



Republica de Cuba.

Ministerio de Educación Superior.

Instituto Superior Minero- Metalúrgico.

Dr. Antonio Núñez Jiménez.

Especialidad Metalurgia.

TRABAJO DE DIPLOMA

Evaluación de las mezclas de moldeo autofraguantes con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina.

Autor: José M. Santiesteban Ruiz

Tutores: Ing. Neury Duran Batista

Ing. Uberlandis Lafargue

Moa 2009 "Año 50 de la Revolución"



A...

*... todos esos seres que me impulsan al futuro,..
mi madre, mi esposa, Yaro, mi familia y mis amigos, también a la izquierda...
por todos ellos tengo el valor de abrir los ojos cada día y prometerme ser mejor...*



Agradecimientos

Mi agradecimiento a todos aquellos que de una u otra forma han contribuido a la realización de este trabajo, en especial a mi madre, mi esposa y resto de la familia por su apoyo incondicional, a mis tutores, Ing. Uberlandis Lafargue e Ing. Neury Duran Batista por sus oportunos aportes científicos, a mis amigos, por estar siempre, a mis compañeros de aula, a los trabajadores del Combinado Mecánico en especial a, Atilano, Geudy, Alberto, Ramón, Wuilmer, Roberto, Urrutia, Yari. Al departamento de metalurgia en especial a la Ing. Maria Victoria Rojas y a la gran obra de la Revolución de la que formamos parte como profesionales.

RESUMEN

El presente trabajo es una evaluación de las mezclas de moldeo autofraguantes con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina para determinar mediante el método experimental variantes de mezclas que garanticen buenos parámetros técnicos y económicos. Evalúa además el funcionamiento del turbomezclador y valida los resultados obtenidos en el laboratorio a escala industrial. Se determina que la mezcla que reúne los mejores parámetros técnicos económicos a escala de laboratorio tiene 12 % y 88 % de arena nueva y de retorno respectivamente, entre 2,5 y 2,7 % de resina (respecto al peso de la arena) y 30 % de catalizador (respecto al peso de la resina). El turbomezclador se encuentra trabajando a 52.6 % de su productividad en diseño y los resultados del laboratorio son validos a escala industrial si se tiene en cuenta la resistencia a la tracción, no siendo así si se considera la variación o incremento de la arena de retorno.

Palabras claves: Mezclas de moldeo autofraguantes, Arena, Resina, catalizador.

SUMMARY

The present work is an evaluation of the No bake mixtures of moulding with different proportions from sand, catalyst and draws resin from to determine by means of the experimental method variant of mixtures that guarantee good technical and economic parameters. It evaluates in addition the operation to the disturb-mixer and been worth the results obtained in the laboratory on industrial scale. We could determine that I to mixture that respectively reunites to the best economic technical parameters on scale of laboratory is 12 % and 88 % of new sand and return, between 2.5 and 2.7 % of resin (with respect to the weight of the sand) and 30 % of catalyst (with respect to the weight of the resin). The turbomezclador is working 52.6 % below its productivity in design very and the results of the laboratory are been worth on industrial scale if the tensile strenght is had in whatever, not being thus if the variation or increase of the return sand is considered.

Key words: No bake mixtures of moulding, Sand, Resin, catalyst.

INDICE

RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN.	8
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO. ESTADO DEL ARTE.	12
1.1 INTRODUCCIÓN.	12
1.2 RESINAS.	12
1.3 ARENAS DE MOLDEO.	14
1.4 CONCLUSIONES DEL CAPITULO.	17
CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO.	18
2.1. INTRODUCCIÓN	18
2.2. ARENA SÍLICE.	18
2.3. MEZCLAS DE MOLDEO.	20
2.4. MEZCLAS AUTOFRAGUANTES	20
2.4.1. Vida de banco.	21
2.4.2. Tiempo de desmodelado.	21
2.5. PROPIEDADES DE LAS RESINAS	22
2.6. DEFECTOS EN LAS PIEZAS FUNDIDAS CON LA UTILIZACIÓN DE MEZCLAS AUTOFRAGUANTES.	24
2.6.1. Rotura de machos debido a poca resistencia.	24
2.6.2. Pegado a la caja de machos.	24
2.6.3. Desarenado.	25
2.6.4. Veining.	25
2.6.5. Penetraciones.	25
2.6.6. Darts.	26
2.6.7. Gases.	26
2.7 CONCLUSIONES	27
CAPÍTULO III. METODOS Y MATERIALES.	28
3.1. INTRODUCCIÓN.	28
3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.	28
3.3. MÉTODOS DE EXPERIMENTACIÓN.	28
3.3.1. Moldeo autofraguante.	28
3.4. ANÁLISIS REALIZADOS A LAS ARENAS.	29
3.4.1. Selección y preparación de la muestra.	29
3.4.2. Determinación del pH en las arenas de sílice.	30
3.4.3. Determinación del por ciento de humedad de las arenas de sílice.	30
3.4.3.1. Equipos para determinar la humedad de las arenas.	31
3.4.3.1.1. Características técnicas de la Lámpara de Rayos Infrarrojos.	31



3.4.3.1.2. Balanza BLB-100g (Alemania)	31
3.4.4. Caracterización granulométrica de las arenas de sílice.....	32
3.4.4.1. Número de finura del grano (NF).	32
3.4.4.2. Diámetro promedio de los granos (D_{prom}).	33
3.4.4.3. Por ciento de granos retenidos en 3 o mas tamices sucesivos.	33
3.4.4.4. Superficie específica de los granos:	33
3.4.4.5. Superficie específica teórica (SET):.....	34
3.4.4.6. Superficie específica real o efectiva (SER):.....	34
3.4.4.7. Coeficiente de angulosidad (Ca).....	34
3.4.4.8. Forma del grano:	34
3.4.4.9. Equipos para determinar la granulometría de las arenas.....	35
3.4.4.9.1. Características técnicas de la tamizadora modelo 029.....	35
3.5. PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS POR EL MÉTODO AUTOFRAGUANTE CON ARENA SÍLICE.	35
3.5.1. Diseño experimental.....	35
3.5.1.1. Primera planificación	37
3.5.1.2. Segunda planificación	37
3.5.2. Procedimientos de elaboración de las mezclas de moldeo en Autofraguante.....	38
3.5.2.1. Metodología.....	38
3.5.3. Características de los equipos utilizados para determinar las propiedades de las mezclas autofraguantes.	39
3.5.3.1 Maquina mezcladora	39
3.5.3.2 Características técnicas.....	39
3.5.3.3. Permeabilidad.	39
3.5.3.3.1. Equipo para determinar la permeabilidad de las mezclas. (Permeámetro).....	40
3.5.3.3.1.1. Características técnicas.....	40
3.5.3.4. Resistencia a la tracción.....	40
3.5.3.4.1. Equipo para determinar la resistencia de las mezclas.....	40
3.5.3.4.1.1. Características técnicas.....	41
3.6. PROCEDIMIENTOS DE ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS DE MOLDEO POR EL MÉTODO AUTOFRAGUANTE REALIZADA EN EL PROCESO INDUSTRIAL.....	41
3.6.1. Características de la máquina mezcladora industrial.	41
3.6.1.1. Características técnicas	42
3.6.1.2. Principales equipos que componen el Turbomezclador.....	42
3.7 EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL TURBO-MEZCLADOR.....	43
3.7.1 Determinar el rendimiento de las bombas de resina y catalizador..	43
3.7.2 Determinar la productividad del turbomezclador.....	43
3.7.3 Validación de los resultados a escala industrial	43
3.8 CONCLUSIONES	44



CAPÍTULO IV. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS. VALORACIÓN ECONOMICA.	45
4.1 INTRODUCCIÓN	45
4.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LAS ARENAS DE RETORNO Y ARENA NUEVA.	45
4.2.1 Análisis de los resultados	46
4.3 RESULTADOS DE LAS VARIANTES DE MEZCLAS CON DIFERENTES PROPORCIONES DE ARENA, CATALIZADOR Y RESINA.	47
4.3.1 Primera planificación.	47
4.3.1.1 Análisis de los resultados	47
4.3.2 Segunda planificación	49
4.3.2.1 Análisis de los resultados	49
4.3.2.2 Análisis de la granulometría en las mezclas de moldeo	50
4.4 COMPROBACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LAS BOMBAS DE RESINA, CATALIZADOR Y LA PRODUCTIVIDAD DEL TURBOMEZCLADOR. VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO A ESCALA INDUSTRIAL.	53
4.4.1 Productividad del turbo mezclador	53
4.4.2 Rendimiento de las bombas de resina y catalizador y validación de los resultados de laboratorio a escala industrial.	53
4.4.2.1 Primera muestra del proceso	54
4.4.2.2 Segunda muestra del proceso	54
4.4.2.3 Tercera muestra del proceso	54
4.4.2.4 Cuarta muestra del proceso	55
4.4.3 Análisis de los resultados de las muestras analizadas	55
4.4.4 Validación de los resultados a escala industrial	56
4.5 VALORACIÓN ECONÓMICA	56
4.5.1 Costo de 1 Tonelada de Mezcla Autofraguante	57
4.5.1.1 Precio de los Materiales a utilizar en la elaboración de las mezclas	57
4.5.1.2 Cálculo del Gasto de de los materiales fundamentales.	57
4.5.1.3 Cálculo del Gasto de mano de obra.	58
4.5.1.4 Cálculo del Costo total.	58
4.6 CONCLUSIONES	59
CONCLUSIONES GENERALES	61
RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA.	62
ANEXOS	64
ANEXOS 1	64
ANEXO 2	69

INTRODUCCIÓN.

Mundialmente se tiende a la automatización de los procesos de fundición y específicamente el moldeo con mezclas autofraguantes. Las ventajas de este método de moldeo son apreciables, sobre todo si se comparan con el moldeo en verde. Este método nos permite obtener piezas fundidas con menor cantidad de defectos. Los moldes están constituidos esencialmente por material granular, la arena propiamente dicha y de un aglomerante que confiere a la arena la cohesión suficiente para la ejecución del molde (resina Furánica) en presencia de un catalizador o correctante, que al reaccionar con la resina y luego de transcurrido un periodo de tiempo endurece la mezcla. La arena más empleada es la sílice fundamentalmente debido a que cumple muy bien su función y tiene precios muy asequibles. El consumo de otras arenas en la fundición tales como: cromita, zirconio y olivino no representan más de 5% y únicamente tienen sentido en aplicaciones donde sea necesario afrontar problemáticas de altas temperaturas.

El consumo de aglomerantes químicos en las fundiciones ha crecido de forma notable en los últimos 50 años. Este aumento se debe a las ventajas que trae consigo la utilización de técnicas químicas de endurecimiento de arenas. Los procesos químicos de aglomeración permiten al fundidor confeccionar todo tipo de moldes y machos de arena. Actualmente existen en el mercado diferentes procesos y antes de decantarse por uno u otro proceso, el fundidor, debe contemplar las propiedades que caracterizan a cada uno de ellos:

- Productividad del proceso.
- Facilidad de preparación y de utilización de moldes.
- Poca reactividad de los aglomerantes con las impurezas presentes en la arena.
- Suficiente duración de vida de la arena preparada (Vida de banco).
- Emanaciones gaseosas no peligrosas para el ambiente de trabajo (en la preparación, en la colada, en el desmoldeo).
- Facilidad de desmodelado y limpieza de utillaje.
- Facilidad y duración en el almacenamiento de moldes.

- Suficiente permeabilidad para la evacuación de gases.
- Características mecánicas en frío.
- Posibles reacciones del molde con el metal colado.
- . Facilidad de recuperación de la arena tanto mecánica como térmicamente.
- . Ausencia de problemas medio-ambientales.

Hay que partir de la base de que los aglutinantes son un mal menor, que no tenemos más remedio que utilizar. La mayoría de ellos son productos que al quemar, producen gases y otros problemas nocivos para la limpieza. Por ello, es fundamental utilizar la menor cantidad posible de aglutinantes y catalizadores. La cantidad de aglutinante y catalizador a emplear depende de:

- Calidad de la arena: Granulometría, forma de los granos, contenido en finos y presencia de impurezas
- Tipo de aglutinante.
- De la calidad de la máquina mezcladora y de su mantenimiento.

En función de su utilización se pueden diferenciar tres grandes familias de procesos;

1. Procesos autofraguantes.
2. Procesos de curado mediante gaseo.
3. Procesos de curado por aporte de calor.

En la UEB Fundición de la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche” existen proyectos de implantar un sistema automatizado de moldeo con mezclas autofraguante, por lo que se requiere de una base experimental bien argumentada para la implantación de la misma, por ello nos hemos dado a la tarea de conformar dicha base experimental, tomando los rangos máximos y mínimos de los componentes de dicha mezclas según la experiencia de trabajo y los experimentos anteriores realizados al respecto en otros trabajos.

Por lo antes expuesto se plantea en nuestro trabajo:

Situación Problemática: En la UEB Fundición de la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche” no se cuenta con experiencia de trabajo o datos experimentales que asegure el buen funcionamiento del turbo mezclador para la obtención de mezclas de moldeo autofraguantes, que garanticen buenos resultados de vida de banco, tiempo de desmodelado y resistencia a la tracción.

Problema: Mezclas de moldeo autofraguantes con bajas propiedades tales como: vida de banco, tiempo de desmodelado y resistencia a la tracción.

Objeto de estudio: Variantes de mezclas con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina.

Objetivo general: Obtener variantes de mezclas de moldeo autofraguante con resina Furánica y catalizador ácido que garanticen buenos resultados: vida de banco, tiempo de desmodelado y resistencia a la tracción.

Objetivos específicos:

1. Evaluar el funcionamiento del turbo-mezclador.
2. Obtener y evaluar las variantes de mezclas con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina a escala de laboratorio.
3. Evaluar las mezclas obtenidas a escala industrial.

Hipótesis: Si se obtienen mezclas de moldeo autofraguante con resina Furánica y catalizador ácido que garanticen buenos resultados de vida de banco, tiempo de desmodelado y resistencia a la tracción se logran buenos índices técnico económicos en la UEB Fundición de la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche”.



Campo de acción: Mezclas de moldeo autofraguante con resina Furánica y catalizador ácido.

