciendo defectos en la pieza terminada, además que en el proceso de fusión, cuando el metal ingresa al molde y toca las paredes del bebedero también se puede producir erosión de la arena.

6.4. El sistema de llenado y alimentación de los moldes no es el adecuado, se debe diseñar para cada molde dependiendo del tamaño y del grosor de la pieza.

Estos moldes prácticamente no poseen un sistema de llenado, simplemente se les colocó un bebedero que sirve de mazarota y que ocasiona que el metal al entrar choque con la pared inferior del molde cavando en él y produciendo turbulencia que se transforma en porosidades internas para la pieza.

6.5. De que manera afecta la rentabilidad?

Para los fundidores, la rentabilidad también se ve afectada, debido a que en cada colada el porcentaje de defectos en las piezas están dados por:

- Piezas defectuosas sin solución = 3%
- Piezas buenas = 30%
- Piezas defectuosas con solución = 67 %

Las piezas defectuosas, que presentan porosidades, deben ser resanadas con soldadura o con rally, aumentando de esta manera un 10% los gastos de producción.
Las piezas defectuosas que no tienen solución deben ser utilizadas como material de retorno y por lo tanto acarrea pérdidas de producción.
Cuando el material llega a Penagos, la persona que recibe, se encarga de inspeccionar las piezas de acuerdo a ciertos parámetros como son porosidades externas y rechupes.
Luego de ser recibidos se llevan a la sección de mecanizado en donde se presenta un rechazo aproximado del 10% de las piezas por causa de defectos internos que disminuyen la calidad de la fundición, obligándolos a devolverlas nuevamente a la fundición.

Para Penagos Hermanos y para la fundición, todos estos defectos producen pérdidas, que se comprenden en la fabricación de los moldes de las piezas devueltas (mano de obra del operario, arena y resina, los gastos de transporte, etc.), mecanizado, muchas veces pintura y ensamble, pero lo más importante, que es la entrega inoportuna de maquinaria por retrasos de las partes que la conforman.

Con el fin de obtener las pérdidas mensuales aproximadas, se tomaron los pedidos de los últimos cuatro meses, para obtener un promedio de las piezas que se solicitan en la empresa y de esta manera se obtuvo la siguiente información:

Tabla 2. Costos de producción individual para piñones elaborados con Poliset (Pesos)

Referencia	Moldeo	Material	Mecanizado	Metalistería	Pintura	Ensamble	Total
P9-24H	190	1360	2200	-	260	850	4860
P9-21H	250	1700	2300	-	260	850	5360
P9-28H	2250	6630	4350	-	750	1700	15680
P9-25H	1500	5100	3200	-	550	1700	12050
P9M-31H	900	2210	2600	-	250	1300	7260
P9-30H	900	2720	2100	-	370	2100	8190
DV181-13H	3800	14110	28000	25000	-	12500	83410
256K	3500	9520	21000	18000	-	10000	62020

Tabla 3. Costos de producción mensuales para piñones elaborados con Poliset (Pesos)

Referencia	**Cantidad**	**Costo c/u**	**Costo total**
P9-24H	66	4860	320760
P9-21H	275	5360	1474000
P9-28H	99	15680	1552320
P9-25H	77	12050	927850
P9M-31H	110	7260	798600
P9-30H	99	8190	810810
DV181-13H	11	83410	917510
256K	11	62020	682220
Total	**748**	**198830**	**7484070**

Tabla 4. Pérdidas en la fabricación de moldes (Pesos)

Pérdida	***Valor***
3% piezas defectuosas sin solución	20640
10% piezas devueltas después de mecanizado	555423
Total	576063

- Los $20640 son el 3% de los costos totales del moldeo que es lo que Penagos pierde con las piezas que salen defectuosas sin ninguna solución.
- Los $555423 son el 10% de los costos dentro de los cuales se incluyen, moldeo, material y mecanizado, que son las pérdidas que asume Penagos por estas devoluciones.

Los datos calculados anteriormente, solo hacen referencia a una parte de las pérdidas, debido a que dentro de ellas no se ha cuantificado el valor que se pierde en la demora al entregar la maquinaría porque no se cuenta con los piñones a tiempo, o la reducción en el tiempo de servicio de piñones, sinfines y demás piezas que agilizan su desgaste debido a la arena pegada que presentan los piñones en sus dientes.

Este hecho es causante de gran preocupación para la empresa; es por esto que se esta buscando el mejoramiento de este proceso.

