

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO DE DIPLOMA

**Evaluación de una mezcla de moldeo autofraguante con
diferentes proporciones de arena, catalizador y resina.**

Autor: Didier Fabregat Fabregat

Tutor: Dr. C. Lázaro Humberto Suárez Lisca

Santa Clara
Copyright©UCLV , Diciembre 2023

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

DIPLOMA THESIS

Evaluation of the No bake mixtures of moulding with different proportions from sand, catalyst and resin.

Author: Didier Fabregat Fabregat

Tutor: Dr. Sc. Lázaro Humberto Suárez Lisca

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419



ACTA DE CONFORMIDAD PARA ESTUDIANTES DE PREGRADO

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Por una parte: Dielis Fabroga Fabroga
estudiante de la carrera de: Ingeniería Mecánica

en la facultad de: Ingeniería Mecánica e Industrial

en lo adelante EL ESTUDIANTE. Con número de identidad permanente: 00100170644 o pasaporte: Richard Alfonso Blum
Y por otra parte Richard Alfonso Blum Jefe del Departamento Docente de:

Ingeniería Mecánica
en la ya mencionada facultad, en lo adelante EL JEFE DE DEPARTAMENTO, y Lázaro Humberto Suarez L. Soc. profesor(es) encargado(s)

de tuturar el Trabajo de Diploma DEL ESTUDIANTE, en lo adelante EL TUTOR.
Reconocen que:

- I. A EL ESTUDIANTE se le ha aprobado como tema de investigación para su Trabajo de Diploma el titulado Evaluación de una mezcla de moldeo autofraguante con diferentes proporciones de epoxi, catalizador y resina
- II. EL ESTUDIANTE no divulgará información concierne a la investigación, tanto durante el desarrollo como tras la culminación de esta sin la debida autorización DEL TUTOR o EL JEFE DE DEPARTAMENTO.
- III. Que el Trabajo de Diploma fruto de la labor investigativa de EL ESTUDIANTE y la asesoría de EL TUTOR, resulta de TITULARIDAD EXCLUSIVA de la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
- IV. EL ESTUDIANTE una vez aprobada su tesis para la defensa, depositará una copia electrónica de la misma en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- V. A partir de la defensa y aprobación del Trabajo de Diploma, la publicación total, parcial o la elaboración de cualquier obra que se derive de esta investigación por parte de EL ESTUDIANTE, contará con la coautoría de EL TUTOR y viceversa, resultando de referencia obligada esta obra en cualquier otra que se elabore. El incumplimiento de esta cláusula, puede llevar consigo el inicio de procesos de plagio. Todo lo anterior de acuerdo a la normativa de Derecho de Autor vigente en Cuba.

Y para que así conste se firma la presente en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, a los 5 días del mes de Diciembre del año 20 23

DEF
EL ESTUDIANTE



[Signature]
JEFE DE DEPARTAMENTO

[Signature]
TUTOR

[Signature]
TUTOR

Agradecimientos

Mi agradecimiento a todos aquellos que de una u otra forma han contribuido a la realización de este trabajo, en especial a mis padres y demás familiares por su apoyo incondicional, a mi tutor, Dr. C. Lázaro Humberto Suárez Lisca por sus oportunos aportes científicos, a mis amigos, por estar siempre, a mis compañeros de aula, a los profesores de la Facultad de Ingeniería Mecánica por todos los conocimientos que nos aportaron durante el transcurso de la carrera y su constante apoyo en nuestra preparación como profesionales, a los trabajadores de la Empresa Planta Mecánica, principalmente a los de la UEB Fundición y a la gran obra de la Revolución de la que formamos parte como profesionales.

A todos ellos: ¡Muchas gracias!

Resumen

El tamaño, forma y distribución de los granos son parámetros importantes en las arenas empleadas en fundición, ya que, de los mismos, y en forma más o menos directa, dependen varias propiedades físicas y tecnológicas del molde. El conocimiento del tamaño, forma y distribución de los granos y el contenido del componente arcilloso permite establecer una clasificación de las arenas de moldeo, de manera que pueda establecerse un lenguaje común acerca de las mismas.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar la influencia que ejerce la granulometría de la arena sílice en la calidad de las mezclas de moldeo en el proceso autofraguante en la Empresa Planta Mecánica de Santa Clara, así como el consumo de resinas y catalizador.

Se diseña un experimento para evaluar las propiedades de varias arenas, yacimientos de Guane en Pinar de Río y arena del yacimiento de Casilda y se miden las principales propiedades mecánicas de las mezclas.

A partir de los resultados obtenidos se considera la mezcla 5 como la mezcla con las mejores propiedades, con 88% de arena reutilizada y 2,3% de resina y 47% de catalizador muestra una resistencia cercana a 3 kg/cm² y una permeabilidad alta en comparación al resto.

Del estudio granulométrico realizado se obtiene que ambas arenas contienen una gran cantidad de finos, incrementando considerablemente el consumo de resinas.

Palabras Clave: Mezclas autofraguantes, arena sílice, resinas, granulometría

Abstract

The size, shape and distribution of the grains are important parameters in the sands used in foundries, since several physical and technological properties of the mold depend on them, and more or less directly. The knowledge of the size, shape and distribution of the grains and the content of the clayey component allows to establish a classification of the molding sands, so that a common language can be established about them.

The objective of this work is to evaluate the influence exerted by the granulometry of the silica sand on the quality of the molding mixtures in the No bake mixtures process at the "Planta Mecánica" Santa Clara, as well as the consumption of resins and catalyst. An experiment is designed to evaluate the properties of several sands, Guane deposits in Pinar del Río and sand from the Casilda deposit, and the main mechanical properties of the mixtures are measured.

Based on the results obtained, mix 5 is considered the mix with the best properties, with 88% of reused sand and 2.3% of resin and 47% of catalyst, it shows a resistance close to 3 kg/cm² and a high permeability compared to the rest.

From the granulometric study carried out, it is obtained that both sands contain a large amount of fines, considerably increasing the consumption of resins.