Tareas de la Investigación:

1. Búsqueda bibliográfica y establecimiento del Estado del Arte.
2. Análisis granulométrico de las arenas de retorno y arena nueva.
3. Diseño de variantes de mezclas con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina con buenos resultados de vida de banco, tiempo de desmodelado y resistencia a la tracción.
4. comprobar el rendimiento de las bombas de resina y catalizador y la productividad del turbomezclador.
5. Validar los resultados a escala industrial.
6. Análisis y discusión de resultados.

CAPITULO I. MARCO TEÓRICO. ESTADO DEL ARTE.

1.1 INTRODUCCIÓN.

Desde los años 7000 – 4000 a.n.e. se estima que el hombre tuvo sus primeros contactos con metales en estado natural, como fueron el oro, la plata y el cobre; sin embargo el arte de producir piezas fundidas ha ido evolucionando con el decursar de los años, hasta llegar a ser una técnica muy difundida, pero que aún el hombre no conoce con toda la precisión necesaria, y con esto han ido desarrollándose los métodos de piezas fundidas.

La imagen tradicional de un área de moldeo o de producción de machos está relacionada con la presencia de una estufa, ya que los materiales aglutinantes que estaban relacionados con el desarrollo inicial de la industria de fundición (arcilla, aceite de linaza, melaza, etc.) requieren de calor para desarrollar su plena capacidad aglutinante. Esta situación se alteró por primera vez a partir de 1929, cuando se introdujeron en la producción las primeras resinas de tipo termoestables, en específico las resinas fenólicas que son utilizadas para la producción de piezas de acero bajo carbono, por ser libres de nitrógeno. Como inconveniente tienen, que hay que secarlas para alcanzar en los machos la resistencia necesaria (Salcines, 1985)

1.2 RESINAS.

En 1942 se desarrollo un nuevo tipo de resina, cuyo ciclo de fraguado era mucho menor que el de las resinas fenólicas. Estas resinas se obtuvieron de la condensación de urea y del formaldehído y se conocen como resinas ureicas. Su ciclo de fraguado resultó ser tan rápido, producto de la alta reactividad al calor, que se estimó más beneficioso hacerlo mediante una corriente eléctrica de alta frecuencia en lugar de una estufa, originándose así los llamados hornos túneles, esto se consideró en su época lo más adelantado en la producción de machos, a pesar del adelanto del nuevo aglutinante, todavía era necesario el empleo de equipamiento relativamente complejo como el caso del túnel, pues las mezclas no eran capaces de autoendurecerse.

Trabajo de diploma en opción de Ing. Metalúrgico (2009) José M. Santiesteban Ruiz 12
“Evaluación de las mezclas de moldeo autofraguantes con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina.”

En 1972 aparece en Polonia el proceso *Syn – Core*. En el mismo el endurecimiento se produce mediante el paso de aire a través de la mezcla, a base de una resina sin nitrógeno ni humedad.

El proceso de *Resina Furánica – SO₂* es un proceso de caja fría en el cual la Resina Furánica de alta reactividad y elevado contenido de alcohol furfúrico (65 - 75 %), reacciona con una corriente de SO₂, en presencia de un agente oxidante.

La sociedad de fundidores americanos (AFS) en su Congreso LXXIV presentó un proceso intermedio entre el proceso de caja caliente (Hot – Box) y caja fría (Cold – Box) denominado proceso de *caja templada* (Warm – Box); consistente en la reacción de una resina fenólica o furánica con un catalizador. La caja no se calienta, sino que se hace pasar a través de la mezcla una corriente de aire de 150 – 220 °C durante 20 segundos, la cual produce el endurecimiento.

Las mezclas de fraguado en frío con aglutinantes orgánicos fueron utilizadas por primera vez en fundición en el año 1929, considerándose factores determinantes en nuestros días y en el desarrollo futuro de esta forma de producción. Por ejemplo con este proceso hoy pueden obtenerse machos desde algunos gramos de peso de configuraciones complejas hasta machos y moldes de varias toneladas de peso.

Realmente las primeras formas de endurecimiento en frío, con el uso de aglutinantes inorgánicos se aplicaron en la década de 1950, con el desarrollo de las mezclas con *silicato de sodio* (vidrio líquido) *sopladas con CO₂*, pero como desventaja tienen el difícil desarenado.

El proceso conocido como sistema de *fraguado ácido* está formado por un grupo de resinas que endurecen mediante un proceso de policondensación en presencia de ácidos y catalizadores y constituyen el conjunto de resinas más empleadas para la producción de moldes y machos en los talleres de fundición de todos los países que emplean resinas sintéticas.

En nuestro país este proceso no se ha difundido aunque se han hecho intentos de aplicación a escala industrial en algunas fundiciones como en Planta Mecánica en

Villa Clara, en Fundición de Hierro Gris en Guantánamo y AcerCuba en Ciudad de La Habana.

En la actualidad este sistema se aplica mundialmente, aunque no está muy difundido, se divide en dos grupos: el sistema de fraguado ácido y el sistema uretano o poliuretano. Según Salcines, M.C; 1985 el sistema de fraguado ácido está formado por un grupo de resinas que endurecen mediante un proceso de policondensación en presencia de ácidos catalizadores. Está representada por las resinas Fenol – Formaldehído, Fenol – Formaldehído – Furánica, Fenol – Furánica, Urea – Formaldehído, Urea – Formaldehído – Furánica, Fenol – Urea – Formaldehído, Furánica y Furano – Formaldehído. Este grupo constituye el conjunto de resinas más empleada en la producción de moldes y machos, en los talleres de fundición de todos los países que emplean resinas sintéticas. Se considera que en este grupo se concentra el 90 % de la producción de resinas sintéticas para fundición.

La Asociación de Fundidores del País Vasco y de Navarra, 2000, investigaron el uso de la resina furánica aplicadas a los moldes autofraguantes, dan a conocer algunas de las propiedades de la resina (fragilidad, tiempo de endurecimiento, resistencia, etc.), además de recomendaciones para su utilización.

Las firmas División de Burmach Castrol Chemical S.A y Prosider, suministradoras de las resinas y catalizadores para moldeo Autofraguantes recomienda el uso de este tipo de moldeo en la obtención de cualquier tipo de acero, brinda el procedimiento de su preparación y las condiciones extremas de los materiales durante su uso en el moldeo.

La empresa **Auxiliar Industrial S.A. Ilarduya** nos brinda información técnica sobre el empleo de aglomerantes químicos para arenas. Hace una comparación entre los diferentes tipos de aglomerantes empleados en el moldeo autofraguante.

1.3 ARENAS DE MOLDEO.

J.M. Navarro; 1962 realiza un estudio detallado de las características de las arenas de moldeo más usadas como materias primas en los procesos de

Trabajo de diploma en opción de Ing. Metalúrgico (2009) José M. Santiesteban Ruiz 14
“Evaluación de las mezclas de moldeo autofraguantes con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina.”



fundición, así como su composición, estructura, propiedades físico – mecánicas y capacidad de cambio. Hasta 1927 no se había empezado a prestar atención a la influencia de las características básicas de las arenas de moldeo. En este año Moldenke, definiendo lo que consideraba una arena perfecta, declaraba que las arenas de moldeo ideales deben consistir en una arena que tuviese todos los granos de tamaño uniformes y redondos, ya que los materiales finos obturan los espacios entre los granos, reduciendo así la permeabilidad.

Vemos como primera ventaja aparente emplear arenas uniformes, la de obtener permeabilidades superiores; sin embargo, la obtención de mayores permeabilidades con arenas uniformes comunica al molde una baja densidad aparente; no obstante estas arenas poco densas y muy abiertas, se secan superficialmente muy rápido, lo que hace que los moldes sean muy difíciles de reparar en el caso que salgan algunas partes defectuosas, además de esto ser perjudicial para el acabado superficial, esta baja densidad produce asperezas en las superficies de las piezas fundidas.

En los experimentos efectuados por J.M. Navarro; 1962 en sus investigaciones encontró que se obtuvieron permeabilidades semejantes con arenas de un solo tamiz y con arenas de diversos tamices, aunque su densidad sea muy distinta, mostrando uniformes la más baja densidad aparente. La explicación de este fenómeno puede residir en el hecho de que la permeabilidad no depende, en términos generales del por ciento de la porosidad que presenta el aglomerado, sino del tamaño de los poros.

Para corroborar esto C. Ludwig, 1965, a través de sus experimentos demuestra que las mezclas formadas por los granos uniformes pueden dividirse fácilmente por planos de deslizamientos simétricos bien definidos, mientras que las formadas por granos de diferentes tamaños y mezclados al azar resisten la división, porque los hábitos no simétricos de agregación interrumpen o bloquean los planos de deslizamiento. Los comportamientos de estos agregados bajo presión también son diferentes; así en los agregados que predomina un solo tamaño, se resuelve bajo *Trabajo de diploma en opción de Ing. Metalúrgico (2009) José M. Santiesteban Ruiz 15*
"Evaluación de las mezclas de moldeo autofraguantes con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina."

presión en una estructura interconectada rígida, que no sufre fácilmente ninguna deformación de compresión o de moldeo. Por otra parte el agregado en que predominan diferentes tamaños con sus componentes de fuerza en forma serpentinada es inestable bajo compresión. Este agregado es plástico y puede apretarse cambiando con otros subgrupos diferentes para formar un agregado mayor.

(Salcines, 1985), da a conocer las características y propiedades de los diferentes materiales que forman la mezcla de moldeo autofraguente.

Las características fundamentales de las arenas de moldeo más utilizadas en la industria de la fundición (sílice, cromita, circonio, olivino), se describen en el trabajo realizado por Larrañaga y Armazabal, 2000, se realizan comparaciones entre sus principales propiedades (dureza, densidad, temperatura de fusión y dilatación lineal), se analizan además las características de los materiales auxiliares para preparar las mezclas de moldeo., describen

En un estudio realizado por (Oliveros, 2002), caracteriza desde el punto de vista físico – mecánico las arenas Sílice, Olivino y Cromita, determina los parámetros y propiedades de las mezclas autofraguantes y evaluar la factibilidad económica del uso de las mezclas autofraguantes, utilizando las arenas cubanas ya mencionadas

En su trabajo de diploma Alexander Rodríguez Guerrero realiza varios experimentos con la arena sílice en el moldeo autofraguante, y evaluar las mezclas que se preparan de arena sílice para obtener las piezas de acero al manganeso obteniendo a escala de laboratorio mezclas de arena sílice con las propiedades requeridas según Normas cubanas NEIB 03-05-14 para obtener piezas sanas de acero al manganeso. Es decir los objetivos de su trabajo no estaban encaminados a hacer toda una investigación variando las proporciones de los componentes de la mezcla de moldeo autofraguante.

En una investigación desarrollada por el departamento técnico de la UEB de fundición en el 2003, para comprobar el estado de las mezclas los resultados no fueron satisfactorios, debido a que la resistencia a la tracción fue muy baja, *Trabajo de diploma en opción de Ing. Metalúrgico (2009) José M. Santiesteban Ruiz 16*
"Evaluación de las mezclas de moldeo autofraguantes con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina."



además se pudo apreciar a simple vista que las probetas analizadas no eran de buena apariencia. Las mezclas presentaron una vida de banco muy corta, se recomendó realizar pruebas variando los % de resina y catalizador.

1.4 CONCLUSIONES DEL CAPITULO.

Podemos concluir diciendo según lo antes expuesto que:

1. El empleo del método de moldeo con resina Furánica es uno de los más empleados en todo el mundo, gracias a sus ventajas.
2. Es necesario conocer las características de las arenas con que se trabaja ya que tienen gran influencia en las mezclas de moldeo.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO.

2.1. INTRODUCCIÓN

Las arenas de molde son rocas sedimentarias, creadas como resultado de una sucesiva separación de sustancias minerales, como también por la meteorización de los sedimentos de diversas soluciones naturales.

La definición del término “arena” se emplea para clasificar un mineral (en este caso sílice) de granos sueltos cuyo tamaño oscila desde 0.02 mm a 2 mm.

Por la complejidad que representa la producción de una pieza implica la necesidad de controlar rigurosamente todas las etapas del proceso de elaboración de la misma. El molde y los machos, así como los materiales que intervienen en su elaboración, tienen un peso en particular en cuanto a la calidad del producto fundido. Esto obliga a un control riguroso de los materiales y mezclas empleados en la elaboración de moldes y machos.

2.2. ARENA SÍLICE.

Las arenas de Sílice provienen de la desintegración paulatina de las rocas de granito. Estas son formaciones cristalinas de Cuarzo o Sílice, junto con los minerales mica y feldespato, porción esta que conforma la llamada arcilla. El feldespato es un aluminio – silicato, el cual aparece en ocasiones con porciones de hierro y su fórmula química es $\text{Fe}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)_3$. Esta diversidad de constituyentes es la que imparte a la arena su coloración, la cual puede ser roja, marrón, amarilla, blanca, etcétera. La explotación de los depósitos de arena y arcilla se realiza a cielo abierto.

Bajo el punto de vista estructural la sílice está formada por la reunión de tetraedros de caras equiláteras, con O en cada vértice y Si en el centro, por consiguiente, de fórmula SiO_4 . Pero ellos están enlazados conforme una arista y todos los O son comunes a 2 tetraedros, lo que se transforma en la fórmula SiO_2 .

El término arena se refiere, según A.F.S. (1952) a un mineral o mezcla de minerales en granos de tamaño variable de 0,063 hasta 2 mm. (240 a 8 mallas) en diámetro. Por lo tanto, la arena no es solamente arena de sílice sino que la *Trabajo de diploma en opción de Ing. Metalúrgico (2009) José M. Santiesteban Ruiz* 18
“Evaluación de las mezclas de molde autofraguantes con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina.”



definición sirve también a otro tipo de arenas; por ejemplo, zirconio, cromita y olivino, muy usadas por los fundidores de acero.

El término “arena de sílice” describe un producto que consiste esencialmente del material cuarzo (sílice) y es utilizado principalmente en la práctica de moldeo y ejecución de machos, así como en la fabricación de vidrio.