7. PRUEBAS REALIZADAS

7.1 Tamizado de la arena

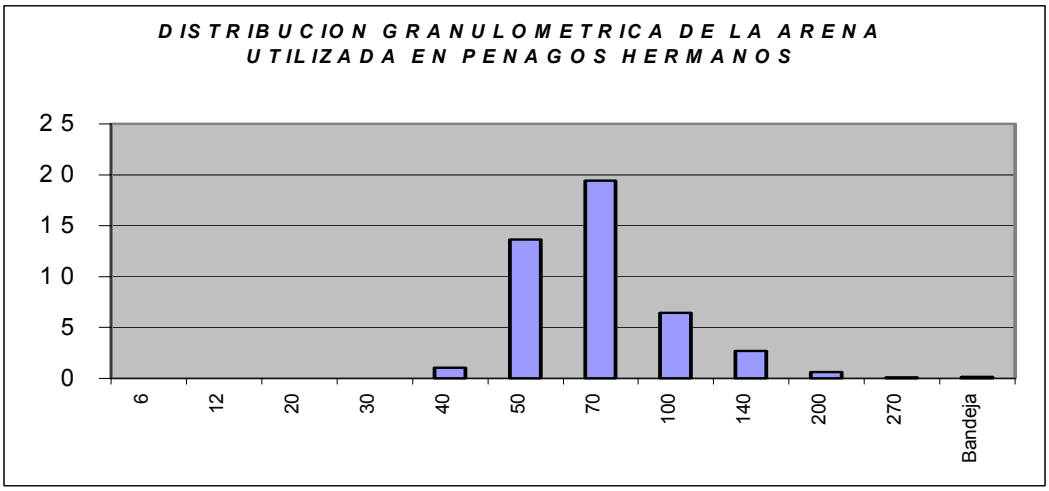
Según la bibliografía consultada, el proceso de moldeo Poliset exige la utilización de una arena con granulometría determinada, normalmente distribución en dos máximos tres tamices, y una finura entre 50 y 60, puesto que entre más fina se aumenta la demanda de resina. Ante esto se programaron ensayos de laboratorio en la Universidad Industrial de Santander, tales como los mostrados en la tabla 5:

Tabla 5. Análisis granulométrico de la arena usada en Penagos

# Equivalente serie E.U.A	***Gramos [g]***	***%***	***Multiplicador***	***Producto***
6	0	0	3	0
12	0	0	5	0
20	0	0	10	0
30	0	0	20	0
40	1.035	2.35	30	70.5
50	13.62	30.90	40	1236
70	19.425	44.08	50	2204
100	6.445	14.62	70	1023.4
140	2.685	6.092	100	609.2
200	0.6	1.36	140	190.4
270	0.108	0.24	200	48
Bandeja	0.153	0.35	300	105
Total	44.071	99.99		5486.5

Índice de finura = 5486/99.99 = 54.87

Figura 11. Distribución granulométrica



Y la forma de grano es sub-angular.

7.2 Resina

Después del análisis que se le realizó al proceso de mezclado, se encontró, que las cantidades de resina utilizadas por Penagos, no eran las adecuadas para el proceso según lo estipulado en la bibliografía consultada, lo que me llevó a realizar pruebas variando dichas cantidades.

La cantidad de resina se mide por el peso de arena que se va ha mezclar, y suele ser del 1 al 2% de este peso; además la proporción de las dos resinas debe estar entre 55:45 y 60:40.

La cantidad de arena que se mezcla en Penagos es 3.5 Kg que es la capacidad de la mezcladora que se posee, y la proporción usada de las resinas es 50:50.

El valor máximo de resina que se debe utilizar es 70 gramos (para 3.5 kg de arena), y lo que se esta usando actualmente es 140 gramos, según recomendaciones del proveedor.

La cantidad de catalizador a añadir es un tanto por ciento del peso de la resina parte I y depende del tiempo de desmodelado requerido, de la temperatura ambiente y de la pureza de la arena, oscila del 4 al 8 %.

Después de verificar que la resistencia del molde no se veía afectada y que se obtenía una mejor colapsibilidad, se tomó la decisión de que las cantidades par la mezcla serían de 80 gr. de resina parte I y 60 gr. de resina parte II, disminuyendo de esta manera la formación de porosidades, esto debido a que la resina parte II que contiene nitrógeno, se disminuye; por ende también se disminuyen los costos de producción puesto que es esta resina la más costosa de las dos.