Keywords: No bake mixtures process, silica sand, resin, granulometry

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.	10
CAPÍTULO 1. DESARROLLO DE MEZCLAS AUTOFRAGUANTES.....	13
1.1 Desarrollo histórico de las mezclas autofraguantes.	13
1.2 Mezclas de moldeo de fraguado en frío.	19
1.3 Mezclas de fraguado en frío con aglutinantes orgánicos.....	20
1.4 Ensayos de resistencia mecánica de las mezclas.....	21
1.5 Defectos de las piezas fundidas con la utilización de mezclas autofraguantes. 24	
1.6 Conclusiones.....	27
Capítulo 2: Caracterización de los materiales. Diseño del experimento.....	28
2.1 Introducción.....	28
2.2 Características y propiedades de los materiales que intervienen en el proceso de moldeo con resinas.	28
2.2.1 Moldeo autofraguante.	28
2.3 Caracterización de las arenas.	29
2.4 Propiedades de la resina y el catalizador.	33
2.5 Preparación de las mezclas autofraguantes con arena sílice.....	34
2.5.1 Diseño experimental.	34
2.5.2 Procedimientos de elaboración de las mezclas de moldeo en Autofraguante.	37
2.6. Características de los equipos utilizados para determinar las propiedades de las mezclas autofraguantes.....	38
2.7 Conclusiones.....	40
Capítulo 3: Resultados. Valoración económica. Aspectos medio ambientales. ...	41
3.1 Introducción.....	41
3.2 Análisis granulométrico de la arena nueva.....	41

3.3	Análisis de los resultados	42
3.4	Resultados de las variantes de mezclas con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina.	43
3.5	Valoración económica.	47
3.6	Efectos del uso de las resinas furánicas en el Medio Ambiente.....	49
3.7	Conclusiones.....	50
	Conclusiones generales.....	51
	Recomendaciones.....	52
	Bibliografía.	53
	Anexos:	54

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(Anrango Remache, 2021). 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(Rivero, Ruiz, Valencia-Morales, Villar-Cociña, & Velásquez, 2009). 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 desmoldeado 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 (Jurado, 2021). 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.

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

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

Objetivo general:

Obtener la mejor relación arena-catalizador-resina, que cumpla los parámetros de calidad requeridos durante las operaciones de moldeo-vertido-desmoldeo.

Objetivos específicos:

1. Realizar una caracterización de la arena utilizada en el proceso de moldeo en Planta Mecánica Santa Clara.

2. Realizar un estudio, utilizando un diseño de experimento, para determinar la mejor relación arena-catalizador-resina.
3. Evaluar la influencia que ejerce la granulometría de la arena sílice en la calidad de las mezclas de moldeo en el proceso autofraguante y en el consumo de resinas y catalizador.

Hipótesis: Si se obtienen mezclas de moldeo autofraguante con resina Furánica y catalizador ácido que garanticen buenos resultados de vida de banco, tiempo de desmoldeado y resistencia a la tracción -compresión se logran buenos índices técnico económicos en la UEB Fundición de la Empresa Planta Mecánica de Villa Clara.

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

Tareas de la Investigación:

- 1- Realizar un estudio de granulometría de la arena sílice utilizada en el proceso de moldeo en Planta Mecánica Santa Clara.
- 2- Realizar los análisis de las propiedades mecánicas, compresión y tracción.
- 3- Realizar el análisis de la vida de banco de las mezclas diseñadas.
- 4- Determinar la permeabilidad de las mezclas diseñadas.

CAPÍTULO 1. DESARROLLO DE MEZCLAS AUTOFRAGUANTES.

1.1 Desarrollo histórico de las mezclas autofraguantes.

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 (Anrango Remache, 2021)

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)

Resinas:

En 1942 se desarrolló 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. (Salcines, 1985)

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* – SO_2 es un proceso de caja fría en el cual la Resina Furánica de alta reactividad y elevado contenido de alcohol furfurílico (65 - 75 %), reacciona con una corriente de SO_2 , 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 CO_2* , 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, 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.

Arenas de Moldeo:

Las arenas de moldeo 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.(Efraín, 2018).

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 $Fe (AlSi_3O_8)_3$. 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 definición sirve también a otro tipo de arenas; por ejemplo, zirconio, cromita y olivino, muy usadas por los fundidores de acero. (Lamas & Valderrama, 2006).

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 1.1 se muestran las arenas que mayormente se emplean en la industria de la fundición, como podemos ver la arena sílice es una de las más 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 1.1 Arenas para mezclas de moldeo

ARENAS	SÍLICE	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

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 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 (Efraín, 2018), 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 (Grey Medina, 2010) 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 (Grey Medina, 2010) 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 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 serpentínada 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 autofraguante.

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 (Anrango Remache, 2021), 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.

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 investigación (Villacís Tulcán, 2015) 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, 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.

1.2 Mezclas de moldeo de fraguado en frío.

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 sí y un agente activante de la aglutinación, que en la mayoría de los casos es el agua.(Chate, Patel, Bhushan, Parappagoudar, & Deshpande, 2019)

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.

1.3 Mezclas de fraguado en frío con aglutinantes orgánicos.

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 desmoldeado**.(Efraín, 2018)

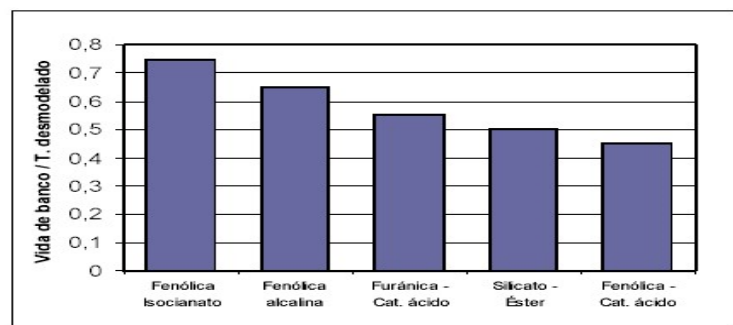
Vida de banco: Todos los procesos de endurecimiento tienen un tiempo de iniciación, el cual proporciona el tiempo para poder atacar y acondicionar los moldes (colocación de armaduras, enfriadores, etc.) hasta que, la arena va endureciendo, pierde el estado plástico y es imposible seguir trabajando con 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 acarrear problemas de arrastres y penetración.