La sílice es el material más utilizado en la fundición por las siguientes razones:

- Existe en abundancia en numerosos lugares.
- Es relativamente bajo el costo de producción.
- Está disponible en cualquier tamaño y distribución del grano.
- Posee alta dureza y suficiente resistencia a la abrasión.
- Posee alta compactación con todos los tipos de aglutinantes y aglomerantes empleados en la fundición.
- Consistencia en la pureza, propiedades y conducta en la fundición.
- Alta resistencia al calor y generalmente adecuada resistencia al acero fundido.
- Resultados satisfactorios cuando se producen piezas de hierro laminar, nodular e incluso muchos tipos de piezas fundidas de acero.

La arena sílice constituye más del 85% de los moldes compactados por medios físicos y alrededor del 98% de los moldes y machos químicos. La consecuencia, de un buen molde o macho requiere en gran medida del empleo de una arena correcta. Además de la arena de sílice se utilizan otras arenas para la confección de moldes y machos, destacan la arena de olivino, la arena de zirconio y la arena de cromita.

En la tabla 2.1 se muestran las arenas que mayormente se emplean en la industria de la fundición, como podemos ver la arena sílice es una de las mas usadas debido a su bajo costo, además de ser de producción nacional, y tener alta temperatura de fusión, las otras arenas solo se emplean cuando es necesario afrontar un problema de altas temperaturas. El hecho de que la arena sílice sea ácida también nos permite el trabajo con resina Furánica y catalizador ácido

Tabla 2.1 arenas para mezclas de moldeo

ARENAS	SİLICE	OLIVINO	CIRCONIO	CROMITA
COMPOSICIÓN	SiO ₂	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄	ZrSiO ₄	FeO-Cr ₂ O ₃
COSTE	Bajo	Medio	Alto	Alto
DILATACIÓN A 900 °C	1.5%	0.9%	0.4%	0.7%
DIFUSIVIUDAD TÉRMICA	Baja	Baja	Elevada	Elevada
PUNTO DE FUSIÓN °C	1700	1700	2500	2100
DENSIDAD (Kg/litro)	2.65	3.25	4.6	4.4
DENSIDAD APARENTE	1.5 - 1.6	1.9-2.0	2.7-2.9	2.5-2.7
MOJAVILIDAD	Posible	Posible	Difícil	No moja
PH ALTA TEMPERATURA	Ácido	Básico	Algo ácido	Básico

2.3. MEZCLAS DE MOLDEO.

Una mezcla de moldeo, en su forma más simple, es la unión de diferentes materiales capaces de producir un material de construcción con el cual se pueda elaborar el molde, o sea, la cavidad en la que se ha de verter la aleación para obtener la pieza fundida. Los ingredientes básicos de las mezclas son: las arenas de moldeo, el aglutinante, que es el encargado de unir fuertemente los granos de la arena entre si y un agente activante de la aglutinación, que en la mayoría de los casos es el agua.

Las mezclas deben reunir una serie de propiedades, entre las cuales, las principales propiedades físicas son: la penetrabilidad a los gases, la resistencia a la tracción y la compresión, la plasticidad, refractariedad, etc., que desempeñan un papel primordial para la obtención de piezas de buena calidad. La granulometría, dimensiones y forma de los granos de las arenas nuevas también influyen mucho en el buen acabado de las piezas fundidas.

2.4. MEZCLAS AUTOFRAGUANTES

Consiste en una mezcla de arena, aglomerantes (resina y catalizador) endurece pasado el tiempo a temperatura ambiente. Estos procesos se utilizan para la obtención de moldes y machos de cualquier volumen y peso.

La resistencia del molde o macho viene determinada por el tipo de aglomerante utilizado. Los catalizadores tienen la importante función de acelerar las velocidades de polimerización. Dependiendo del tipo de catalizador, tendremos un endurecimiento de los moldes más o menos rápido. La temperatura de la arena, del molde y la temperatura ambiente actúan de sinérgica con el catalizador. Los parámetros que definen estas velocidades de endurecimiento en la fundición son la **vida de banco** y el **tiempo de desmodelado**.

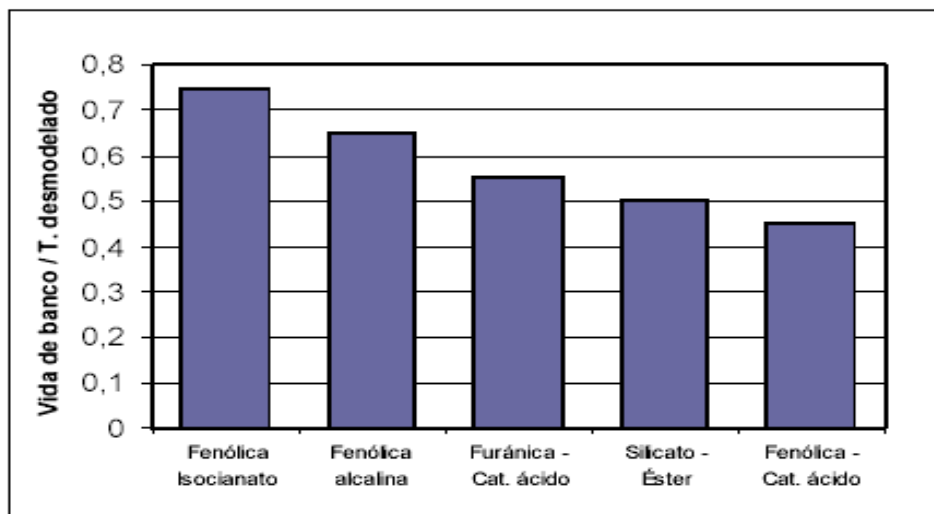
2.4.1. Vida de banco: Todos los procesos de endurecimiento tienen un tiempo de iniciación, el cual proporciona el tiempo para poder atacar y acondicionar los moldes (colocación de armaduras, enfriadores, etc.) hasta que, la arena va endureciendo, pierde el estado plástico y es imposible seguir trabajando con ella. Al tiempo que nos permite poder trabajar con estas mezclas de arena – aglomerante – catalizador, se le denomina vida de banco. Una vez pasado este tiempo se dice que la arena esta pasada y con ellas se obtienen moldes de poca resistencia que acarrearán problemas de arrastres y penetración.

2.4.2. Tiempo de desmodelado: Una vez que ha finalizado la vida de banco, es preferible que la mezcla de arena gane resistencia rápidamente. Cuánto más rápido gane resistencia, más rápidamente podrán ser desmoldeados los moldes y más rápido podrán ser utilizados las cajas y modelos para una nueva operación.

Nota: Cuanto mayor sea la relación (Vida de banco/Tiempo de desmodelado), mayor producción se conseguirá con el mismo utillaje y, se consiguen además moldes más compactos que dan lugar a menos problemas de penetraciones.

Como podemos ver en la **Tabla 2.2.** la resina Furánica Cat. ácido se encuentra en los valores promedio, esto nos permite mayor maniobrabilidad a la hora del desmodelado, podemos considerar lo antes mencionado como una ventaja mas del empleo de la resina Furánica Cat. ácido.

Tabla 2.2. Vida de banco contra tiempo de desmodelado de las diferentes resinas.



2.5. PROPIEDADES DE LAS RESINAS

Los procesos autofraguantes más utilizados en la actualidad son:

Tabla 2.3 Procesos autofraguantes más utilizados

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	GAMA DE RESINAS
Fenólica - Catalizador ácido	SINOTERM
Fenólica – Isocianato - Catalizador	RESINRAP
Fenólica alcalina - Éster	SINOTERM (NS)
Furánica-Catalizador ácido	SINOTERM (TN, K)
Silicato - Éster	KOLDEX - SIDUR

Tabla 2.4 Características de las resinas para moldes y machos

CARACTERISTICAS	Fenólica Cat. ácido	Fenólica Isosianato	Fenólica Alcalina	Furánica Cat. ácido	Silicato Éster
% Resina	1-1.7	0.6-1.2	1.4-2	0.8-1.5	3-4
Tipo de catalizador	A. Sulfónicos	Derivados piridina	Esteres	A. Sulfónicos A. Fosfóricos	Esteres
% de catalizador sobre peso de resina	40-70	2-10	20-25	30-60	12-15
Facilidad de atacado	Regular	Muy buena	regular	Muy buena	Mala
Tiempo de desmodelado	15-250	1.5-40	10-240	10-180	10-240
Facilidad en el desmodelado	Mala	Muy buena	Muy buena	Muy buena	Mala
Productividad	Regular	Muy buena	Buena	Regular*	Regular
% Nitrógeno	0	3-5	0	0-10	0
Resistencia con arena nueva	Muy buena	Muy buena	Regular	regular	Muy buena
Desarenado	Regular	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Malo
Recuperación	Muy bueno	Muy bueno	Difícil	Muy bueno	Difícil o
Resistencia con arena recuperada	Muy bueno	Muy bueno	Mala	Muy bueno	regular

* Cuando se emplea arena recuperada aumenta considerablemente

En la **Tabla 2.4** la mayoría de las características son favorables para el empleo de resina Furánica Cat. ácido, en el caso de la productividad que se expresa como regular, es algo que mejora como dice la nota a pie de tabla ya que en nuestro taller se emplea arena recuperada.

Tabla 2.5 Características en las piezas fundidas para las diferentes resinas.

CARACTERISTICAS	Fenólica Cat. ácido	Fenólica Isosianato	Fenólica Alcalina	Furánica Cat. ácido	Silicato Éster
Aspecto superficial	R	B	MB	B	R
penetraciones	R	R	B	MB*	B
Arrastres de arenas	B	B	B	MB	MB
Veining	R	M	MB	R	MB
Desnodulización	M a B**	MB	MB	M a B**	MB
Gas	M a B***	MB	MB	M a B***	MB
Rechupe	MB	MB	M	MB	R

MB Muy buena, B Buena, R Regular, M Mala; M a B Mala a buena

- *con alto contenido de alcohol furfurílico.
- **dependiendo de los catalizadores y de los contenidos de agua.

Trabajo de diploma en opción de Ing. Metalúrgico (2009) José M. Santiesteban Ruiz 23
“Evaluación de las mezclas de moldeo autofraguantes con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina.”

- ***dependiendo de los catalizadores a utilizar.

En la **Tabla 2.5** podemos ver como la característica que mas puede desfavorecer el empleo de la resina Furánica es el defecto Veinig que es un defecto de expansión, normalmente son grietas pequeñas. Se ha comprobado que cuando las mezclas de moldeo con resina Furánica y catalizador ácido presentan a las 24 h mas de 3 kgf/cm² de resistencia a la tracción este defecto se reduce considerablemente, por lo que en nuestro trabajo necesitamos encontrar mezclas que transcurrido dicho periodo de tiempo presenten valores superiores de resistencia la tracción de 3 kgf/cm².

2.6. DEFECTOS EN LAS PIEZAS FUNDIDAS CON LA UTILIZACIÓN DE MEZCLAS AUTOFRAGUANTES.

2.6.1. Rotura de machos debido a poca resistencia.

La poca resistencia de los machos puede tener origen en la calidad de la arena (impurezas, contenido en finos), en los filtros (obstruidos, gastados, rotos, mal posicionados, etc..) y en algunos procesos los cambios de temperatura pueden ser también origen de machos poco resistentes. La viscosidad de una resina depende de la temperatura a la que se encuentre. Esta propiedad hace que el régimen de funcionamiento de las bombas dependa de la temperatura de la resina.

2.6.2. Pegado a la caja de machos.

Todos los procesos tienen mayor o menor tendencia al pegado en la caja de machos. La tendencia al pegado es mayor con machos de alta resistencia, el efecto es notorio cuándo se utiliza mucho aglomerante. La tendencia al pegado es mayor cuando se confeccionan machos complicados y es necesario en estos casos limpiar la caja cada cierto número de disparos y aplicar sobre ella un desmoldeante adecuado al proceso utilizado.

2.6.3. Desarenado.

El desarenado es la cualidad que permite la fácil extracción del macho tras la solidificación de la pieza fundida. La facilidad de desarenado es una cualidad muy importante que deben tener los machos ya que está relacionada con la productividad y la reutilización de la arena.

2.6.4. Veining.

Es un defecto de expansión, normalmente son grietas pequeñas. La mayoría de las veces se presenta en ángulos vivos de los machos. La aparición de este defecto crea rugosidad en las cavidades. En piezas como turbinas, compresores, válvulas y colectores. Estas rugosidades pueden crear un flujo turbulento del fluido que pasa por ellos, que hace caer el rendimiento mecánico de las máquinas donde están incorporadas.

Una excesiva densidad del macho, crea el riesgo de este tipo de defecto. Una alta presión de la máquina disparadora o la utilización de arenas redondas crean machos más densos. Los métodos anti-veining más utilizados para minimizar o evitar este defectos es la adición a la arena de sílice de 1 a 3% de óxido de hierro, la adición de 1 a 3% de hulla granulada, la adición de productos que combinan diferentes óxidos o la utilización de pinturas refractarias especialmente diseñadas para ello.

2.6.5. Penetraciones.

La penetración del metal líquido en moldes y machos depende principalmente de la presión metalostática a la que estén sometidos, no obstante también tienen gran importancia los siguientes factores:

- Granulometría de la arena: Cuanto más fina, menos penetraciones.
- Densidad del macho: Cuando la densidad disminuye se corre el riesgo de penetraciones.
- El problema se incrementa también con metal líquido oxidado, dado que son más fluidos.

Trabajo de diploma en opción de Ing. Metalúrgico (2009) José M. Santiesteban Ruiz 25
“Evaluación de las mezclas de moldeo autofraguantes con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina.”

2.6.6. Dartas.

Aunque no sea algo común, los machos que han sido pintados con una pintura al agua, pueden presentar una zona de condensación de agua como consecuencia del mal secado del macho. La resistencia a la tracción en la zona húmeda (Wet Tensile Strenght) es muy baja y en consecuencia una capa de arena salta. También puede ocurrir que aparezcan Dartas por poca permeabilidad. La alta presión de gas en la interfase metal/molde hace saltar una capa de arena.

Como ya se ha comentado antes la arena nueva se incorpora la circuito de arena en verde en forma de machos, los procesos que llevan componentes inorgánicos como el Slicato-CO₂ y el Fenólico-Éster incorporan Na y K a la arena lo que hace bajar la resistencia de la capa húmeda.