7.3. CALAFETEO

Figura 12. Moldes calafeteados y pesados para posterior fusión.

Los moldes fabricados con resinas sintéticas son moldes rígidos y con buena resistencia mecánica, por lo que el calafeteo es una proceso innecesario que disminuye la permeabilidad del molde (ver figura 12); además este proceso no es realizado horas antes de la fundición, este se realiza el día anterior a la colada, por lo que es posible que se humedezca el molde, eliminando las propiedades que presenta este proceso.

Por lo anterior se realizaron pruebas, fundiendo moldes sin calafeteo (ver figura 13).

Aquí se presentaron dos situaciones, como los moldes son de diferentes referencias de piñones, dos referencias no tuvieron ningún problema al ser colados sin calafeteo, por su poca masa, pero las otras referencias de mayor masa, al ser coladas la tapa superior se levanta por la presión metalostática, lo que llevó a utilizar contrapesos adecuados que contrarrestaran dicha presión y de esta manera colar los moldes sin peligra de obtener piezas defectuosas.

Figura 13. Moldes colados sin calafeteo.

7.4. MOLDES VIBRADOS

Una de las ventajas que el proceso de moldeo Poliset proporcionan es que la dureza del molde se da por una reacción química que ocurre entre las dos resinas, la fenólica y la uretana, lo que disminuye el esfuerzo del operario (el apisonamiento); en Penagos, no se esta aprovechando esta ventaja, por lo contrario, se cree que entre mayor sea la fuerza ejercida al fabricar el molde, mejor será el acabado superficial de este. Esto ha hecho que aparte de aumentar el tiempo de fabricación del molde, se tengan problemas en el acabado superficial de la pieza debido a que la fuerza con que se apisona no es homogénea en todas las partes del molde, presentándose desniveles en la superficie de la pieza fundida (ver figura 14).

Figura 14. Pieza defectuosa por mal apisonado.

Es por esto que se realizaron pruebas con moldes fabricados sin apisonar, en vez de este proceso, vibrando los modelos con la mezcla.

7.5. MAZAROTAS

La forma de los moldes que se fabrican en Penagos es muy particular, es un molde partido que consta de dos tapas una inferior y otra superior, además, su sistema de llenado esta en la parte superior, un cono que sirve de sistema de llenado y hace la función de la mazarota.

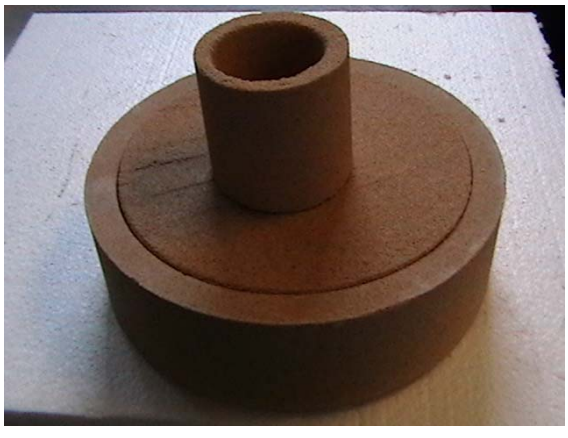


FIGURA 15. Moldes fabricados por Penagos Hermanos.

Este cono es fabricado en un proceso de moldeo diferente al del molde, (arena silicato de sodio CO2). Estas mazarotas presentan una alta y evidente friabilidad, lo que conlleva a la erosión de la arena en el momento en que el metal líquido entra en contacto con esta, obteniéndose en la pieza gran cantidad de defectos presentados por la arena suelta en el fondo del molde (ver figura 16), aparte de esto, como los moldes después de fabricados son transportados a las fundiciones, los movimientos durante el traslado permiten de la misma manera el desprendimiento de arena hacia el fondo del molde.

Figura 16. Piezas defectuosas ocasionadas por erosión de arena.

Para esto, primero que todo se rediseñaron los moldes para la fabricación de las mazarotas, con el fin de disminuir la mayor cantidad de mezcla y fabricarlas con el mismo proceso de los moldes.

Figura 17. Diferencia de tamaños en las mazarotas.

7.6. SISTEMA DE LLENADO

El principal problema que presentan los moldes fabricados en Penagos hermanos sin duda es la turbulencia del metal cuando se esta llenando el molde, debida al inadecuado sistema de llenado y alimentación de los moldes (figura #18).