Tiempo de desmoldeado: 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 desmoldeado), 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 1.2** la resina Furánica Cat. ácido se encuentra en los valores promedio, esto nos permite mayor maniobrabilidad a la hora del desmoldeado, podemos considerar lo antes mencionado como una ventaja más del empleo de la resina Furánica Cat. ácido.

Tabla 1.2 Vida de banco contra tiempo de desmoldeado de las diferentes resinas.



1.4 Ensayos de resistencia mecánica de las mezclas.

Las diferentes partes del molde y los machos que en él se encuentran están sometidos a diferentes tipos de carga que, en forma general, son de carácter estáticos y dinámicos. En general, son muchos más conocidos los métodos de ensayo de tipo estático.

Determinación de la resistencia a compresión.

Para la realización de este ensayo se emplea una probeta cilíndrica, obtenida mediante compactación de la mezcla de arena, con tres golpes, mediante una técnica operatoria similar a la descrita para la obtención de la probeta del ensayo de permeabilidad. Después de la compactación, la altura de la probeta (de $50 \pm 0,2$ mm de diámetro) deberá ser de $50 \pm 0,8$ mm. El peso de las probetas es variable en la medida en que lo sea el grado de compactación de las diferentes mezclas.(Hernández, Valencia, & Villar, 2001)

Medición de la resistencia a tracción.

El ensayo de resistencia a tracción se efectúa en probetas en seco. Al igual que en las probetas para el ensayo de compresión y tracción se elaboran en el equipo mediante el sistema de tres golpes del retacador, empleando los dispositivos necesarios para cada caso.

Propiedades de las resinas.

Los procesos autofraguantes más utilizados en la actualidad son:

Tabla 1.3 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 1.4 Características de las resinas para moldes y machos:

CARACTERÍSTICAS	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 atacado	Regular	Muy buena	regular	Muy buena	Mala

Tiempo desmoldeado de	15-250	1.5-40	10-240	10-180	10-240
Facilidad en el desmoldado	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
Resistencia con arena recuperada	Muy bueno	Muy bueno	Mala	Muy bueno	regular

*Cuando se emplea arena recuperada aumenta considerablemente.

En la **Tabla 1.4** 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 1.5 Características en las piezas fundidas para las diferentes resinas.

Características	Fenólica Cat. ácido	Fenólica Isocianato	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 furfurilico.
- **dependiendo de los catalizadores y de los contenidos de agua.
- ***dependiendo de los catalizadores a utilizar.

En la **Tabla 1.5** podemos ver como la característica que más 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 más 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.

1.5 Defectos de las piezas fundidas con la utilización de mezclas autofraguantes.

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.(Americanos, 1959)

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.(Americanos, 1959)

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.(Americanos, 1959)

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.(Americanos, 1959)

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 defecto 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.(Americanos, 1959)

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.

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 Strength) 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.(Americanos, 1959)

Como ya se ha comentado antes la arena nueva se incorpora al circuito de arena en verde en forma de machos, los procesos que llevan componentes inorgánicos como el Silicato-CO₂ y el Fenólico-Éster incorporan Na y K a la arena lo que hace bajar la resistencia de la capa húmeda.(Americanos, 1959)

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.(Americanos, 1959)

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 líquido. 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.
- ⌚ 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.

1.6 Conclusiones.

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

Capítulo 2: Caracterización de los materiales. Diseño del experimento.

2.1 Introducción

La arena 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 sus propiedades granulométricas ya que juegan un papel importante en la calidad de las piezas.

2.2 Características y propiedades de los materiales que intervienen en el proceso de moldeo con resinas.

2.2.1 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 desmoldeo (T/D), resistencia a la tracción, compresión 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 Planta Mecánica de Villa Clara.

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 de Fundición de la Empresa Planta Mecánica de Villa Clara.

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, la base de 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. (Mitrofanov, Barski, & Samygin, 1982).

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 (Mitrofanov et al., 1982).

2.3 Caracterización de las arenas.

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 el método del cono. Aquí se tomaron dos kilogramos de arena, Según (Mitrofanov et al., 1982) suficiente para conformar las muestras representativas, estos materiales fueron transportados hasta el laboratorio de la UEB de Fundición.

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 fundidores americanos AFS y el sistema ruso GOST.

Los ensayos se realizaron en el taller de fundición de la Empresa Planta Mecánica, 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 1M58 (ver figura 2.1). (Salcines, 1985).



Figura 2.1. Tamizadora de laboratorio.

Características técnicas de la tamizadora modelo 1M58.

En la tamizadora modelo 1M58, 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

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, 1985).

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 a través de la fórmula 1.

$$D_{prom} = \frac{25,4}{2 * NF} \quad (1)$$

Donde:

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

NF: número de finura del grano (mm).

Por ciento de granos retenidos en 3 o más 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 o más tamices sucesivos no alcance más del 70 % de los granos se considera una arena dispersa. (Grey Medina, 2010).

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.

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: (2)

$$SET = \frac{NF}{0,57} \quad (2)$$

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, 1985).

Coefficiente 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.

$$Ca = \frac{SER}{SET} \quad (3)$$

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 o 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. (Grey Medina, 2010).

Equipos para determinar la granulometría de las arenas.

La granulometría de las arenas sílice se realiza en la Tamizadora modelo 1M58 (ver figura 2.1) y la Balanza Modelo 062M3 (ver figura 2.2).



Figura 2.2 Balanza Modelo 062M3

2.4 Propiedades de la resina y el catalizador.

Resina ECOFUND 5070:

Descripción del producto.

Resina furánica fluída a bajo impacto ambiental, con elevadas resistencias mecánicas.

Se caracteriza por su buena reactividad, que permite la utilización de catalizadores en bajos porcentajes.

El desarrollo de gases y olores en fase de moldeo y colada es muy bajo.

Buena estabilidad de almacenamiento.

Sector de aplicación.

Resina para la producción de machos, moldes y motas en fundición de aleaciones de acero y hierro fundido gris y esferoidal con arena recuperada.

Propiedades mecánicas.