2.6.7. Gases.

Sopladuras: Gas encerrado por causas mecánicas. Depende de los gases que se desprenden del molde, y de cuando se desprenden. En general, no hay problemas cuando el gas se desprende rápidamente, antes de comenzar la solidificación de la pieza. Cuando la permeabilidad del molde es baja aumenta el riesgo de aparición de sopladuras. Aún con moldes y pinturas permeables, si existen sopladuras, hay que colocar vientos. Una de las posibles soluciones es el hacer un taladro no pasante en las portadas.

Poros: Vienen del gas disuelto en el caldo. La presencia de poros es notoria cuando se obtiene “piel de naranja” en las superficies de las piezas fundidas. Muchas veces sólo se conoce su presencia después de maquinar la pieza. Los gases causantes de poros son el Hidrógeno y el Nitrógeno. La disolución de Nitrógeno en el caldo puede venir de:

- Carga del horno: Las cargas muy aceradas suben el %N en el metal liquido. Los carburantes como el Cok de petróleo, el grafito, el Fe-Si 75 % y el carburo de silicio pueden ser los causantes de ello.
- Contenido excesivo de oxígeno en el baño; el carbono se combina con el oxígeno desprendiéndose CO.

Trabajo de diploma en opción de Ing. Metalúrgico (2009) José M. Santiesteban Ruiz 26
“ Evaluación de las mezclas de moldeo autofraguantes con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina.”



- Contenido elevado de elementos con gran afinidad por el oxígeno como el aluminio y el titanio; estos elementos crean hidrógeno naciente al combinarse con la humedad de los refractarios o con la humedad de los moldes realizados en verde, sobre todo cuando el agua en los moldes no está homogéneamente distribuida.

Para combatir el efecto se suele utilizar hasta un 3 % de óxido de hierro. También se suele utilizar de 0,05 a 0,1% de inhibidores de titanio.

2.7 CONCLUSIONES

Podemos decir que:

1. La mejor arena para el moldeo es la arena Sílice por su bajo costo y alta eficiencia técnica.
2. Después de analizar las resinas, la de mejores ventajas es la resina Furánica Cat. ácido.
3. La poca resistencia a la tracción provoca defectos como el Veining, entre otros, en los moldes y machos.

CAPÍTULO III. METODOS Y MATERIALES.

3.1. INTRODUCCIÓN.

La arena en este caso, sílice, es el material fundamental en el moldeo para la fundición, en el proceso que analizamos, la tenemos en dos variantes, cuando es nueva y cuando es de retorno del proceso, por lo que se hace necesario determinar las propiedades granulométricas de cada una de las arenas ya que juegan un papel importante en la calidad de las piezas, además de otras pruebas como PH, humedad etc.

3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.

Para el desarrollo del presente trabajo se emplearon los siguientes métodos de investigación:

1. Método de investigación documental o bibliográfica para la sistematización del conjunto de conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.
2. Método de investigación experimental para obtener y caracterizar el objeto de estudio y sus principales regularidades.

3.3. MÉTODOS DE EXPERIMENTACIÓN.

3.3.1. Moldeo autofraguante.

Para conocer las proporciones fue necesario analizar a escala de laboratorio según las firmas División de Burmach Castrol Chemical S.A y Prosider las características de vida de banco (V/B), tiempo de desmodelado (T/D), resistencia a la tracción y permeabilidad por el método de moldeo Autofraguante utilizando arena sílice, parámetros requeridos en las mezclas de moldeo para la fundición de piezas, Los análisis se realizaron en el Laboratorio químico de la UEB de Fundición de la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche”.

Para la caracterización de las arenas sílice se utilizó la arena de los yacimientos de Casilda (Sancti Spíritus), las muestras fueron tomadas en los depósitos de



arena de la UEB Fundición en la EMNi y se utilizó el método de cuarteo por el cono, que consiste en:

El lanzamiento del cono consiste en que el material, mediante una pala, se echa en el vértice de un montón que adquiere forma de cono, y se distribuye uniformemente por todos sus lados. El restante se barre minuciosamente y también se arroja en el vértice del cono. Después de esto se coloca una tabla delgada de madera y se introduce a presión en el material aproximadamente a una profundidad equivalente al ancho de la tabla. Luego, conservando la posición de la tabla paralela a la posición inicial, y por tanto, a la base, dicha tabla se desplaza a un lado. Con esto el material arrastrado por la tabla se distribuirá por la superficie lateral de la mitad del cono. Después la tabla en la misma posición, se mueve en dirección contraria y se desplaza la segunda mitad del material desde el vértice del cono hacia la superficie lateral de la otra mitad del cono truncado. Más tarde esta posición de la tabla se cambia en 90° . La operación de nivelación se repite hasta que se obtenga una capa de material cómoda para el cuarteo, la cual debe ser no mayor de 100 a 150 mm y tener un diámetro no menor que las mayores partículas del material.

Se puede nivelar el cono con una pala, desplazando gradualmente el material desde el eje del mismo, por los radios a la periferia.

El cuarteo se realiza después de nivelar el montón: con la arista de esa misma tabla, en la capa del material se hacen dos surcos mutuamente perpendiculares, los cuales se cruzan en proyección del vértice, así el montón se divide en cuatro partes. Posteriormente dos cuartos opuestos se unen siendo estos la mitad de la muestra. Una mitad de ésta se desecha, y con la otra, se repiten las operaciones de lanzamiento en el cono y cuarteo. La operación se realiza hasta dejar aproximadamente un kilogramo de arena. Según (Mitrofánov; 1982)

3.4. ANÁLISIS REALIZADOS A LAS ARENAS.

3.4.1. Selección y preparación de la muestra.

El material que se utilizó en la realización de los experimentos fue tomado en los depósitos de arenas de la UEB de Fundición como se describe anteriormente por *Trabajo de diploma en opción de Ing. Metalúrgico (2009) José M. Santiesteban Ruiz* 29 “Evaluación de las mezclas de moldeo autofraguantes con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina.”

el método del cono. Aquí se tomó un Kg. de arena, Según (Mitrofánov; 1982) suficiente para conformar las muestras representativas, estos materiales fueron transportados hasta el laboratorio de la UEB de Fundición.

3.4.2. Determinación del pH en las arenas de sílice.

El pH es necesario determinar a las muestras para conocer el grado de acidez o la basicidad que presentan las arenas. Para determinar el pH se usó un Potenciómetro de fabricación soviética graduado de -1 a 19 , el cual cuenta con un milivoltímetro de $0 - 100$ mv,

Procedimiento:

- Vaciar aproximadamente 150 mL en el vaso de precipitado de 250 mL.
- Ajustar la Temperatura de la muestra a 25°C .
- Determinar directamente en el potenciómetro el valor del pH.

Material:

- Potenciómetro.
- Termómetro escala 20°C a 50°C .
- Vaso de precipitado de 250 mL.

Condiciones de trabajo.

Trabaja con una temperatura igual a 20°C .

La humedad relativa es de 90 %.

3.4.3. Determinación del por ciento de humedad de las arenas de sílice.

Para la determinación de este parámetro se utilizó un secador de fabricación soviética modelo 062 – M por el método acelerado, en un tiempo de 6 minutos. Este parámetro es de gran importancia controlarlo ya que si las arenas tienen un valor $> 3.5\%$ de humedad, traería consigo la disminución de las propiedades de las mezclas.

Se pesaron 3 muestras de 10 g cada una y se secaron en la secadora durante 6 minutos, luego fueron pesadas nuevamente.

Se utilizó la ecuación:

$$\% \text{ humedad} = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} * 100$$

Donde:

P₁: peso de la muestra (g).

P₂: peso de la muestra después de secada (g).

3.4.3.1. Equipos para determinar la humedad de las arenas.

Para determinar la humedad de las arenas estudiadas se utilizó una Lámpara de Rayos Infrarrojos, (ver anexo 2 figura No 1) y la Balanza BLB-100g.

El equipo modelo 062-M se utiliza para secar la muestra de los materiales de moldeo con determinada humedad por el método acelerado.

3.4.3.1.1. Características técnicas de la Lámpara de Rayos Infrarrojos.

- Tipo de equipo de lámpara modelo 062-M.
- Tipo de energía recibida eléctrica de 220 (V)
- Potencia de las lámparas de adhesión técnica 500 (W)
- Tiempo de permanencia automática (máximo) hasta 6 (min.)
- Potencia del micro electromotor 15 (W)
- Distancia entre la masa y la lámpara regulada.
- Dimensiones exteriores del equipo L 300, A 210, H 480 (mm)
- Masa del equipo < 6.5 (kg.)

3.4.3.1.2. Balanza BLB-100g (Alemania)

Principales características.

- Rango de medición, g 100.
- Valor de una división de la escala, mg 0.1.

- Tensión de alimentación, V 220.

3.4.4. Caracterización granulométrica de las arenas de sílice.

Existen varios métodos de clasificación de las arenas de moldeo, no obstante, los de más amplia difusión hasta el momento, lo constituyen: el sistema de clasificación de la sociedad de fundidores americanos AFS y el sistema soviético, establecido inicialmente por el GOST 2138 – 58 y modificado posteriormente por el GOST 2138 – 74, el alemán DIN 4190, el inglés BSI 410 – 31, Normas cubanas NEIB 03-05-14 y la serie Fischer.

Los ensayos se realizaron en el taller de fundición de la Empresa Mecánica del Níquel en Moa, para su posterior utilización como arenas de moldeo en mezclas autofraguantes, basados en el sistema de clasificación de la sociedad de fundidores americanos (AFS) establecida para estos tipos de materiales de moldeo. Se utilizó la tamizadora. Anexo 2 Fig. 5.

3.4.4.1. Número de finura del grano (NF).

Según la norma AFS, se emplean 100 gramos de arena seca, los cuales se tamizan durante 10 minutos, a través de un juego de 11 tamices. Después de pesado el retenido que quedó en cada tamiz y expresado en por ciento en peso del total de arena, se multiplica por un factor K que es igual (excepto en los tres primeros tamices y en el fondo) al número equivalente del tamiz anterior o mesh del tamiz. Los productos obtenidos por multiplicar el porcentaje retenido en cada tamiz por el factor K correspondiente se suman. Esta suma se divide entre el porcentaje total de granos retenidos en todos los tamices y el fondo. El valor obtenido es el número de finura, es decir, el tamaño promedio de los granos. Según AFS si el número de finura se encuentra entre los valores de 70 – 100 la arena es fina, con granos comprendidos entre 0,10 y 0,25 mm. y el grado o grupo es el 4 y si el número de finura está entre 50 – 70 la arena es media con granos comprendidos entre 0,25 y 0,5 mm. Con grado o grupo 5. (Salcines, M.C., 1985).



3.4.4.2. Diámetro promedio de los granos (D_{prom}).

Conociendo el número de finura del grano, el diámetro promedio de los granos de arena se puede estimar.

$$D_{prom} = \frac{25,4}{2 * NF}$$

Donde

D_{prom} : diámetro promedio del grano (mm).

NF: número de finura del grano (mm).

3.4.4.3. Por ciento de granos retenidos en 3 o mas tamices sucesivos.

Expresa la calidad y el grado de uniformidad de las arenas analizadas. Se toman como referencia los 3 primeros tamices que hayan retenido mayor porcentaje de arena. Se determina sumando el por ciento de granos retenidos en 3 tamices sucesivos, los cuales deben oscilar entre 70 – 80 %. Estas se consideran arenas concentradas. La arena que en 3 ó más tamices sucesivos no alcance más del 70 % de los granos se considera una arena dispersa.

3.4.4.4. Superficie específica de los granos:

Esta representa la superficie externa total de la unidad de peso de la muestra de arena expresada en cm^2/g . Se conocen dos formas de expresión de este parámetro: SET, superficie específica teórica y SER superficie específica real.

3.4.4.5. Superficie específica teórica (SET):

Representa la superficie externa de la unidad de peso si todos los granos de la muestra tuvieran la forma esferoidal. Para su determinación se utilizó la norma AFS o número de finura del grano según la ecuación:

$$SET = \frac{NF}{0,57}$$

3.4.4.6. Superficie específica real o efectiva (SER):

Representa la verdadera superficie externa por unidad de peso de la muestra, considerando la forma real de los granos. Para determinar este parámetro se empleó el método gráfico propuesto por Middleton, relacionado con el número de finura del grano, según (Salcines, M.C; 1985).

3.4.4.7. Coeficiente de angulosidad (Ca).

Expresa el grado de redondez de los granos de arena y las investigaciones han demostrado que es un parámetro efectivo para definir la cantidad de aglutinante requerido en una arena y se obtiene a través de la relación entre el SET y el SER.

$$Ca = \frac{SER}{SET}$$

3.4.4.8. Forma del grano:

La forma del grano tiene influencia en el comportamiento de la mezcla de moldeo, principalmente, en lo relacionado con la capacidad de empaquetamiento de los granos durante el moldeo, lo cual influye en propiedades tan importantes como la resistencia, la permeabilidad y la plasticidad. No existe una manera generalmente aceptada de clasificación de los granos de arena según su forma, en general, todas las clasificaciones consideran la existencia de 3 ó 4 formas fundamentales. Los granos redondos no son frecuentes en los yacimientos de arena, tal vez con la

excepción de algunas arenas de río. Lo más frecuentes es encontrar granos angulosos, compuestos o subangulosos.

3.4.4.9. Equipos para determinar la granulometría de las arenas.

La granulometría de las arenas sílice se realiza en la Tamizadora 029, (ver anexo 2 figura No 5) y la Balanza BLB-100g.

3.4.4.9.1. Características técnicas de la tamizadora modelo 029.

En la tamizadora modelo 029, se determina los diferentes tamaños y distribución de los granos que presentan las arenas.

Diámetro interno de los tamices (nominales), mm	200
Número del sistema de los tamices.	11
Altura del sistema (con el lavabo y la cubierta), mm.	30
Masa máxima a tamizar, Kg.	2.5

3.5. PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS POR EL MÉTODO AUTOFRAGUANTE CON ARENA SÍLICE.

En el laboratorio químico de la UEB de Fundición se realizaron mezclas por el método autofraguantes con arena sílice. Para la evaluación de las propiedades de la mezclas en este tipo de moldeo, se analizaron los parámetros que definen su utilización que son (la vida de banco V/B y el tiempo de desmodelado T/D, la resistencia a la tracción y la permeabilidad)

3.5.1. Diseño experimental.

Varía según la planificación de los experimentos ver Anexo 1. Conociendo los niveles máximos y mínimos en la arena, la resina y el catalizador, en la tabla 1.1 2,1 anexo 1 se muestra, las matrices de los experimentos para realizar las mezclas de moldeo autofraguantes usando resina Furánica, Catalizador CHEM-REZ 211 y Arenas nueva y de retorno.