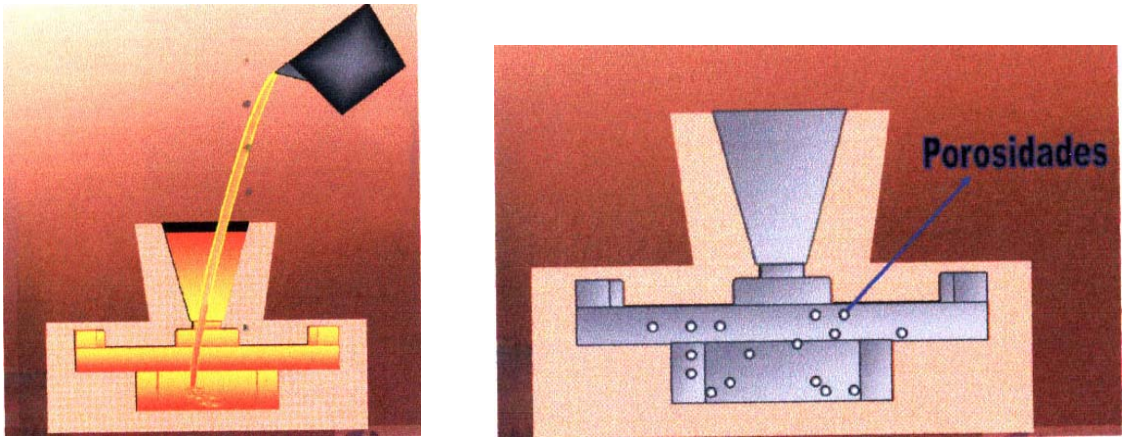


Figura 18. Sistema de llenado actual.

Se realizaron pruebas modificando dicho sistema, obteniéndose muy buenos resultados con el llenado vertical ascendente, ya que de esta manera no existe turbulencia y además permite que los gases salgan por la permeabilidad del molde (figura 19).

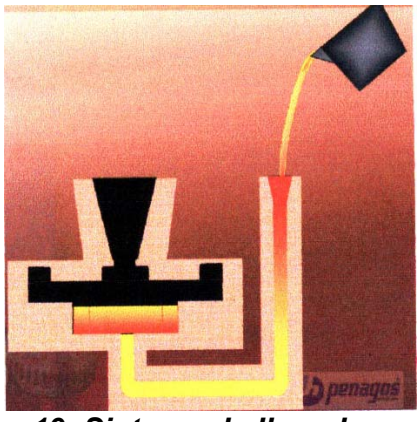


Figura 19. Sistema de llenado sugerido.

Sin embargo para Penagos Hermanos, cambiar individualmente el sistema de llenado no es rentable, puesto que el proceso Poliset es muy costoso.

Se iniciaron entonces pruebas con el fin de diseñar un sistema de llenado en árbol, que permitiera con un solo sistema llenar más de una pieza y de esta manera manejar los costos del producto final.

Figura 20. Sistema de llenado en árbol para tres piñones.

Para esto, se varió primero el número de piezas a llenar, la velocidad de llenado y la temperatura del metal, para garantizar que todas las piezas salieran totalmente llenas.

8 .ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

8.1. Arena

De acuerdo con los resultados obtenidos se optó por cambiar la granulometría de la arena utilizada, para lo que se contactó el proveedor para hacer el pedido de arena sílice de granulometría 40-70, grano sub-angular e índice de fineza igual a 60, lavada y exenta de impurezas.

Con el fin de llevar un control de a la arena recibida en cada viaje, se optó por realizar un muestreo para realizar análisis granulométrico y de esta manera garantizar la homogeneidad de la mezcla siempre.