Resistencias según + GF+ a 20 °C de la siguiente mezcla:

Arena francesa 55 Din: 100 kg + CATALIZADOR C40: kg + ECOFUND: 1 kg

_ Vida de banco 6 minutos Desmoldeo 50 minutos

1. Flexión después de 2 horas kg/cm²: 15 Flexión después de 24 horas kg/cm² : 35.

Catalizador EUR C-40:

Descripción del producto.

Catalizador líquido a reacción acida de media reactividad.

Sector de aplicación.

Empleado en la fundición para endurecimiento en frío con resinas fenólicas, furanfenólicas y furánicas con tiempos moderados de endurecimiento y estaciones intermedias.

Composición química.

Ácidos orgánicos sulfonados (Toluenosulfónicos y homologos) y no sulfonados, aditivos.

Características físicas del producto.

-Aspecto líquido claro	líquido claro
-Ácido sulfúrico libre	-<1.0 %
-Densidad a 25 °C	1,153 g/cm ³
-Almacenamiento	6 meses
-Materia activa	65.0- 65.5 %

Uso del producto.

Añadir a la arena antes de la resina en cantidad variable de 30% a 80% del peso de la resina, en función de la temperatura ambiente, del tipo de arena, de la resina empleada y de la velocidad de endurecimiento necesitada.

Atención: en ausencia de arena, el contacto directo entre endurecedor y resina puede causar una reacción muy violenta y peligrosa.

Para la manipulación y el almacenamiento del endurecedor, evitar el uso de recipientes o tanques contaminados por resinas u otras sustancias incompatibles.

2.5 Preparación de las mezclas autofraguantes 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 las 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 desmoldeado T/D, la resistencia a la tracción, compresión y la permeabilidad)

2.5.1 Diseño experimental.

Para preparar las mezclas fue necesario utilizar un diseño de experimento que permita minimizar el número de ensayos y a la vez garantizar que las mezclas de moldeo presenten las mejores propiedades y el mínimo de costos, los experimentos se diseñaron, tomando como base los resultados observados y analizados por diferentes autores en la literatura consultada (Santiesteban Ruiz, 2009).

En dicha literatura se establece 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 Planta Mecánica se trabaja con arena

nueva y arena recuperada por lo que según la experiencia de trabajo se tomaron los valores máximos y mínimos de cada una de ellas.

Tabla: 2.1 Primera planificación de experimentos

	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%

Los resultados obtenidos con estos valores de los componentes de la mezcla anteriormente descritos no fueron satisfactorios para las condiciones de Planta Mecánica, por tanto, fue necesario hacer una nueva planificación de los experimentos, los valores de catalizador se aumentaron hasta aproximadamente los valores utilizados en la producción, hay que señalar que los mismos son muy altos.

Tabla: 2.2 Segunda planificación de experimentos en %

	Arena de Retorno (%)	Arena nueva (%)	Resina (%)	Catalizador (%)
Mezcla 1	85	15	2,3	47
Mezcla 2	85	15	2,5	48
Mezcla 3	85	15	2,7	49
Mezcla 4	85	15	2,9	50
Mezcla 5	88	12	2,3	47
Mezcla 6	88	12	2,5	48
Mezcla 7	88	12	2,7	49
Mezcla 8	88	12	2,9	50
Mezcla 9	90	10	2,3	47
Mezcla 10	90	10	2,5	48
Mezcla 11	90	10	2,7	49
Mezcla 12	90	10	2,9	50

Tabla: 2.3 Segunda planificación de experimentos en peso (g)

	Arena de Retorno (g)	Arena nueva (g)	Resina (g)	Catalizador (g)
Mezcla 1	1700	300	46	21,62
Mezcla 2	1700	300	50	24
Mezcla 3	1700	300	54	26,46
Mezcla 4	1700	300	58	29
Mezcla 5	1760	240	46	21,62
Mezcla 6	1760	240	50	24
Mezcla 7	1760	240	54	26,46
Mezcla 8	1760	240	58	29

Mezcla 9	1800	200	46	21,62
Mezcla 10	1800	200	50	24
Mezcla 11	1800	200	54	26,64
Mezcla 12	1800	200	58	29

Cuando analizamos estos resultados de esta planificación podemos ver que en la dosificación se está 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 2.7 y 5.3 kgf/cm². La literatura nos dice que la resistencia a las 24 h debe estar por encima de 3 kgf/cm².

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

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%) Ver tabla 2.3
- II. Pesar las cantidades necesarias de resina según los diseños de los experimentos Ver tabla 2.3
- III. Pesar las cantidades necesarias de catalizador según el diseño de los experimentos, Ver tabla 2.3
- IV. Mezclar los componentes según el orden siguiente:
 - Arenas
 - Catalizador
 - Resina
- V. La operación del mezclado fue la siguiente: la homogenización de la 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, compresión y permeabilidad). La probeta se confecciona inmediatamente después de sacar la mezcla del mezclador, la permeabilidad se mide después que el tiempo de desmoldeado 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).(Santiesteban Ruiz, 2009).

2.6. 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 modelo LMR-2 de fabricación polaca.



Figura 2.3: Mezcladora modelo LMR-2.

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 emplea la metodología utilizada en los talleres de fundición según (Salcines, 1985).

El equipo modelo 04315M 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.



Figura 2.4: Permeámetro modelo 04315M

Resistencia a la tracción.

El ensayo de resistencia a la tracción se efectúa en probetas con forma de ocho. 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.

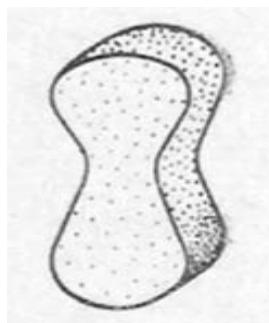


Figura 2.5: Probeta para el ensayo de tracción

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.



Figura 2.6: Equipo para determinar resistencias mecánicas.

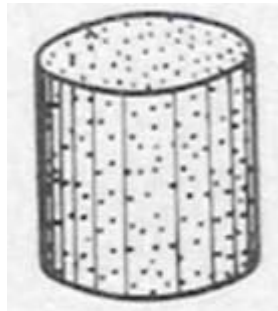


Figura 2.7: Probeta para el ensayo de compresión.

