



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO - METALÚRGICO
"DR. ANTONIO NUÑES JIMÉNEZ"
FACULTAD METALURGIA - ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA

Trabajo de Diploma



Evaluación de la sustitución de la arena de cromo por arena sílice en la fabricación de piezas de acero al manganeso.

Autor: Alexander Rodríguez Guerrero.

Tutores: Ing. Atilano Oliveros Guilarte.

Ing. Maria Victoria Rojas Fernández.

Moa 2008

Año 50 de la Revolución.



**Republica de Cuba.
Ministerio de Educación Superior.
Instituto Superior Minero- Metalúrgico.
Dr. Antonio Núñez Jiménez.
Especialidad Metalurgia.**

Trabajo de diploma

Evaluación de la sustitución de la arena de cromo por arena sílice en la fabricación de piezas de acero al manganeso.

Autor: Alexander Rodríguez Guerrero

Firma: _____

Tutores: Ing. Atilano Oliveros Guilarte.

Firma: _____

Ing. Maria Victoria Rojas Fernández.

Firma: _____

Moa 2008

ÍNDICE.

Contenido.	Pág.
Resumen.	4
Introducción.	6-6
Capitulo I. Marco teórico de la investigación.	7
1.1. Introducción.	7
1.2. Antecedentes y actualidad del tema.	7-14
1.3. Revisión bibliográfica.	15-17
1.4. Conclusiones del capítulo i.	18
Capitulo II. Materiales y métodos.	18
2.2 Métodos de investigación.	19-20
2.3. Análisis realizados a las arenas.	20-22
2.4. Preparación de las mezclas por el método autofraguante con arena sílice y mezclas con arena cromita.	22-25
2.5. Preparación de las mezclas de moldeo en verde utilizando arena sílice y mezcla de arena de cromita.	25-26
2.6. Procedimientos de elaboración de las mezclas de moldeo por el método autofraguante realizada en el proceso industrial.	26-27
2.7. Preparación de las mezclas de moldeo en verde utilizando arena sílice en el proceso industrial.	27-28
2.8. Selección de la pieza a fundir de acero al manganeso.	28
Capitulo III. Análisis y discusión de los resultados.	30
3.2. Fundamento teórico.	30-34
3.3. Análisis de resultados.	34-38
3.4. Procedimientos de elaboración de las mezclas de moldeo autofraguante obtenido en el laboratorio.	38-40
3.5. Resultados obtenidos en las mezclas autofraguante con arena sílice y cromita.	40-42
3.6. Procedimientos de elaboración de las mezclas de moldeo en verde con arena sílice y cromita.	42

3.7. Resultados en los experimentos de las mezclas del moldeo tradicional a escala de laboratorio.	42-43
3.8. Validación de los resultados obtenidos a escala de laboratorio en la escala industrial.	44-45
3.9. Resultados obtenidos en las mezclas autofraguante con arena sílice obtenida en el proceso industrial.	45-46
3.10. Preparación de las mezclas de moldeo en verde utilizando arena sílice en el proceso industrial.	46-47
3.11. Resultados obtenidos en las mezclas del moldeo tradicional a escala industrial.	47-48
3.12. Validación de los resultados obtenidos a escala industrial.	48-49
3.13. Evaluación de las piezas fundidas de acero al manganeso.	49
Capitulo IV. Valoración económica.	50
4.1. Introducción.	50
4.2. Valoración económica.	50-54
Conclusiones.	55
Recomendaciones	56
Bibliografía	57-58
Anexo 1	59-64
Anexo 2	65-68

RESUMEN.

La arena es el material básico que emplea el moldeador para confeccionar sus moldes, para los diversos tipos de metales y aleaciones que usualmente se producen en los talleres y fabricas de producción por fundición. Con este trabajo se logra la disminución de importaciones de arena de cromita, para la fabricación de piezas fundidas, destinadas a las empresas del níquel. En la presente investigación se trata sobre la utilización de la arena sílice en las mezclas de moldeo por el método autofraguante y tradicional como posible uso en la obtención de piezas de acero al manganeso. Los resultados muestran que el sistema de moldeo autofraguante incrementa la productividad del proceso y ofrece un mejor acabado superficial de las piezas obtenidas.

Palabras claves: Sistema Autofraguante, Mezclas de moldeo, Arena

ABSTRACT.

The sand is the basic material used by the shapers to make their moulds, for various kinds of metals and alloys that usually occur in the workshops and factories for production foundry. With this work is an accomplished declining import of chromites sand, for the manufacture of castings, aimed at companies in the nickel. In the current investigation focuses on the use of silica sand mixtures in moulding the traditional method no bake and as a possible use in obtaining spare the manganese steel. The results show that the system of casting no bake increases productivity of the process and provides a better surface finish of parts obtained.