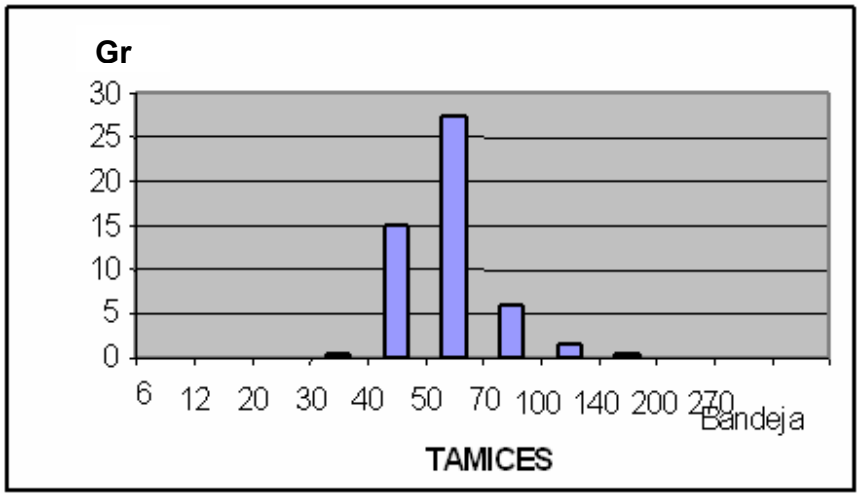


Figura 21. Análisis granulométrico de la nueva arena

8.2 Resina

Después de las pruebas realizadas se obtuvieron las cantidades óptimas para la mezcla de los moldes (ver tabla 6).

Tabla 6. Cantidades adecuadas de Resina

Los valores de esta tabla están dados en gramos.

Arena	Resina I	Resina II	Catalizador
7000	100	80	4

Para garantizar la homogeneidad de la mezcla con que se fabrican los moldes fue necesario la implementación de dispositivos de medida para las materias primas utilizadas, estos son (figuras 22 y 23):

Figura 22. Balanza para la medida de la arena

La necesidad de esta implementación es porque esta medida se tomaba con un recipiente variando el peso a medida que variaba la granulometría de la arena.

Figura 23. Vaso de precipitado

Vasos de precipitado con el fin de medir el volumen exacto de las dos partes de la resina., puesto que la medida se tomaba al tanteo por los operarios.

Al disminuir la cantidad de resina utilizada en la fabricación de los moldes, además de disminuir defectos, también se disminuyeron los costos de producción; en la tabla 7, se registra la disminución mensual con la resina utilizada:

Tabla 7. Ahorro de costos con la disminución en las cantidades de la resina

Los valores de la tabla están dados en pesos.

REFERENCIA	CANTIDAD	RESINA I (g)	RESINA II (g)	*RESINA I (g)	*RESINA II (g)
P9-24H	66	396	396	330	264
P9-21H	275	2040	2040	1700	1360
P9-28H	99	6000	6000	5000	4000
P9-25H	77	3120	3120	2600	2080
P9M-31H	110	2640	2640	2200	1760
P9-30H	99	2400	2400	2000	1600
DV181-13H	11	1320	1320	1100	880
256K	11	2640	2640	2200	1760
Total	748	25836	25836	17130	13704
Valor (pesos)		159149,76	235107,6	105520.8	124706.4
Ahorro (pesos)	**164030**				

8.3 Mazarotas

Con el fin de disminuir considerablemente los defectos provocados por la erosión de la arena, lo primero que se llevó a cabo fue el reemplazo del sistema de arena +silicato+CO2 por el proceso Poliset.

Con el fin de demostrar a la empresa que la diferencia en costos no era considerable se realizaron los siguientes cálculos (ver tabla 8):

Tabla 8. Diferencia de valores en la fabricación de mazarotas con Poliset y con silicato (mensual)

Los valores de la tabla están dados en pesos.

Con Poliset		Con Silicato de sodio y CO2	
Arena	87	Arena	87
Resina I	36	Silicato de sodio	44
Resina II	43	CO2	23
Total (unidad)	166	Total	154
Mensual (385)	63.910	Mensual (385)	59.290
Diferencia	**4.620**		

Aparte de esto, también se disminuyó considerablemente el volumen de la mazarota (ver figura 17).

Este cambio en las dimensiones de las mazarotas disminuyó de la misma manera los costos de la fabricación de moldes (ver tabla 9).

Tabla 9. Diferencia en la fabricación de las mazarotas grandes a pequeñas
Los valores dados en pesos.

Proceso	Mazarota pequeña		Mazarota Grande	
Silicato de sodio	154	15.246	439	43.461
Poliset	166	16.434	473	46.827
Ahorro	30.393			

8.4 Moldes Vibrados

Como se había mencionado anteriormente, para aprovechar al máximo las ventajas que el proceso Poliset nos ofrece (vibrar los moldes sin apisonar) y no solo eso, también disminuir el tiempo en la fabricación de los moldes que se verá reflejado en el aumento de la productividad, se realizó el diseño de una maquina vibratoria, que consta de una bandeja removible y que tiene la capacidad de vibrar 3 moldes a la vez; a continuación los planos de la mesa (figura 24):