2.7 Conclusiones

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 3: Resultados. Valoración económica. Aspectos medio ambientales.

3.1 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.(LEYVA, 2006).

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.(Villacís Tulcán, 2015).

3.2 Análisis granulométrico de la arena nueva.

En la tabla 3.1 se muestran los resultados obtenidos a partir de los análisis realizados a la arena sílice. Estos valores se pueden apreciar gráficamente en la figura 3.1.

Tabla 3.1 Valores de la granulometría obtenida en el ensayo

Tamices	Tamices	Peso en el tamiz	
GOST	AFS	(g)	(%)
2,5	6	0	0
1,6	12	0	0
1	16	1,7	1,7
0,63	20	4,78	4,78
0,4	30	19,85	19,85
0,315	40	18,6	18,6
0,2	50	34,12	34,12
0,16	70	13,65	13,65
0,1	140	5,68	5,68
0,063	200	1,53	1,53
0,05	270	0	0
Fondo	Fondo	0	0

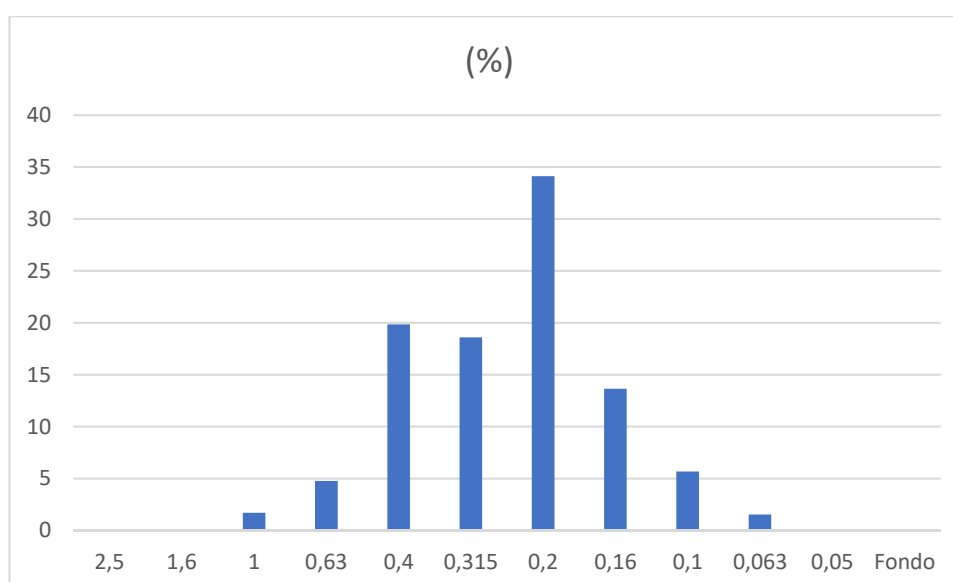


Figura 3.1: Gráfico con la distribución granulométrica.

3.3 Análisis de los resultados

Como se aprecia en la figura 3.1 la distribución granulométrica de la arena sílice utilizada en Planta Mecánica presenta una distribución no uniforme de los granos y una amplia presencia de finos y componente arcilloso, como se conoce 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.

Como se puede apreciar en la figura 3.1, la arena según AFS como el número de finura se encuentra entre los valores de 30 – 70 se clasifica como arena media, con granos comprendidos entre 0,20 y 0,35 mm. y el grado o grupo es el 5 y además se encuentra una cantidad considerable entre los tamices 70 y 200, esto da la medida de lo anteriormente expresado sobre la cantidad de finos presentes.

3.4 Resultados de las variantes de mezclas con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina.

Como se plantea en el cuerpo del trabajo, existe en la literatura un consenso sobre los valores que deben tener los niveles de cada componente dentro de la mezcla autofraguante.

En el trabajo (Grey Medina, 2010) y en (Santiesteban Ruiz, 2009) se puede apreciar como ellos utilizan una primera aproximación, evalúan y llegan a una segunda aproximación. En este trabajo se toma como primera la segunda de ellos, se puede ver en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Primera planificación en porcentaje

	AR (%)	AN (%)	Res (%)	Cat (%)
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%

Los resultados obtenidos no fueron satisfactorios, el tiempo de endurecimiento de la mezcla era muy grande y por tanto no era útil en la producción.

Se decidió modificar el experimento con los datos que aparecen en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Segunda planificación en porcentaje.

	AR (%)	AN (%)	Res (%)	Cat (%)
mezcla 1	85	15	2.3	47
mezcla 2	85	15	2.5	48
mezcla 3	85	15	2.7	49
mezcla 4	85	15	2.9	50
mezcla 5	88	12	2.3	47
mezcla 6	88	12	2.5	48
mezcla 7	88	12	2.7	49
mezcla 8	88	12	2.9	50
mezcla 9	90	10	2.3	47
mezcla 10	90	10	2.5	48
mezcla 11	90	10	2.7	49
mezcla 12	90	10	2.9	50

Si analizamos estos resultados podemos ver que en la dosificación se está 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 2,7 y 5.3 Kgf/cm². Aunque la resistencia tiende a aumentar con el incremento del porcentaje de arena de retorno, no deben llegar a 3 Kgf/cm².

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, se mantiene un valor alrededor de los 17 minutos, es poco apreciable la diferencia que existe por tal motivo se toma este valor como promedio. En el caso del tiempo de desmoldeo está muy relacionado con la vida de banco y tiende a ser proporcional a este.

Tabla 3.4. Tabla resumen de los resultados obtenidos en los experimentos.