Las matrices experimentales se muestran en el Anexo 1.

Cada experimento en la matriz fue replicado tres veces para comprobar la veracidad de los resultados obtenidos.

Para preparar las mezclas fue necesario utilizar un diseño de experimento que permita minimizar el número de ensayo y a la vez garantizara las mezclas de mejores propiedades y el mínimo de costos, los experimentos se diseñaron dos veces, tomando como base los resultados que se iban obteniendo, para llegar a una mejor planificación fue posible gracias al método factorial completo, que permitió evaluar el comportamiento de las distintas mezclas elaboradas.

Los valores máximos y mínimos de resinas y catalizador usados en la primera planificación de los experimentos de las mezclas de moldeo autofraguantes, fueron tomados del curso de Moldeo químico impartido por la División de Burmach Castrol Chemical S.A y Prosider (compañías que ha estudiado las características y propiedades de las resinas y catalizador utilizadas en talleres de fundición). Dicha compañía ha establecido que, el consumo del catalizador depende del por ciento en peso de la resina utilizada a su vez el consumo de resina depende del por ciento en peso de la arena. Además en nuestro taller se trabaja con arena nueva y arena recuperada por lo que según la experiencia de trabajo se han tomados los valores máximos y mínimos de cada una de ellas. Como los resultados no fueron los esperados fue necesario hacer una nueva planificación de los experimentos, según la consideración del tutor y el análisis de los resultados se hace una segunda y ultima planificación de los experimentos, reduciéndose el número de los mismos, pero con gran representatividad, además de contar con el respaldo experimental de la anterior planificación.

3.5.1.1. Primera planificación

Valores primera planificación

Arena de Retorno.	Arena Nueva	Resina	Catalizador
85%	15%	2%	30%
88%	12%	1,70%	40%
90%	10%	1,20%	50%

Cuando analizamos estos resultados de esta planificación podemos ver que en la dosificación se esta empleando el máximo valor de resina que nos recomienda la literatura y los resultados en la resistencia a la tracción a las 24 horas en todos los casos se encuentran entre 1 y 1.3 Kg/cm². La literatura nos dice que la resistencia a las 24 h debe estar por encima de 3 Kg/cm², por lo que decidimos hacer un experimento tomando un valor al azar por encima de 2% de resina en peso de arena, el experimento fue el siguiente.

La planificación en % quedará de la siguiente forma

	Arena de Retorno.	Arena Nueva	Resina	Catalizador
mezcla de prueba	85%	15%	2,7%	30%

Teniendo en cuantos estos resultados hacemos una nueva planificación de los experimentos para determinar los mejores valores de resistencia con el mínimo de consumos de resina.

3.5.1.2. Segunda planificación

Valores segunda planificación

Arena de Retorno.	Arena Nueva	Resina	Catalizador
85%	15%	2,3%	30%
88%	12%	2,5%	
90%	10%	2,7%	
		2,9%	

3.5.2. Procedimientos de elaboración de las mezclas de moldeo en Autofraguante.

3.5.2.1. Metodología.

A continuación se describe la metodología utilizada durante los ensayos para obtener las mezclas autofraguantes.

- I. Pesar 2 Kg. de arena según la planificación de experimentos (% A.N.+%A.R.= 100%)
- II. Pesar las cantidades necesarias de resina según los diseños de los experimentos Ver tabla 1.3; 2.3.
- III. Pesar las cantidades necesarias de catalizador según el diseños de los experimentos, Ver tabla 1.3; 2.3.
- IV. Mezclar los componentes según el orden siguiente:
Arenas
Catalizador
Resina
- V. La operación del mezclado fue la siguiente: la homogenización de arena durante 1min, luego se vierte el catalizador (tiempo de vertido un minuto) y se deja mezclar por espacio de un minuto (arena-catalizador), después se adiciona la resina (tiempo de vertido un minuto) y se deja mezclar durante otro minuto (arena-catalizador-resina).
- VI. Evacuación de la mezcla.
- VII. Confección de las probetas (para los ensayos de tracción y permeabilidad). La probeta se confecciona inmediatamente después de sacar la mezcla del mezclador, la permeabilidad se mide después que el tiempo de desmodelado haya transcurrido. Las probetas para los ensayos de tracción permanecen en reposo por espacios de tiempo según los tiempos a analizar, cuatro horas, ocho

horas y veinticuatro horas y sometidas en cada uno de ellos a la realización de los ensayos.

- VIII. Determinación de la V/B y T/D de la mezcla. La V/B, se determina mediante un examen visual, el deterioro de la V/B comienza cuando la mezcla experimenta un movimiento en la superficie de la mezcla, de modo que, el tiempo de V/B comienza desde que sale la mezcla del mezclador y finaliza cuando concluye en la superficie un movimiento de los granos conocido como corcomidillo, (se utiliza un cronómetro para medir el tiempo)

El T/D se determina tocando las probetas hasta sentir que están duras, es decir, es el tiempo que transcurre para que endurezca la mezcla y pueda ser retirado la plantilla del molde, (se utiliza un cronómetro para medir el tiempo)

3.5.3. Características de los equipos utilizados para determinar las propiedades de las mezclas autofraguantes.

Las mezclas a analizar son previamente elaboradas en una mezcladora a escala de laboratorio.

3.5.3.1 Maquina mezcladora

Las mezclas en el laboratorio se preparan en la mezcladora M158. (Ver anexo 2 Fig. 4)

3.5.3.2 Características técnicas.

Capacidad de mezcla	46 rev/min.
Accionamiento 230 V corriente alterna.	22KW; 16 A
Peso	35 Kg.

3.5.3.3. Permeabilidad.

Constituye uno de los índices más utilizados para la evaluación de las mezclas; resulta ser un parámetro de mucha importancia, ya que es considerable la cantidad de gases a evacuar desde la superficie del molde hacia la atmósfera a través de este. Para determinar este parámetro se empleó la metodología utilizada en los talleres de fundición, detallada; Salcines, M.C., 1985.

3.5.3.3.1. Equipo para determinar la permeabilidad de las mezclas. (Permeámetro)

El equipo modelo 042M (URSS) (**ver anexo 2 figura No 3**) se utiliza para determinar la capacidad de las mezclas de moldeo de dejar escapar los gases que se producen al realizar el vertido del metal líquido a los moldes.

3.5.3.3.1.1. Características técnicas.

- Tipo de equipo 042M, con la disposición de la camisa hacia arriba.
- Presión máxima que crea la campana (cm. de columna de agua) 10.
- Volumen de aire que pasa a través de la muestra (en mm) 2000.
- Cierre con tapón de goma.
- Medición de presión con manómetro de agua.
- Funcionamiento del equipo por métodos normales y métodos acelerados.
- Dimensiones exteriores (mm) largo 360, ancho 240, alto 270.
- Masa del equipo (kg.) 16.

3.5.3.4. Resistencia a la tracción.

El ensayo de resistencia a la tracción se efectúa en probetas con forma de ocho, (Ver anexo 2 Fig. 7) El dispositivo para el ensayo se coloca en el equipo universal de resistencia, se aplica la carga hasta la rotura de la probeta y los valores de resistencia se leen directamente en la escala TS, kg/cm².

3.5.3.4.1. Equipo para determinar la resistencia de las mezclas.

El equipo semiautomático modelo 084-M2 que utiliza para determinar propiedades de resistencia de las mezclas de moldeo y los materiales de los machos a la compresión, tracción, corte y flexión en verde, seco o en estado sólido. (Ver anexo 2 Fig.10)

3.5.3.4.1.1. Características técnicas.

- Límites de resistencia de las muestras (Kgf/cm^2).
- Compresión de las muestras en verde 0.2-2.0 (Kgf/cm^2).
- Compresión y corte de las muestras en seco 1.0-4.0 (Kgf/cm^2).
- Alargamiento de las muestras en seco 1.0-10 (Kgf/cm^2).
- Velocidad de la carga aplicada no más de:
 - con la compresión de las muestras en verde 1.5 (kgf/cm^2).
 - con la compresión y el corte de las muestras en seco 16 (kgf/cm^2).
- Dimensiones exteriores del equipo L 506, A 350, H 615 (mm).

3.6. PROCEDIMIENTOS DE ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS DE MOLDEO POR EL MÉTODO AUTOFRAGUANTE REALIZADA EN EL PROCESO INDUSTRIAL.

Como parte del cumplimiento a unos de los objetivos en la investigación analizar las mezclas que se preparan en el proceso, fue necesario verificar las propiedades de las mezclas industriales por método autofraguante para luego ser sometida a análisis, comparándolas con las recomendadas según la firma Prosider y División de Burmach Castrol Chemical S.A

El moldeo por el método autofraguante se realiza en un turbo-mezclador (sus especificaciones técnicas se muestran a continuación).

3.6.1. Características de la máquina mezcladora industrial.

Para realizar las mezclas de moldeo autofraguante en el taller se realiza en el.

Turbo mezclador continuo (AXMANN GIESSEREI-MASCHINEN K"OLN, tipo TWVS10/1000/2500. Ver anexo 2 Figura No 11.

Este mezclador continuo de gran rendimiento es una versión mejorada del mezclador continuo convencional. Este mezclador está especialmente diseñado para trabajar la arena de cuarzo y minerales de cromo utilizando diversos procesos de resina fría, así como para fabricar grandes cajas de moldeo. Dado



que la mezcla es muy buena, se puede regular una cantidad de resina y endurecedor (ácido). El mezclado no tolera cambios bruscos de tipos de arena.

Nombre de la maquina: Turbomezclador (AXMANN GIESSEREI-MASCHINEN K"OLN

Fabricación: Alemana

3.6.1.1. Características técnicas

1. Tipo de maquina TWVS10/1000/2500
2. N° de maquina 5533
3. Rendimiento 11.4 t/h
4. Radio de la paleta mezcladora 3500 mm
5. Motor de propulsión mezclador previo 2.2 Kw.
6. Motor de propulsión turbo mezclador 18.5 Kw.
7. Bomba dosificadora de resina AZD 037/b2/10rf
8. Motor de propulsión bomba de resina 0.37 Kw.
9. Bomba dosificadora de endurecedor ASD 0.37/10rf
10. Motor de propulsión bomba de endurecedor 0.37 Kw.
11. Potencia conectada total 21 Kw.
12. Tensión de servicio 400 v
13. Conexión neumática 6 bar.

3.6.1.2. Principales equipos que componen el Turbomezclador.

1. Base de la máquina.
2. Tubo del turbomezclador.
3. Dosificación de arena.
4. Dosificación de resina.
5. Dosificación de endurecedor.
6. Artesa del mezclador previo.
7. Sistema eléctrico.
8. Sistema neumático.

3.7 EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL TURBO-MEZCLADOR

3.7.1 Determinar el rendimiento de las bombas de resina y catalizador.

Para el análisis de proporción (dosificación) de resina y catalizador del turbo-mezclador se toman 2 Elermeyer de 250 ml y otros dos recipientes de 700 ml y se vierte en ellos para un tiempo de 10 segundos y variando los ajustes del POT tanto el aglomerante como el endurecedor, resina y catalizador respectivamente, para luego en los instrumentos de pesaje antes mencionados determinar la masa y por la escala de los recipientes determinar el volumen. Se repite como mínimo tres veces para disminuir el margen de error.

3.7.2 Determinar la productividad del turbomezclador.

Se toma un envase y se deja verter dentro la descarga del turbo mezclador por tiempo de un minuto, el contenido luego es pesado en la balanza industrial del taller. Se repite como mínimo tres veces para disminuir el margen de error. El valor se compara con el que trae por diseño según el pasaporte del equipo para determinar que % representa la productividad actual de la de diseño.

3.7.3 Validación de los resultados a escala industrial

Los valores de dosificación de arena se leen directamente del turbomezclador al igual que la graduación del POT con que se esté trabajado. Para determinar la vida de banco y el tiempo de desmodelado tomamos de la descarga del turbo una muestra y la sometemos al análisis conocido. Para determinar la resistencia tomamos la misma caja de moldeo para las probetas del laboratorio y tomamos la mezcla de la descarga del turbo, en lo adelante hacemos el procedimiento conocido.



3.8 CONCLUSIONES

Podemos concluir diciendo:

1. Conociendo los métodos antes mencionados es posible llevar a cabo la siguiente investigación.
2. Es necesario un previo conocimiento de los equipos y sus características técnicas, para así poder evaluar su funcionamiento.
3. La metodología para la realización de los experimentos es la adecuada y se basa en la disminución del margen de errores.

CAPÍTULO IV. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS. VALORACIÓN ECONOMICA.

4.1 INTRODUCCIÓN

Nuestro país posee varios yacimientos de cuarzo, algunos muy notables por su pureza y calidad. Los principales yacimientos se encuentran en la provincia de Pinar del Río (Santa Teresa, Cortés, Santa Bárbara); en la Isla de la Juventud (Buenavista) y en el municipio de Trinidad (Casilda) de la provincia de Santi Spíritus, de donde viene la arena que se procesa en el taller.

La mayoría de las arenas de cuarzo cubanas se caracterizan por un alto contenido de SiO₂ (~95 %) y un contenido relativamente bajo de impurezas, por lo que encuentran aplicación como arena de moldeo en fundición.

El empleo del moldeo autofraguante con resina Furánica y arena sílice es un proceso que nos aporta garantías y menos perdidas económicas cuanto mejor sean empleadas las dosificaciones de los componentes de la mezcla. Si la mezcla no cumple con los parámetros de resistencia a la tracción es posible que se creen defectos en la superficie de las piezas fundidas y cuales quieras que sean las consecuencias de estos defectos nos reportaran perdidas económicas. Por otra parte si para garantizar una resistencia alta se consume demasiada resina, que es la que nos proporciona la dureza de la mezcla, habrá un sobre consumo de resina que por su valor en el mercado internacional nos traería perdidas también. Por estas razones consideramos que este trabajo investigativo da solución a estas problemáticas, ya que con nuestros experimentos hemos buscado las mezclas de mejores parámetros técnicos y económicos.