Las dimensiones están dadas en milímetros

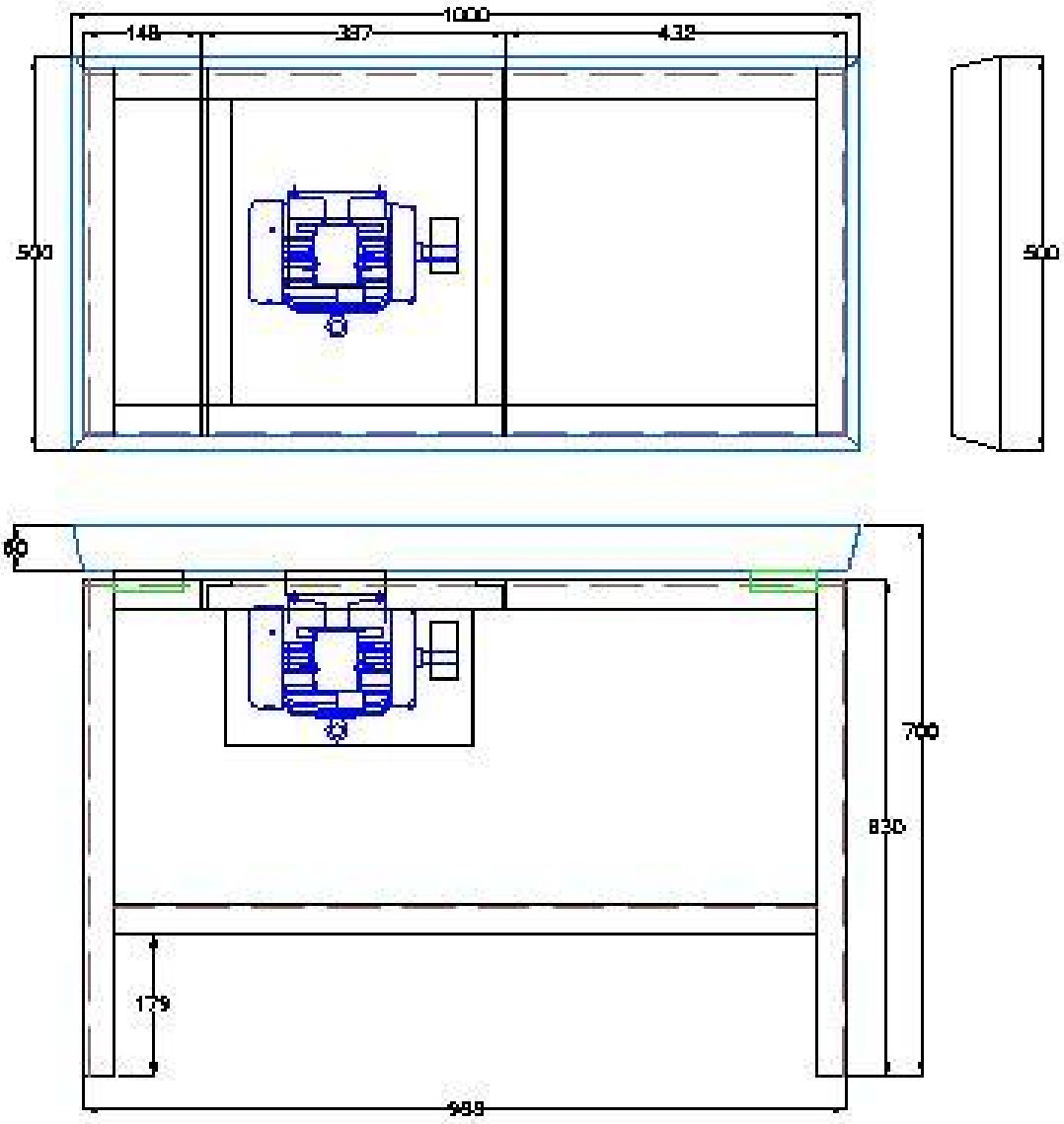


Figura 24. Mesa vibratoria

La fabricación de esta mesa tiene un costo para la empresa de $800.000; pero contando con la ayuda de esta, se ahorrará tiempo de operario, disminución de defectos en las piezas y una mayor productividad debido a que en el tiempo en que se fabricaba un solo molde, ahora se fabricarán tres.