	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	17	27	130	1,9	2,2	2,7
mezcla 2	17	27	134	2,25	2,5	2,9
mezcla 3	17	27	134	2,45	2,9	3,3
mezcla 4	17	27	142	2,5	3	3,5
mezcla 5	17	27	140	2,8	3,3	3,4
mezcla 6	17	27	140	3,3	3,5	4
mezcla 7	17	27	138	3,5	3,7	4,4
mezcla 8	17	27	134	3,6	3,8	4,8
mezcla 9	17	27	134	2,6	3	3,8
mezcla 10	17	27	134	2,9	3,3	4
mezcla 11	17	27	142	3,1	3,3	4,6
mezcla 12	17	27	151	3,5	4,3	5,3

Los ensayos de permeabilidad se realizaron en mezclas con 2h de obtención, los resultados se pueden apreciar en la figura 3.2. Existe una gran dispersión de los resultados por tanto se puede concluir que no son concluyentes los mismos, no obstante, se puede destacar que existe una tenencia a una mayor permeabilidad en mezclas con un alto nivel de arena reciclada y componentes químicos (resina y catalizados), son los casos de la mezcla 4 con 85% de arena reutilizada y los máximos de resina y catalizador, también el caso de la mezcla 12 con 90% de arena y también los máximos de resina y catalizador.

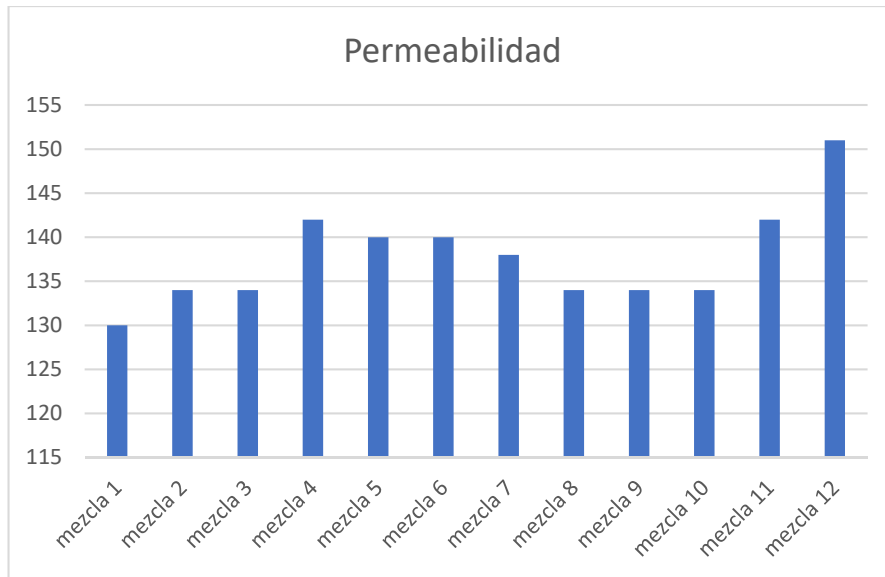


Figura 3.2: Resultados de la medición de la permeabilidad.

El ensayo de resistencia a la compresión se realizó en la máquina de ensayos universal, la misma tiene un nivel de incertidumbre alto debido al desgaste y falta de mantenimiento. En la figura 3.3 se muestra el comportamiento de las mediciones tomadas en diferentes horarios, 4 horas, 8 horas y 24 horas. La resistencia aumenta en todos los casos con el paso del tiempo y se aprecia un patrón, las muestras con mayor porcentaje de resina y catalizador tienen los mayores niveles de resistencia, esta condición tiene sus pros y sus contras, según (Sotomayor et al., 2022) el límite de resistencia adecuado sería 3kg/cm² por tanto si tomamos este criterio las mezclas aceptadas serían desde la mezcla 1 hasta la mezcla 5 y en el caso de las mezclas 9, 10 y 11 no deben llegar a las 24 horas porque su resistencia se incrementa demasiado al igual que la fragilidad del molde, provocando roturas del mismo y haciendo muy engorroso el proceso de desmoldeo.

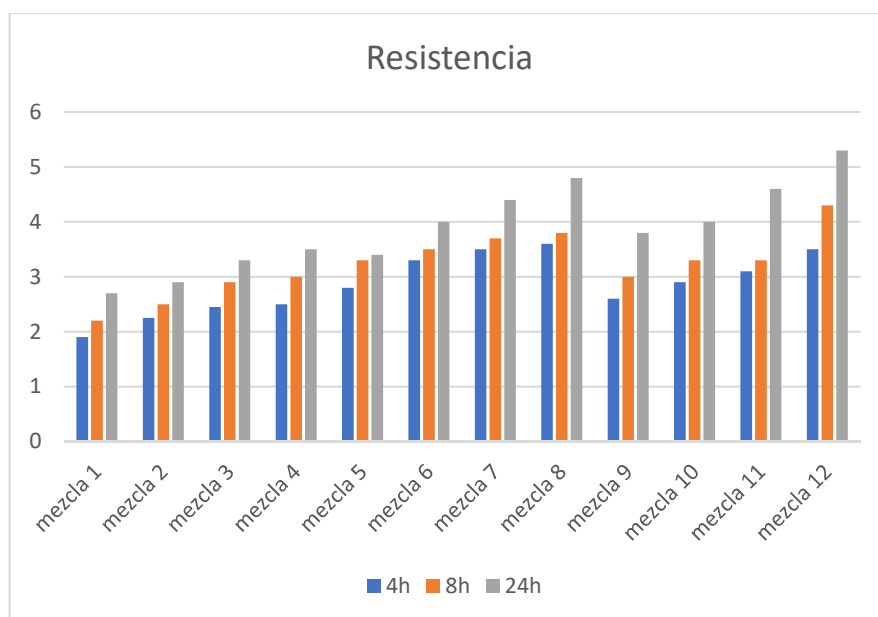


Figura 3.3: Resultados de las mediciones de resistencia a la compresión a diferentes horas.

3.5 Valoración económica.

Las mezclas de moldeo autofraguante con arena sílice disminuye los costos de elaboración, ya que la sílice es de producción nacional y facilita el flete para transportar esta arena a la Empresa Planta Mecánica, 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.

Costo de 1 Tonelada de Mezcla Autofraguante

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

Tabla 3.5: Precio de los Materiales a utilizar.

Materiales	precio	unidad
Arena sílice nueva	0,1328	USD/Kg.
Resina	3,0618	USD/kg
Catalizador	1,7892	USD/kg

Cálculo del Gasto 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 2.3% (Sobre el peso de la arena total, (23 Kg.)
- Catalizador 47% (Sobre el Peso de la Resina, 10,81 Kg.)