4.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LAS ARENAS DE RETORNO Y ARENA NUEVA.

En la tabla 4.1 se muestra todos los resultados obtenidos a partir de los análisis realizado a la arenas sílice

Tabla No. 4.1 Principales características de las arenas Sílice.

<u>Propiedades</u>	Nueva	Recuperada
Humedad (%)	0.05	0.03
pH (20 °C)	6.8	6.8
Número de finura del grano AFS	82	66
<u>Diámetro promedio (mm)</u>	0.15	0.19
<u>Distribución en 4 tamices (%)</u>	82	73
Superficie específica teórica (g/cm ²)	144	116
Superficie específica real (g/cm ²)	180	180
Coeficiente de angulosidad	1.2	1.5
Forma del grano	Subangular	Subangular
<u>Grupo (según AFS)</u>	Arena fina	Arena media

4.2.1 Análisis de los resultados

Como podemos ver ambas arenas son bastante similares, la arena nueva presenta algo mas de humedad ya que esta pasa por un horno de tambor rotatorio para el secado pero siempre queda algo de humedad, en el caso de la arena recuperada debe tener el mínimo de humedad, no debemos olvidar que parte de esta arena estuvo expuesta a elevadas temperaturas durante la fundición. Podemos ver también como la arena recuperada es un poco menos fina que la arena nueva esto es debido a que en el sistema de recuperación de la arena existe un extractor de polvo, y la arena nueva no es clasificada, como sabemos las arenas menores de 270 mallas de granulometría son perjudiciales para las mezclas de moldeo autofraguante, disminuyen la resistencia a la tracción. Por lo que el empleo de arena recuperada desde el punto de vista granulométrico es beneficioso porque disminuye el número de finura.

Podemos notar que el coeficiente de angulosidad de la arena de retorno es mayor, al consultar con los especialistas concluyeron diciendo que esta arena producto de las altas temperaturas a las que han sido sometida fundamentalmente la arena

que esta en contacto con el metal liquido ha experimentado una dilatación y probablemente algunas transformaciones estructurales.

entra en la categoría de arena fina según la norma (AFS), y como arena media Como se puede apreciar en la tabla, la arena nueva según AFS como el número de finura se encuentra entre los valores de 70 – 100 se clasifica como arena es fina, con granos comprendidos entre 0,10 y 0,25 mm. y el grado o grupo es el 4 y la arena recuperada como el número de finura está entre 50 – 70 la arena es media con granos comprendidos entre 0,25 y 0,5 mm. Con grado o grupo 5.

4.3 RESULTADOS DE LAS VARIANTES DE MEZCLAS CON DIFERENTES PROPORCIONES DE ARENA, CATALIZADOR Y RESINA.

4.3.1 Primera planificación.

Ver anexo 1 tabla 1.1 y 1.2 matriz experimental y primera planificación en porcentaje.

Los resultados que fuimos obteniendo fueron los siguientes

tabla1.4 del anexo 1 Resultados de los experimentos

	V.B. (min)	T.D. (min)	Perm. mm(h₂O)	Resist. 4h (kg/cm²)	Resist. 8h (kg/cm²)	Resist. 4h (kg/cm²)
mezcla 1	14	23	80	0.8	1.2	1
mezcla 1b	15	30	75	0.6	1	1.2
mezcla 1c	15	27	75	0,6	0,3	1
mezcla 2	9	14	84	1.1	1.2	1.3
mezcla 2b	6	15	108	1.2	1.2	1.3
mezcla 2c	7	11	84	0,4	0,1	1.2
mezcla 3	3	9	96	0,25	0,25	1
mezcla 3b	2,8	6	102	0,9-1,8	1,5	1.2
mezcla 3c	3	7	100	p 1	1	1.2

4.3.1.1 Análisis de los resultados

Si analizamos estos resultados podemos ver que en la dosificación se esta empleando el máximo valor de resina que nos recomienda la literatura y los resultados en la resistencia a la tracción a las 24 horas en todos los casos se encuentran entre 1 y 1.3 Kgf/cm². Aunque la resistencia tiende a aumentar con el

incremento del porciento de arena de retorno, no deben llegar a 3 Kg/cm². La literatura nos dice que la resistencia a las 24 h debe estar por encima de 3 Kg/cm², por lo que decidimos hacer un experimento tomando un valor al azar por encima de 2% de resina en peso de arena, el experimento fue el siguiente.

La planificación en % quedará de la siguiente forma

	Arena de Retorno.	Arena Nueva	Resina	Catalizador
mezcla de prueba	85%	15%	2,7%	30%

Y estos fueron los resultados

	V.B. (min)	T.D. (min)	Perm. mm(h₂O)	Resist. 4h (kg/cm²)	Resist. 8h (kg/cm²)	Resist. 24h (kg/cm²)
mezcla 3	10	15	134	2,4-2,5	2,8-3	3,2-3,4

A gustar por estos resultados los valores de proporción de resina deben ser superiores al 2 % por lo que hacemos una nueva planificación de los experimentos para determinar los mejores valores de resistencia con el mínimo de consumos de resina.

Para ello hicimos la siguiente elección de valores

2
2,1
2,2
2,3
2,4
2,5
2,6
2,7
2,8
2,9

Hemos seleccionado los valores que se encuentran en rojo, al 2% ya se realizaron y el que señala el color amarillo es el valor con el que hicimos la prueba.

En consulta el día 4 de mayo con el tutor para mostrar los resultados obtenidos en los experimentos este sugirió después de ver que los valores de vida de banco y tiempo de desmodelado eran relativamente bajos para los valores de catalizador

correspondientes a 40% y 50%, que fijara la proporción de catalizador en 30 %, además estos valores disminuyen cuando se incremente la arena de retorno, algo que sucedería a partir de la mezcla 10 según la primera planificación, de esta forma reestructuramos la planificación del experimento.

4.3.2 Segunda planificación

Ver anexo 1 tabla 2.2 y 2.3 segunda planificación de los experimentos.

Los resultados fueron los siguientes.

Tabla 2.4 Resultados de los experimentos. Valores promedios segunda planificación

	V.B. (min)	T.D. (min)	Perm. mm(h₂O)	Resist. 4h (kg/cm²)	Resist. 8h (kg/cm²)	Resist. 24h (kg/cm²)
mezcla 1	11	20	130	1,8-2	2-2,4	2,6-2,8
mezcla 2	8	15	134	2,2-2,3	2,6-2,6	2,8-3
mezcla 3	10	15	134	2,4-2,5	2,8-3	3,2-3,4
mezcla 4	10	16	142	2,4-2,6	2,8-3,2	3,4-3,6
mezcla 5	7	11	140	2,4-3	3,2-3,4	3,2-3,6
mezcla 6	6	13	140	3,2-3	3,4-3,6	3,8-4,2
mezcla 7	5	10	138	3,2-3,6	3,6-3,8	4,2-4,8
mezcla 8	5	10	134	3,4-3,8	3,6-4	4,4-5
mezcla 9	7	15	134	2,4-2,8	2,8-3,2	3,6-4
mezcla 10	6	13	134	2,8-3	3-3,6	3,8-4,2
mezcla 11	5	12	142	3-3,2	3-3,6	4,4-4,8
mezcla 12	6	13	151	3,2-3,8	4-4,6	5,2-5,4

4.3.2.1 Análisis de los resultados

Es importante recordar que cada experimento se realizó tres o más veces y para cada intervalo de tiempo en que se midió la resistencia a la tracción se rompió tres probetas, de esta forma el margen de error disminuye y damos los resultados en intervalos y promedios.

Analizando la vida de banco, como esperábamos disminuye con el incremento de la arena de retorno, esto es consecuencia de los restos que quedan en la arena de

resina y catalizador al ser utilizada. En el caso del tiempo de desmodelado esta muy relacionado con la vida de banco y tiende a ser proporcional a este.

Es apreciable un ligero aumento de la permeabilidad con el aumento de la arena de retorno, como ya sabemos la arena de retorno tiene menor numero de finura por lo que los espacios entre los granos va ser mayor, es decir se va a evacuar mejor los gases.

En cuanto a la resistencia a la tracción podemos ver que aumenta con el incremento de la arena de retorno, la conclusión de los especialistas a estos resultados es que en este caso influyen dos factores:

- Los residuos de resina y catalizador en la arena de retorno.
- La granulometría de la arena de retorno que es de un número de finura menor.

4.3.2.2 Análisis de la granulometría en las mezclas de moldeo

Quisiéramos detenernos en este segundo punto. Para comprobar el efecto de la granulometría hicimos un experimento con arena de retorno antes de pasar por el extractor de polvo con una visible cantidad de fino y polvo, las proporciones fueron las siguientes:

	Arena de Retorno.	Arena Nueva	Resina	Catalizador
mezcla de prueba	90%	10%	2,9%	30%

Y los resultados fueron sorprendentes, pues la mezcla no llego a fraguar. De este experimentos sacamos mucho provecho ya que nos da la medida de cuan importante puede llegara a ser la granulometría de la arena, al tener mayor superficie de contacto por unidad de volumen el consumo de resina aumenta.

Para comprobar la influencia de la granulometría hicimos el experimento siguiente.

	Arena de Retorno.	Arena Nueva	Resina	Catalizador
mezcla de prueba	0%	100%	2,7%	30%

Nota: la arena empleada par este experimento es la misma que se empleó para el análisis granulométrico.

Y los resultados fueron los siguientes

	V.B. (min)	T.D. (min)	Perm. mm(h ₂ O)	Resist. 4h (kg/cm ²)	Resist. 8h (kg/cm ²)	Resist. 24h (kg/cm ²)
mezcla de prueba	12	20	122	1.8-2	2-2.2	2-2.4

Como podemos ver disminuye la permeabilidad y la resistencia a la tracción, podemos compararla con la mezcla que presenta igual dosificación de resina de la segunda planificación.

Motivados por estos resultados consultamos los datos de granulometría óptima que nos recomienda la firma **WEBAC** y comprobamos que la misma es una arena más bien gruesa, de pocos finos.

Nota: la WEBAC es la firma que instaló el turbomezclador,

Granulometría optima según WEBAC

	Proporción cantidad (%)			
tamiz	valor típico	valor promedio	mínimo	máximo
0,5	3	3,3	1,5	4,7
0,355	24	31,8	17,4	37
0,25	55	49,1	43,7	55,6
0,125	17	15,7	11,1	32,4
<0,125	1	0,1	0,1	0,9

Tratamos de obtener en el laboratorio una arena similar a esta he hicimos experimentos para evaluar su comportamiento.

Se pretende llegar a formar una arena cercana a la óptima (sin las fracciones mayores de 0,63 y los finos menores de 0,125). No se cuanta con el juego de tamices propuesto por la firma WEBAC por tanto se usa los tamices: (0,4; 0,315; 0,2; 0,16; 0,125) mm

Se tomó una muestra aleatoria de 12Kg, la misma se tamiza completa por el tamiz 0,63. Se vuelve a tamizar por el tamiz 0,4 y se tamizar finalmente por el tamiz 0,125.

El material retenido en el tamiz 0,63 es rechazo

El material menor de 0,125 también es rechazo

Decidimos tomar las fracciones antes mencionadas porque en caso de instalarse un sistema de clasificación de arena en el taller se aria de esta forma según consideración de jefe del área técnica Ing. Neury Duran.

Tamizado de la arena

Análisis	peso gramo		% en peso
0,63	235	Rechazo	1,958
0,4	655	Aceptado	5,458
0,125	9200		76,667
-0,125	1910	Rechazo	15,917
total	12000		100,000

Hicimos una mezcla de moldeo autofraguante con las siguientes dosificaciones.

Arena (-0,315 + 0,125 mm) 1940 g,

Arena (0,4 mm) 60 g

Resina 2 % 40g

Catalizador 30 % 12

Resultados de la mezcla con arena clasificada

	V.B. (min)	T.D. (min)	Perm. mm(h₂O)	Resist. 4h (kg/cm²)	Resist. 8h (kg/cm²)	Resist. 24h (kg/cm²)
mezcla arena clasificada	14	20	102	0.4	0.8	1.1

Este experimento lo repetimos aumentando el % de resina hasta un 2,5 % que es la dosificación de buenos parámetros encontrada en los resultados de los experimentos en el laboratorio. Los resultados fueron los siguientes.

	V.B. (min)	T.D. (min)	Perm. mm(h₂O)	Resist. 4h (kg/cm²)	Resist. 8h (kg/cm²)	Resist. 24h (kg/cm²)
mezcla arena clasificada	16	22	105	0.8	1	1.4

Como podemos ver los resultados no son los mejores, la resistencia a las 24 horas en ninguno de los 2 casos llega los 2 (kg/cm²) por lo que podemos deducir que es necesario hacer un estudio mas profundo sobre la influencia de la granulometría en las mezclas de moldeo autofraguante.

4.4 COMPROBACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LAS BOMBAS DE RESINA, CATALIZADOR Y LA PRODUCTIVIDAD DEL TURBOMEZCLADOR. VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO A ESCALA INDUSTRIAL.

La metodología para determinar los resultados siguientes fue expuesta en el capítulo anterior pero es bueno recordar que estos son valores puntuales tomados directamente del proceso. Para la toma de muestra en el proceso tenemos que ajustarnos a la graduación de valores con que estén trabajando ya que la demanda de trabajo no permite hacer la toma de muestras variando la graduación de valores a conveniencia.

4.4.1 Productividad del turbo mezclador

El turbo por diseño tiene una productividad por problemas de dosificación de resina fue necesario regular la entrada de arena al mismo y en estos momentos después de varios experimentos determinamos que la productividad está en 100 Kg./min, 1666.7 g/s, si la comparamos con la productividad de diseño podemos ver que la actual representa un 52.6% de la misma.^o

4.4.2 Rendimiento de las bombas de resina y catalizador y validación de los resultados de laboratorio a escala industrial.