8.5 Nuevo diseño del sistema de llenado:

Los resultados obtenidos de las pruebas que se realizaron ratifican lo que se esperaba, el llenado de los moldes presentaba turbulencia, la cual se reflejaba en la presencia de numerosos defectos.
Por esto se realizaron pruebas modificando el sistema de llenado, dando el mejor resultado el llenado desde abajo, ya que de esta manera el flujo dentro del molde es laminar, ayudando a que los gases salgan por la permeabilidad de la arena sin ningún problema.

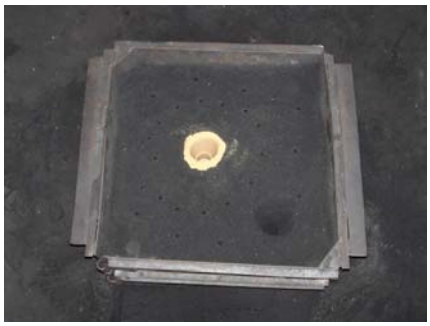


Figura 25. Molde colado por debajo.

Figura 26. Dos moldes colados por debajo

Para Penagos no era rentable cambiar el sistema de llenado de cada uno de los moldes lo que me llevó a probar un llenado en forma de árbol; se realizaron pruebas con cuatro moldes, pero era muy difícil que el último piñón alcanzara a llenar, entonces se optó por tres piñones obteniéndose buenos resultados (ver figura 27).

Figura 27.Tres moldes en árbol.

Con el fin de que la presión ejercida sobretodo en el primer piñón (abajo) las pruebas se pintaron con isomol, obteniéndose óptimos resultados (ver figuras 28 y 29).

Figura 28. Piñones con el sistema de llenado por debajo

Al final los resultados obtenidos:

Figura 29.Acabado superficial mejorado, sin arena pegada.

La fabricación del conducto de llenado, ocasionando un costo de 717 pesos para cada piñón, si solo se hace para las referencias que más problemas tienen como son P9-28H ,P9M-31H, P9-30H aumentaría el costo mensual en 178.640 pesos que representa el 53% de las pérdidas mensuales de la empresa por los defectos encontrados.

Realizar los moldes en forma de árbol, presenta un problema, y es que como los moldes se conforman de dos partes, una inferior y otra superior, es necesario colocarles pesos con el fin de que la presión metalostática no levante las tapas, pero al mismo tiempo la presión en el conducto es grande, para remediar esto se optó por el calafeteo con arena sílice seca, sin humedad ni impurezas.

Esta arena no permitirá que el conducto de llenado colapse y además brindará facilidad para el pesado de los moldes.
Para esto es necesario unas cajas de moldeo, dentro de las cuales se colorarán los moldes para su posterior calafeteo.

8.6. Costos e Inversión

Realizar el proceso de la manera propuesta disminuye los defectos encontrados en las piezas, pero también representa un aumento en los costos de producción de las mismas, a continuación se mostrará de que manera la implementación de las mejoras al proceso afecta la economía de la empresa.

Tabla 10. Inversión inicial.

Mesa vibratoria	*Dos modelos*	*Arena Sílice*	*Dos Cajones*	*Total*
800.000	*300.000*	*400.000*	*200.000*	*1.700.000*

Tabla 11. Costo mensual adicional.

Cambio de molde	*Mazarotas en Poliset*	*Sistema de llenado*	*Total*
42.591	*4.620*	*178.640*	*226.028*

Tabla 12. Ahorro mensual con la implementación.

Resina	*Mazarotas*	*Harina*	*Total*
104.894	*49.643*	*22.800*	*177.337*

Las pérdidas tangibles que la empresa tiene con los defectos encontrados en las piezas están alrededor de $ 576.063 (ver tabla 5), si a este valor le restamos lo que se va a ahorrar con la implementación mensualmente me da $398.726, si a este valor le resto el costo adicional mensual, en realidad lo que voy a tener es una ganancia de 172.698 pesos con la cual se recuperará la inversión en 10 meses aproximadamente.

9. PROTOCOLO PARA LA FABRICACIÓN DE LOS MOLDES PENAGOS

1. La arena para la mezcla debe ser arena sílice 40-70 de granulometría, índice de finura 60, lavada y exenta de impurezas.

2. Se mezcla 100 gramos de resina parte I (80 mL) con 4 gramos de catalizador (1mL).

3. Se pesan 3.5 Kg. de arena que en la mezcladora se homogenizaran con la mezcla anterior. Posteriormente se vestirá en un recipiente.

4. Separadamente se pesaran otros 3.5 Kg. de arena que se mezclarán con 80 gramos de resina parte II (60mL). Esta mezcla se vierte en otro recipiente.