Tabla 3.6: Gastos de los materiales fundamentales

	Arena Nueva	Resina	Catalizador
%	12%	2,3%	47%
Kg	120	23	10,81
precio	15,94	70,42	19,34

$$Gasto_{Materiales\ fundamentales} = P_{arena} + P_{resina} + P_{catalizador}$$

$$Gasto_{Materiales\ fundamentales} = 15,94 + 70,42 + 19,34$$

$$Gasto_{Materiales\ fundamentales} = 105,7\ USD$$

Cálculo del Gasto de mano de obra para una tonelada 1000 Kg.

Tabla 3.7: Datos para la determinar el gasto por mano de obra

Tiempo de moldeo	10	min/t
Tarifa del operador	0,113	USD/min

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

$$Gasto_{mano\ de\ obra} = 10 * 0,113$$

$$Gasto_{mano\ de\ obra} = 1,13\ USD$$

Cálculo del Costo total.

$$\text{Costo Total} = \text{Gasto}_{\text{Materiales fundamentales}} + \text{Gasto}_{\text{Mano de obra}}$$

$$\text{Costo Total} = 105,7 + 1,13$$

$$\text{Costo total} = 106,83 \text{ USD}$$

El costo total de una tonelada es de 106,83 USD. Como podemos ver el costo mayor lo representa el consumo de resina, que a su vez incrementa el consumo de catalizador.

3.6 Efectos del uso de las resinas furánicas en el Medio Ambiente.

Según (Jurado, 2021), en la búsqueda e identificación de los efectos negativos al medioambiente que causan las actividades operativas de las fundiciones, se encontró que es debido a la existencia de los proceso térmicos y al uso de compuestos y aditivos químicos o aglutinantes orgánicos; en razón de ello, los problemas que se plantean con respecto a las fundiciones, son los relacionados con la emisión de gases, la eliminación de los residuos y la exposición de las personas a elementos químicamente contaminantes, que alteran la calidad ambiental.

El problema de la generación de residuos en las fundiciones, es debido a los sólidos provenientes de las arenas de moldeo, de las escorias y polvos que salen de los hornos, así como los materiales que revisten los mismos; se enfrenta un gran reto de poder deshacerse de toda la arena usada por la necesidad de contar con recurso humano calificado y logística para todo el trabajo, ya que los residuos mencionados contienen aproximadamente 95% de arena de sílice, siendo el resto, carbón mineral, arcilla, etc., además, es frecuente que la arena proveniente del desmoldeo de las piezas y de las zarandas vibratorias, se recicle para la fabricación de moldes nuevos, las que luego generan inherentemente polvo y desechos.(IHOBE, 2000)

3.7 Conclusiones.

1. La arena nueva es una arena fina perjudicial para la mezcla cuando tiene mucho polvo, la arena de retorno es beneficiosa, 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 desmoldeado. Los valores de resina que garantizan buenos parámetros técnicos están por encima de 2,3 %.
3. El costo mayor lo representa el consumo de resina, que a su vez incrementa el consumo de catalizador.

Conclusiones generales.

- 1 El análisis granulométrico realizado a la arena sílice muestra que existe una gran dispersión entre los granos, la distribución mayoritaria se encuentra en más de tres tamices, además se aprecia una gran cantidad de finos y contenido arcilloso, estas dos últimas características son las causas fundamentales del alto consumo de resinas y catalizadores.
- 2 Los ensayos de permeabilidad muestran que existe una gran dispersión de los resultados por tanto se puede concluir que no son concluyentes los mismos, no obstante, se puede destacar que existe una tenencia a una mayor permeabilidad en mezclas con un alto nivel de arena reciclada y componentes químicos (resina y catalizados), son los casos de la mezcla 4 con 85% de arena reutilizada y los máximos de resina y catalizador, también el caso de la mezcla 12 con 90% de arena y también los máximos de resina y catalizador.
- 3 La resistencia aumenta en todos los casos con el paso del tiempo y se aprecia un patrón, las muestras con mayor por ciento de resina y catalizador tienen los mayores niveles de resistencia, esta condición tiene sus pro y sus contras, según (Sotomayor, Anrango, & Campoverde, 2022) el límite de resistencia adecuado sería 3kg/cm^2 por tanto si tomamos este criterio las mezclas aceptadas serían desde la mezcla 1 hasta la mezcla 5 y en el caso de las mezclas 9, 10 y 11 no deben llegar a las 24 horas porque su resistencia se incrementa demasiado al igual que la fragilidad del molde, provocando roturas del mismo y haciendo muy engorroso el proceso de desmoldeo.
- 4 A partir de los resultados obtenidos se considera la mezcla 5 como la mezcla con las mejores propiedades, con 88% de arena reutilizada y 2,3% de resina y 47% de catalizador muestra una resistencia cercana a 3 kg/cm^2 y una permeabilidad alta en comparación al resto.

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 Estudiar minuciosamente la influencia de la granulometría y la temperatura de la arena en las mezclas de moldeo autofraguante.
- 3 Realizar un proceso de extracción de finos y disminución del contenido arcilloso de la arena utilizada.

Bibliografía.