En el taller los operadores regulan a estimación y la experiencia de trabajo el POT según la pieza a moldear y la cantidad de arena de retorno que esté en el silo de almacenamiento. La compañía alemana que instaló el turbomezclador determinó *Trabajo de diploma en opción de Ing. Metalúrgico (2009) José M. Santiesteban Ruiz 53* "Evaluación de las mezclas de moldeo autofraguantes con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina."

que el rendimiento de la bomba de resina era de 3900 g/min a un POT máximo de 999 y 1776 g/min a un POT mínimo de 450, representando según su productividad original de 190 kg/min, 2.05 % y 0.93 % del peso de la arena respectivamente. El rendimiento de la bomba de catalizador era de 1900 g/min a un POT máximo de 999 y 872 g/min a un POT mínimo de 450, representando según su productividad original de 190 kg/min, y el rendimiento de las bombas de resina antes mencionadas un 48.72 % y 49.38 % del peso de la resina respectivamente a sus niveles de POT homólogos.

Nota: (POT) son las siglas para denominar al potenciómetro que regula la dosificación del turbomezclador.

4.4.2.1 Primera muestra del proceso

	Ajuste del POT	Peso en g/recipiente	g/s	% que representa
1(Resina)	999	400	40	2,40
1(Catalizador)	999	230	23	57,50

AN	AR	V.B. (min)	T.D. (min)	Resist. 4h (kg/cm ²)	Resist. 8h (kg/cm ²)	Resist. 24h (kg/cm ²)
12	88	2	5	2	2.2	2.4

4.4.2.2 Segunda muestra del proceso

	Ajuste del POT	Peso en g/recipiente	g/s	% que representa
2(Resina)	975	395	39,5	2,37
2(Catalizador)	750	175	17,5	44,30

AN	AR	V.B. (min)	T.D. (min)	Resist. 4h (kg/cm ²)	Resist. 8h (kg/cm ²)	Resist. 24h (kg/cm ²)
25	75	5	10	2	2.2	2.4

4.4.2.3 Tercera muestra del proceso

	Ajuste del POT	Peso en gramos por recipiente	g/s	% que representa
3(Resina)	999	400	40	2,40

3(Catalizador)	550	130	13	32,50
----------------	-----	-----	----	-------

AN	AR	V.B. (min)	T.D. (min)	Resist. 4h (kg/cm ²)	Resist. 8h (kg/cm ²)	Resist. 24h (kg/cm ²)
20	80	4	10	2	2.2	2.4

4.4.2.4 Cuarta muestra del proceso

	Ajuste del POT	Peso en gramos por recipiente	g/s	% que representa
3(Resina)	999	400	40	2,40
3(Catalizador)	700	163.5	16.35	40.08

AN	AR	V.B. (min)	T.D. (min)	Resist. 4h (kg/cm ²)	Resist. 8h (kg/cm ²)	Resist. 24h (kg/cm ²)
10	90	3	7	2	2.2	2.4

4.4.3 Análisis de los resultados de las muestras.

Si analizamos la productividad del turbomezclador podemos ver que por diseño debiera ser de 190 Kg./min. y en la actualidad es de 100 Kg./min., un 52.6% de la original, este parámetro disminuye la capacidad productiva de moldeo en el taller, pero a su vez mantiene una proporción de resina prudente.

Las bombas de resina a su máxima capacidad según las muestras tomadas solo proporcionan un 2.4 %, es por ello que no se pueden lograr valores de resistencia a la tracción mayor de 3 kgf/cm².

La dosificación de catalizador según las muestras tomadas nos permite trabajar con gran variabilidad según la pieza a moldear, su máxima dosificación es 57.5 % del peso de la resina y al mínima menor de 30 %.

Los tiempos de vida de banco y de desmodelado son menores si los comparamos con los obtenidos en el laboratorio, algo que se previa, ya que la arena de retorno siempre esta un poco mas caliente, entonces la reacción del catalizador con la resina se acelera y disminuye los tiempos. La temperatura de la arena nos genera problemas, ya que no podemos saber ciertamente a que temperatura está y en caso de conocerla la bibliografía y la experiencia de trabajo con que contamos

Trabajo de diploma en opción de Ing. Metalúrgico (2009) José M. Santiesteban Ruiz 55
"Evaluación de las mezclas de moldeo autofraguantes con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina."

nos es insuficiente para determinar su influencia en la vida de banco y por consecuencia en el tiempo de desmodelado, lo mas prudente seria enfriar la arena y trabajar a un solo valor.

4.4.4 Validación de los resultados a escala industrial

Si nos remitimos a los resultados a escala de laboratorio, podemos ver que no contamos con 2,4 % de resina que es el máximo que nos proporciona la bomba del turbomezclador, tenemos 2,3 y 2,5 %, los valores obtenidos a escala industrial deben estar entre los mismos.

Si comparamos los resultados de las cuatro muestras tomadas a escala industrial podemos ver que la resistencia a la tracción a las 24 h es similar para todas (2,4 (kg/cm²)), incluso cuando las proporciones de arena varían, según los resultados del laboratorio la resistencia aumenta con el incremento de la arena de retorno, al llevar estos resultados a los especialistas estos consideran que puede ser causa de la granulometría de la arena de retorno, o bien de la nueva, ya que como se conoce ninguna de las dos es clasificada.

Por otra parte si analizamos los valores de resistencia tienden a parecerse a los de la mezcla 1 de la segunda planificación por lo que podemos decir que los resultados obtenidos a escala de laboratorio son validos a escala industrial.

4.5 VALORACIÓN ECONÓMICA

Las mezclas de moldeo Autofraguante con arena sílice disminuye los costo de elaboración, ya que la sílice es de producción nacional y facilita el flete para transportar esta arena a la Empresa EMNi., presentan un precio relativamente bajo y de muy buena calidad. Además en nuestro taller se emplea arena de retorno que disminuye los gastos de arena nueva, cuando se incrementa la proporción de arena de retorno disminuye la vida de banco, consecuencia que en ocasiones no es favorable para el moldeo de piezas grandes. La arena de retorno solo presenta costos indirectos de consumo de energía para su manejo, pero no han sido contemplados en este análisis económico

4.5.1 Costo de 1 Tonelada de Mezcla Autofraguante

4.5.1.1 Precio de los Materiales a utilizar en la elaboración de las mezclas

Tabla No 4.1 Precio de los Materiales a utilizar.

Materiales	precio	unidad	precio	unidad
Arena sílice nueva	0,1328	CUC/Kg.		
Resina	3,0618	CUC/kg	2,43	€/kg
Catalizador	1,7892	CUC/kg	1,42	€/kg

Factor de conversión 1,26 CUC/€

4.5.1.2 Cálculo del Gasto de de los materiales fundamentales.

Primero seleccionamos la mezcla que nos sugiere los resultados de los experimentos, que asegura buenos parámetros técnicos y económicos.

Arena sílice nueva.....12% de 1000 Kg. total de arena (120 Kg.)

Resina.....2.5% (Sobre el peso de la arena total,(25 Kg.)

Catalizador.....30% (Sobre el Peso de a Resina, 7.5 Kg.)

Tabla 4.2 Gastos de los materiales fundamentales

	Arena Nueva	Resina	Catalizador
%	12%	2,5%	30%
Kg	120	25	7,5
precio	15,936	76,545	13,419

$$Gasto_{\text{Materiales fundamentales}} = P_{\text{Arena}} + P_{\text{Resina}} + P_{\text{Catalizador}}$$

$$Gasto_{\text{Materiales fundamentales}} = 15.936 + 76.545 + 13.419$$

$$Gasto_{\text{Materiales fundamentales}} = 105.9 \text{ CUC}$$



4.5.1.3 Cálculo del Gasto de mano de obra.

Para una tonelada 1000 Kg.

Tabla 4.3 Datos para la determinar el gasto por mano de obra

Tiempo de moldeo	10	min/t		
Tarifa del operador	2,71	CUP/min	0,113	CUC/min
Productividad del turbo	100	kg/min		

$$Gasto_{\text{mano de obra}} = \text{Tiempo de moldeo} \cdot \text{Tarifa del operador}$$

$$Gasto_{\text{mano de obra}} = 10 * 0.113$$

$$Gasto_{\text{mano de obra}} = 1,129 \text{CUC}$$

4.5.1.4 Cálculo del Costo total.

$$\text{CostoTotal} = Gasto_{\text{Materiales fundamentales}} + Gasto_{\text{Mano de obra}}$$

$$\text{CostoTotal} = 105,9 + 1,129$$

$$\text{CostoTotal} = 107,029 \text{CUC}$$

El costo total de una tonelada es de 107,029 CUC. Como podemos ver el costo mayor lo representa el consumo de resina, que a su vez incrementa el consumo de catalizador, si hacemos algunas pruebas incrementando el % de resina y manteniendo la proporción de arena podemos ver como aumenta el costo. Para la realización de estos cálculos nos auxiliamos de una hoja de cálculo dinámica que arrojó los siguientes resultados.

Tabla 4.4 Comportamiento del costo total de una tonelada de mezcla.

%	Costo total por tonelada	Incremento CUC/t
2.0%	89,036	
2.1%	92,635	3,599
2.2%	96,233	3,598
2.3%	99,832	3,599
2.4%	103,431	3,599
2.5%	107,029	3,598
2.6%	110,628	3,599
2.7%	114,226	3,598
2.8%	117,825	3,599
2.9%	121,423	3,598

Como podemos ver por cada 0.1 % de resina aumenta el costo en 3,59 CUC/t de mezcla.

4.6 CONCLUSIONES

De este capítulo podemos concluir diciendo:

1. La arena nueva es una arena fina perjudicial para la mezcla cuando tiene mucho polvo, la arena de retorno es beneficiosas, disminuye el número de finura.
2. El incremento de arena de retorno aumenta la resistencia a la tracción, disminuye la vida de banco y el tiempo de desmodelado. Los valores de resina que garantizan buenos parámetros técnicos están por encima de 2,5 %. El catalizador se varia según las dimensiones de la pieza.
3. La bomba de resina no se encuentra dosificando lo necesario para asegurar valores mayores de 2,5 % de resina del peso de la arena a la mezcla. La bomba de catalizador puede asegurar variabilidad en la dosificación desde valores mínimos hasta 57 % del peso de la resina. El turbo mezclador se encuentra trabajando al 52.6 % de sus capacidades productivas de diseño. La temperatura de la arena disminuye la vida de banco y el tiempo de desmodelado.



4. Los resultados a escala industrial son similares a los obtenidos a escala de laboratorio en cuanto a la resistencia a la tracción no siendo así con el incremento de la arena de retorno.
5. El costo mayor lo representa el consumo de resina y el incremento de 0.1 % de la misma aumenta el costo total de producción de una tonelada de mezcla en 3.59 CUC.

CONCLUSIONES GENERALES

1. La mezcla que reúne los mejores parámetros técnicos económicos obtenida en el laboratorio tiene 12 % y 88 % de arena nueva y de retorno respectivamente, entre 2,5 y 2,7 % de resina (respecto al peso de la arena) y 30 % de catalizador (respecto al peso de la resina).
2. El turbomezclador se encuentra trabajando al 52.6 % de su productividad en diseño.
3. Los resultados del laboratorio son validos a escala industrial si se tiene en cuenta la resistencia a la tracción, no siendo así si se considera la variación o incremento de la arena de retorno.

RECOMENDACIONES

1. Recomendamos la continuidad del estudio del comportamiento de las mezclas de moldeo autofraguante a partir de los resultados obtenidos hasta el momento en esta investigación.
2. Hacer un ajuste de la bomba de resina y catalizador para poder llevar la productividad del turbomezclador a las características técnicas de su diseño, esto garantizaría un alto aprovechamiento de las capacidades productivas del equipo y un incremento cuántico considerable en la capacidad de moldeo del taller, además de poder obtener mezclas con resistencia a la tracción mayores a 3 kgf/cm².
3. Estudiar minuciosamente la influencia de la granulometría y la temperatura de la arena en las mezclas de moldeo autofraguante.
4. Hacer un sistema de clasificación de arena en el taller o comprar la arena clasificada.

BIBLIOGRAFÍA.

1. AGUIRRE, F., Murro. “Arenas de Moldeo”, en suplemento la revista Fundición. Madrid, 1970.
2. Asociación de Fundidores del País Vasco y Navarra. Arenas de Moldeo en Fundiciones Férricas. Obtenido de la Red Mundial, 2000.
3. Asociación de Fundidores Americanos (AFS). Defectos de fundición. Madrid: Editorial Aguilar, 1959
4. Curso de Moldeo Químico. Bilbao. 1997.
5. ENRÍQUEZ, G.F. Manual del Fundidor. Editorial Científico – Técnica. Ciudad de La Habana, 1986.
6. ENRÍQUEZ, F. Mezclas de moldeo y pinturas antiadherentes. Edit. Científico Técnico. Ciudad Habana. Cuba. 1990.
7. FLORES, J. “Arenas de moldeo y su control” revista Moldeo y Fundición. Año 1, No.3, Diciembre, 1958.
8. LEYVA, A. Evaluación de materiales nacionales como posible fuente de materia prima en la producción de arena refractaria, para relleno en el cierre de correderas del Horno de Cuchara. Moa. 2006.
9. MITROFÁNOV S.I; y otros. Investigación de la capacidad de enriquecimiento de los materiales, Editorial Mir, Moscú, 1982.
10. FORDATH. Manual de Sistema Autofraguante para la Producción de moldes, 2000.
11. BURMACH CASTROL CHEMICAL S.A Y PRESIDER. Manual Sistema Autofraguante para la Producción de moldes. 2004.
12. OLIVEROS, E: Evaluación de mezclas autofraguantes para la obtención de piezas fundidas en la empresa mecánica del níquel. ISMM. Moa, 2002.
13. PONS, H.J; C. A. LEYVA; A. FIOL. Características generales de las dunitas serpentizadas de la región de Moa. (zona Merceditas). Revista Minería y Geología. No.2. Moa. 1998.



14. PONS, H.J., C. A. LEYVA. Características generales de las dunitas serpentizadas de la región de Moa. (Zona Amores y Miraflores). Revista Minería y Geología. Moa. 1999.
15. RODRÍGUEZ, G.A. Evaluación de la sustitución de la arena de cromo por la arena sílice en la fabricación de piezas de acero al manganeso. ISMM. Moa, 2008.
16. RODRÍGUEZ, R.R. Folleto Curso de capacitación para fundidores. Moa. Cuba 2004.
17. SALCINES, C.M. Tecnología de fundición. Tomo I, Ciudad Habana: Editorial. Pueblo y Educación. Cuba, 1985.