5. Después de tener limpios los modelos, se mezclan cantidades iguales de la arena con resina parte I y parte ll, cuando se tiene la mezcla homogénea, se vierte sobre los modelos que deben estar sobre la bandeja de la maquina vibratoria.

6. Se vibran, se emparejan las superficies y se dejan fraguar.

7. En el momento en que el molde endurece se procede a realizar el desmodelado.

8. Se pintan los moldes que sean necesarios, y se dejan secar por 24 horas. La pintura que se utiliza es el isomol mezclado con alcohol y se aplica con un soplete.

9. Los moldes son transportados a la empresa que se encargará de su fusión y allí se realizará el ensamble de estos con el fin de evitar la erosión de arena durante el recorrido.

10. Las uniones de los moldes se tapan con una mezcla de caolín y agua.

11. Por último y solo horas antes a la colada se calafetean los moldes con arena sílice seca y se le colocan sobrepesos.

12. Finalmente los moldes están listos para la fusión.

10. RECOMENDACIONES

- Al recibir la arena, se deben tomar como mínimo cinco muestras al azar para realizarles análisis granulométrico, con el fin de trabajar siempre con la misma arena.

- Es muy importante la limpieza de los vasos con que se mide la resina, al finalizar la jornada de trabajo, ya que si no se realiza, la concha que se forma va disminuyendo la cantidad de resina; además el cambio de los vasos se debe hacer cada 2 meses.

- Sería recomendable que las piezas fueran coladas con una cuchara en tetero, con el fin de evitar defectos producidos por la escoria, comúnmente encontrados en nuestras piezas.

- La interacción de puntos de vista diferentes entre las personas que de una u otra manera influyen en el proceso, hace pensar que el dialogo abierto y responsable en torno a las dificultades nos puede llevar más fácilmente a la excelencia.

11. CONCLUSIONES

Las modificaciones realizadas al proceso de moldeo y al sistema de alimentación y llenado de las piezas conllevan a establecer las siguientes conclusiones:

- La inclusión de la vibración durante la fabricación del molde representó un mejoramiento ostensible del acabado superficial de las piezas con una disminución de las porosidades.

- El sistema de alimentación diseñado y presentado a la compañía, representó una mayor eficiencia la obtener un ahorro en metal fundido del 40% aproximadamente.

- El mejoramiento de las características granulométricas de la arena utilizada, se tradujo en una disminución del 27% de resina, lo cual representa una apreciable disminución del costo, debido al elevado valor de dichas resinas.

- Mediante estudios de costos se concluye que la implementación del sistema propuesto se traduce en un aumento del 80% en piezas buenas, lo cual indica que la inversión propuesta es recuperable en 10 meses.

BIBLIOGRAFÍA

Textos.

- ALBA QUIMICA Industria e Comercio Ltda. **RESINAS SINTÉTICAS PARA FUNDISAO.** São Paulo. Brasil. 1989.

- ALONSO, Arnaldo. **LAS PROPIEDADES DE FUNDICIÓN.** Ediciones UIS. Bucaramanga.1998.

- ARCHIBALD, Jim. **SAND BINDER SYSTEMS PART X— THE PHENOLIC URETHANE AMINE COLD BOX SYSTEM.** Revista Foundry Management & technology. December 1995.

- AMERICAN FOUNDRYMENT'S ASSOCIATION, **CAST METALS HANBOOK.** Chicago. 1940.

- _____, **MANUAL DE ARENAS PARA FUNDICIÓN**. 1967.

- Editions Techniques Des Industries De la Fonderie, **ALBUM DE DÉFAUTS DE FONDIERE II**. 1955

- IGUALADOR, A. **MOLDEO CON AUTOFRAGUANTES**. Revista Fundición. #230. España. Diciembre 1979.

- LASHERAS, Jose Maria Estebany ARIAS, Hector Sanvicente **PROCEDIMIENTOS DE FABRICACIÓN Y CONTROL.** 1970.

.

Tesis de grado.

- LEAL, Henry Arturo Olaya y PARDO, Luis duardo Guerrero. **MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y LLENADO DE MOLDES MEDIANTE EL USO DE SIMULACIÓN.** UIS. 1998.

Consultas en Internet.

- http://www.foseco-foundry.com/
- http://www.bordenchem.com/home.asp
- http://www.ashchem.com/
- http://www.chemweek.com/