- Americanos, A. d. F. (1959). Defectos de fundición. *Madrid: Editorial Aguilar.*
- Anrango Remache, J. V. (2021). *Estudio y caracterización de sistemas de moldeo fenólico-isocianato y furánico en diferentes arenas base aplicadas en fundición nodular.* Quito, 2021.
- Chate, G. R., Patel, G. M., Bhushan, S. B., Parappagoudar, M. B., & Deshpande, A. S. (2019). Comprehensive modelling, analysis and optimization of furan resin-based moulding sand system with sawdust as an additive. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 41*, 1-24.
- Efraín, V. L. (2018). Arenas de moldeo aglomeradas con resinas: orgánicas sintéticas, inorgánicas y orgánicas naturales biopolímeros, aplicadas en la industria automotriz.
- Grey Medina, S. I. (2010). *Influencia de la granulometría de la arena sílice en el consumo de resina y catalizador en la mezcla de moldeo autofraguante en la Unidad Estatal Básica Fundición de la empresa Mecánica del Níquel.* Departamento Metalurgia-Química.
- Hernández, J., Valencia, E., & Villar, E. (2001). Influencia de la humedad en el comportamiento de la resistencia a la compresión en mezclas de moldeo. *Boletín de la sociedad española de Cerámica y Vidrio, 40(2)*, 107-111.
- IHOBE, S. (2000). Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones: Arenas de moldeo en fundiciones férreas. *Sociedad pública de gestión ambiental y Asociación de fundidores País Vasco y Navarra.*
- Jurado, C. D. V. (2021). Factores predominantes que afectan el medio ambiente por el uso de la resina furanica en moldes para la fundicion de metales. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 24(48)*, 197-204.
- Lamas, V., & Valderrama, L. (2006). Estudio de factibilidad técnica y económica para producir arenas de moldeo para fundición Metalnorte. *Revista de la Facultad de Ingeniería (UDA, Chile), 20.*
- LEYVA, A. (2006). 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.
- Mitrofanov, S., Barski, L., & Samygin, V. (1982). Investigación de la capacidad de enriquecimiento de los minerales. *Mir. Moscú.*
- Oliveros, E. (2002). Evaluación de mezclas autofraguantes para la obtención de piezas fundidas en la empresa mecánica del níquel. *ISMM. Moa.*
- Rivero, L. P., Ruiz, J. H., Valencia-Morales, E., Villar-Cociña, E., & Velásquez, A. L. (2009). Desarrollo de una nueva mezcla autofraguante para machos de fundición. *Boletín de la sociedad española de Cerámica y Vidrio, 48(2)*, 81-90.
- Salcines, C. (1985). Tecnología de fundición. *Editorial Pueblo y Educación, 1.*
- Santiesteban Ruiz, J. M. (2009). *Evaluación de las mezclas de moldeo autofraguantes con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina.* Departamento Metalurgia-Química.
- Sotomayor, O. E., Anrango, J., & Campoverde, C. D. (2022). Characterization of No-Bake Phenolic-Isocyanate and Furanic Binders in Different Base Metal Casting Sands. *International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering (IJMMME), 12(1)*, 1-19. doi: 10.4018/IJMMME.299042
- Villacís Tulcán, E. N. (2015). *Análisis de la conducta de mezclas de moldeo para fundición aglomeradas con resinas autofraguantes fenólico uretanos.* Quito: EPN, 2015.

Anexos:

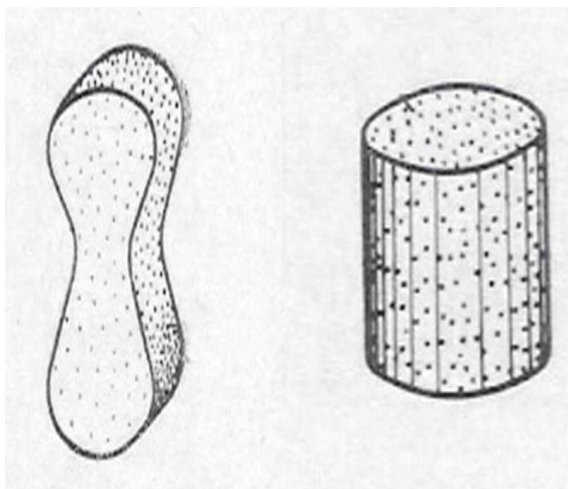


Figura 1: Formas de las Muestras.



Figura 2: Retacador.

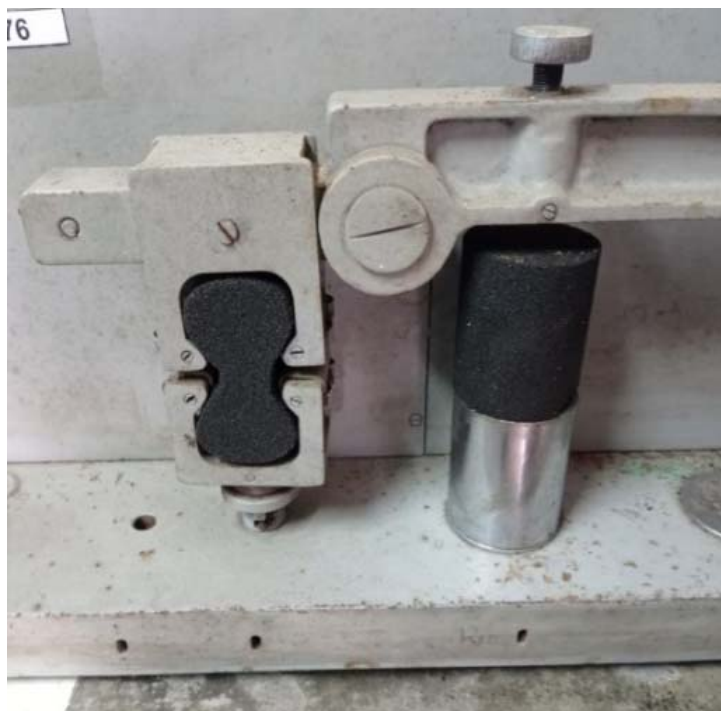


Figura 3: Ensayos Tracción-Compresión.



Figura 4: Probeta rota después del ensayo de tracción.



Figura 5: Probeta rota después del ensayo de compresión.



EL COMITÉ ORGANIZADOR DE LA
IV CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
OTORGA EL PRESENTE

CERTIFICADO

A LA PONENCIA

EVALUACIÓN DE UNA MEZCLA DE MOLDEO AUTOFRAGUANTE CON DIFERENTES PROPORCIONES DE ARENA, CATALIZADOR Y RESINA.

DE LOS AUTORES

DR. LÁZARO HUMBERTO SUÁREZ LISCA, DR. NORGE I. COELLO MACHADO, ING. ALEXIS ALONSO MARTINEZ, DIDIER FABREGAT FABREGAT

POR SU PARTICIPACIÓN EN

XVIII SIMPOSIO DE SOLDADURA Y MATERIALES



Dr. C. Osana Molerio Pérez
Rectora



ISBN 978-959-312-570-3

Santa Clara, del 13 al 17 de noviembre de 2023