SITIOS DE INTERNET.

18. <http://apuntes.rincondelvago.com/fundicion-de-precision.html>. Última visita 17/6/2009
19. <http://www.ilarduya.com/arenas.htm> Última visita 17/6/2009
20. <http://www.ilarduya.com/autofraguantes.htm> Última visita 17/6/2009
22. <http://www.metalspain.com/Revista-FUNDIDORES.htm> Última visita 17/6/2009.
23. http://www.cividino.com.ar/spanish/productos/01_resinas_aglutinantes.htm
Última visita 23/6/2009

ANEXOS

ANEXOS 1

Primera planificación

Tabla 1.1 matriz experimental primera planificación

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
Experimento 1	+	-	-	+	-	-	+	-	-
Experimento 2	+	-	-	+	-	-	-	+	-
Experimento 3	+	-	-	+	-	-	-	-	+
Experimento 4	+	-	-	-	+	-	+	-	-
Experimento 5	+	-	-	-	+	-	-	+	-
Experimento 6	+	-	-	-	+	-	-	-	+
Experimento 7	+	-	-	-	-	+	+	-	-
Experimento 8	+	-	-	-	-	+	-	+	-
Experimento 9	+	-	-	-	-	+	-	-	+
Experimento 10	-	+	-	+	-	-	+	-	-
Experimento 11	-	+	-	+	-	-	-	+	-
Experimento 12	-	+	-	+	-	-	-	-	+
Experimento 13	-	+	-	-	+	-	+	-	-
Experimento 14	-	+	-	-	+	-	-	+	-
Experimento 15	-	+	-	-	+	-	-	-	+
Experimento 16	-	+	-	-	-	+	+	-	-
Experimento 17	-	+	-	-	-	+	-	+	-
Experimento 18	-	+	-	-	-	+	-	-	+
Experimento 19	-	-	+	+	-	-	+	-	-
Experimento 20	-	-	+	+	-	-	-	+	-
Experimento 21	-	-	+	+	-	-	-	-	+
Experimento 22	-	-	+	-	+	-	+	-	-
Experimento 23	-	-	+	-	+	-	-	+	-
Experimento 24	-	-	+	-	+	-	-	-	+
Experimento 25	-	-	+	-	-	+	+	-	-
Experimento 26	-	-	+	-	-	+	-	+	-
Experimento 27	-	-	+	-	-	+	-	-	+

Tabla 1.2 primera planificación en porcentaje.

	Arena de Ret.	Arena Nueva	Resina	Catalizador
mezcla 1	85%	15%	2%	30%
mezcla 2	85%	15%	2%	40%
mezcla 3	85%	15%	2%	50%
mezcla 4	85%	15%	1,7%	30%
mezcla 5	85%	15%	1,7%	40%
mezcla 6	85%	15%	1,7%	50%
mezcla 7	85%	15%	1,2%	30%
mezcla 8	85%	15%	1,2%	40%
mezcla 9	85%	15%	1,2%	50%
mezcla 10	88%	12%	2%	30%
mezcla 11	88%	12%	2%	40%
mezcla 12	88%	12%	2%	50%
mezcla 13	88%	12%	1,7%	30%
mezcla 14	88%	12%	1,7%	40%
mezcla 15	88%	12%	1,7%	50%
mezcla 16	88%	12%	1,2%	30%
mezcla 17	88%	12%	1,2%	40%
mezcla 18	88%	12%	1,2%	50%
mezcla 19	90%	10%	2%	30%
mezcla 20	90%	10%	2%	40%
mezcla 21	90%	10%	2%	50%
mezcla 22	90%	10%	1,7%	30%
mezcla 23	90%	10%	1,7%	40%
mezcla 24	90%	10%	1,7%	50%
mezcla 25	90%	10%	1,2%	30%
mezcla 26	90%	10%	1,2%	40%
mezcla 27	90%	10%	1,2%	50%

Tabla 1.3 primera planificación en peso (g).Partimos de una masa de 2000 g

	Arena de Ret.	Arena Nueva	Resina	Catalizador
mezcla 1	1700	300	40	12
mezcla 2	1700	300	40	16
mezcla 3	1700	300	40	20
mezcla 4	1700	300	34	10,2
mezcla 5	1700	300	34	13,6
mezcla 6	1700	300	34	17
mezcla 7	1700	300	24	7,2
mezcla 8	1700	300	24	9,6
mezcla 9	1700	300	24	12
mezcla 10	1760	240	40	12
mezcla 11	1760	240	40	16
mezcla 12	1760	240	40	20
mezcla 13	1760	240	34	10,2
mezcla 14	1760	240	34	13,6
mezcla 15	1760	240	34	17
mezcla 16	1760	240	24	7,2
mezcla 17	1760	240	24	9,6
mezcla 18	1760	240	24	12
mezcla 19	1800	200	40	12
mezcla 20	1800	200	40	16
mezcla 21	1800	200	40	20
mezcla 22	1800	200	34	10,2
mezcla 23	1800	200	34	13,6
mezcla 24	1800	200	34	17
mezcla 25	1800	200	24	7,2
mezcla 26	1800	200	24	9,6
mezcla 27	1800	200	24	12

Tabla 1.4 primera planificación. Resultados de los experimentos

	V.B. (min)	T.D. (min)	Perm. mm(h ₂ O)	Resist. 4h (kg/cm ²)	Resist. 8h (kg/cm ²)	Resist. 4h (kg/cm ²)
mezcla 1	14	23	80	0.8	1.2	1
mezcla 1b	15	30	75	0.6	1	1.2
mezcla 1c	15	27	75	0,6	0,3	1
mezcla 2	9	14	84	1.1	1.2	1.3
mezcla 2b	6	15	108	1.2	1.2	1.3
mezcla 2c	7	11	84	0,4	0,1	1.2
mezcla 3	3	9	96	0,25	0,25	1
mezcla 3b	2,8	6	102	0,9-1,8	1,5	1.2
mezcla 3c	3	7	100	p 1	1	1.2

Segunda planificación

Tabla 2.1 matriz experimental

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8
Experimento 1	+	-	-	+	-	-	-	+
Experimento 2	+	-	-	-	+	-	-	+
Experimento 3	+	-	-	-	-	+	-	+
Experimento 4	+	-	-	-	-	-	+	+
Experimento 5	-	+	-	+	-	-	-	+
Experimento 6	-	+	-	-	+	-	-	+
Experimento 7	-	+	-	-	-	+	-	+
Experimento 8	-	+	-	-	-	-	+	+
Experimento 9	-	-	+	+	-	-	-	+
Experimento 10	-	-	+	-	+	-	-	+
Experimento 11	-	-	+	-	-	+	-	+
Experimento 12	-	-	+	-	-	-	+	+

Tabla 2.2 Segunda planificación en porcentaje.

	Arena de Ret.	Arena Nueva	Resina	Catalizador
mezcla 1	85%	15%	2,3%	30%
mezcla 2	85%	15%	2,5%	30%
mezcla 3	85%	15%	2,7%	30%
mezcla 4	85%	15%	2,9%	30%
mezcla 5	88%	12%	2,3%	30%
mezcla 6	88%	12%	2,5%	30%
mezcla 7	88%	12%	2,7%	30%
mezcla 8	88%	12%	2,9%	30%
mezcla 9	90%	10%	2,3%	30%
mezcla 10	90%	10%	2,5%	30%
mezcla 11	90%	10%	2,7%	30%
mezcla 12	90%	10%	2,9%	30%

Tabla 2.3 Segunda planificación en peso (g). Partimos de una masa de 2000 g

	Arena de Ret.	Arena Nueva	Resina	Catalizador
mezcla 1	1700	300	46	13,8
mezcla 2	1700	300	50	15
mezcla 3	1700	300	54	16,2
mezcla 4	1700	300	58	17,4
mezcla 5	1760	240	46	13,8
mezcla 6	1760	240	50	15
mezcla 7	1760	240	54	16,2
mezcla 8	1760	240	58	17,4
mezcla 9	1800	200	46	13,8
mezcla 10	1800	200	50	15
mezcla 11	1800	200	54	16,2
mezcla 12	1800	200	58	17,4

Tabla 2.4 Resultados de los experimentos. Valores promedios segunda planificación

	V.B. (min)	T.D. (min)	Perm. mm(h ₂ O)	Resist. 4h (kg/cm ²)	Resist. 8h (kg/cm ²)	Resist. 24h (kg/cm ²)
mezcla 1	11	20	130	1,8-2	2-2,4	2,6-2,8
mezcla 2	8	15	134	2,2-2,3	2,6;2,6	3-2,8
mezcla 3	10	15	134	2,4-2,5	2,8-3	3,2-3,4
mezcla 4	10	16	142	2,4-2,6	2,8-3,2	3,4-3,6
mezcla 5	7	11	140	2,4-3	3,2-3,4	3,2-3,6
mezcla 6	6	13	140	3,2-3	3,4;-3,6	3,8;4,2
mezcla 7	5	10	138	3,2-3,6	3,6-3,8	4,2-4,8
mezcla 8	5	10	134	3,4-3,8	3,6-4	4,4-5
mezcla 9	7	15	134	2,4-2,8	2,8-3,2	3,6-4
mezcla 10	6	13	134	2,8-3	3-3,6	3,8-4,2
mezcla 11	5	12	142	3-3,2	3-3,6	4,4-4,8
mezcla 12	6	13	151	3,2-3,8	4-4,6	5,2-5,4

ANEXO 2

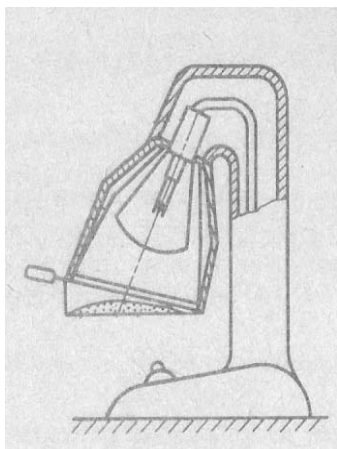


Figura No 1 Lámpara de rayos infrarrojos.

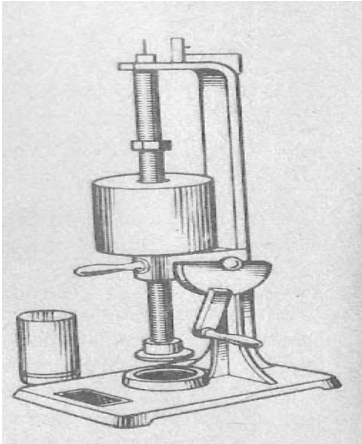


Figura No 2 Martinete.

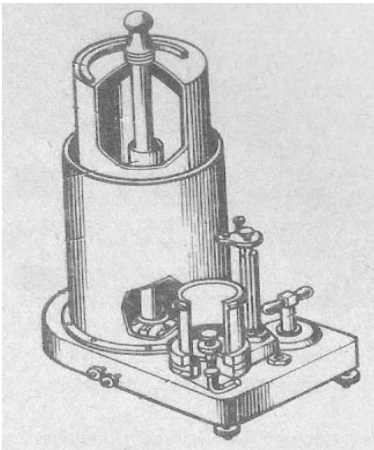


Figura No 3 Permeámetro.

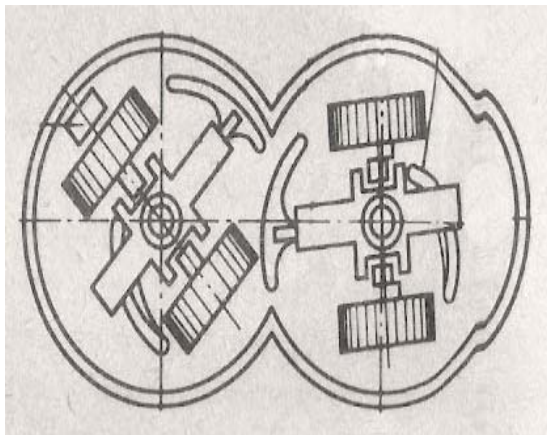
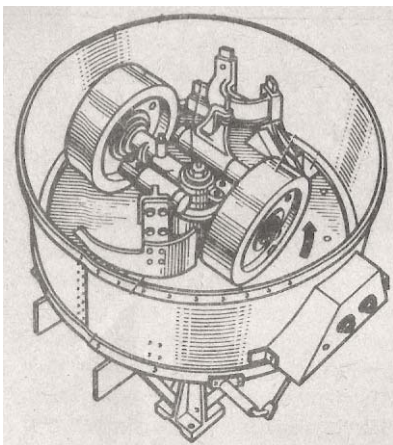


Figura No 4 Mezcladora 1M58.

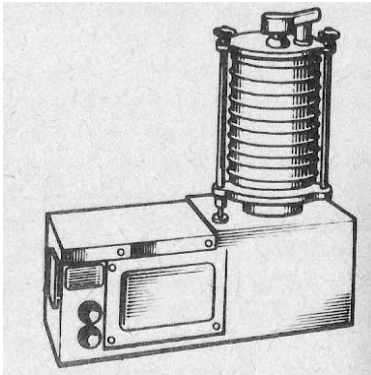


Figura No 5 Tamizadora.

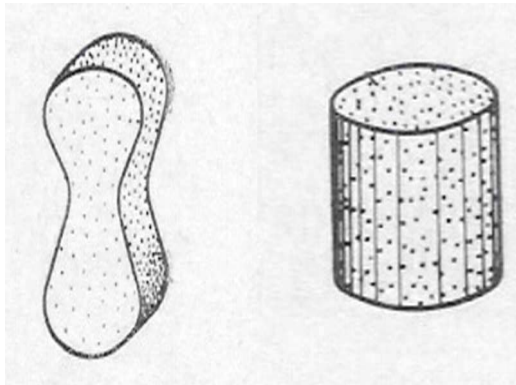


Figura No 6. Forma de las Muestras.



Figura No 7. Equipo Universal.



Figura No 8. Turbomezclador continuo.