Keywords: No bake, Mixtures of moulding, Sand

INTRODUCCIÓN.

En el 6^{to} Período Ordinario de la Legislatura de la Asamblea Nacional del Poder Popular se planteó, que el país tiene la tarea de alcanzar la invulnerabilidad económica, para garantizar la seguridad nacional, quedando plasmadas las perspectivas del año 2008. Entre los aspectos discutidos, se pronosticaron una disminución del 1,6 % de las importaciones y un aumento de 37,8 % de la producción de acero.

Para dar cumplimiento a los pronósticos planteados, las empresas productoras de acero del país, deben proponerse elevar su trabajo de desarrollo, innovación y gestión tecnológica, sobre la base de una mayor integración de sus fuerzas técnicas, incrementando la producción y el rigor de su actuación, coadyuvando así al cumplimiento exitoso de las tareas asignadas por nuestro gobierno como son los Programas de la Revolución y la Batalla de Ideas. La Empresa Mecánica del Níquel (EMNi) Comandante Gustavo Machin Hoed De Beche situada en el Km. 1½ de la carretera Moa – Sagua, Provincia de Holguín. Esta se ha mantenido en constante desarrollo, así como en la modernización en la elaboración de piezas fundidas fundamentalmente de acero.

Debido a la creciente competencia en el mercado mundial las empresas cubanas se ven obligadas a incrementar la calidad y a realizar un amplio estudio en la preparación, ejecución y venta de la producción, con el objetivo de aprovechar al máximo cada proceso, elaborando productos que sean capaces de competir al más alto nivel en un mercado cada vez más globalizado.

Hay que tener en cuenta la necesidad de aplicar normas de calidad y de inspección en la producción de piezas fundidas sanas por su gran importancia económica.

Para la fabricación de piezas de elevada calidad, la utilización de arenas de cromitas han dado buenos resultados en la Empresa Mecánica del Níquel debido a sus propiedades químicas, pero la empresa que producía esta arena fue cerrada (Empresa Cromo-Moa), por lo que la EMNI adquiere este material importado desde España a un precio de 988.42 CUC/tn. Para disminuir las importaciones, en la actualidad, la empresa mecánica del Níquel utiliza la arena de sílice proveniente de Santi Espíritu, para la obtención de todas las piezas fundidas, de diversas

aleaciones, no siendo así en el caso de las piezas fundidas de acero al manganeso, debido a las reacciones químicas que ocurren entre el molde y el fundido.

Teniendo en cuenta esto, se plantea la siguiente situación problemática:

En la UEB de Fundición de la empresa Mecánica del Níquel al utilizar la arena de sílice para fundir piezas de manganeso se evidencian en la superficie de las mismas mal acabado.

Problema: Deficiente acabado superficial en las piezas fundidas de acero al manganeso, utilizando moldes de arena de sílice.

Hipótesis: Si se preparan adecuadamente los moldes para fundir aceros al manganeso con mezcla de arena sílice, es posible obtener piezas sanas, con un buen acabado superficial.

Objetivo general: Obtener piezas sanas, con buen acabado superficial de acero al manganeso con la utilización de mezclas de arena sílice.

Objetivos específicos:

1. Evaluar las mezclas que se preparan de arena sílice para obtener las piezas de acero al manganeso.
2. Obtener 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.
3. Validar los resultados obtenidos a escala industrial.

Tareas de la Investigación:

1. Análisis del estado del arte de la problemática.
2. Caracterización de las arenas sílice y cromita.
3. Preparación de mezclas de Moldeo.
4. Selección de la pieza a estudiar.
5. Análisis y discusión de los resultados.
6. Estudio de prefactibilidad económica.

CAPITULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.

1.1. INTRODUCCIÓN.

La mayor producción de piezas fundidas se realiza en moldes de arenas. Los moldes utilizados en fundición 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. La arena más empleada es la de 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.

1.2. ANTECEDENTES Y ACTUALIDAD DEL TEMA.

1.2.1. Características generales de las arenas.

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.

1.1.2. 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 $Fe(AlSi_3O_8)_3$. 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.

1.2.3. Arena de Cromita.

Las arenas de Cromita tienen como componente principal Cromo, Hierro, Aluminio y Silicio y su fórmula química es $FeO.Cr_2O_3$ con una densidad de 4.35 - 4.45 g/cm³, (Salcines C.M; 1985) la temperatura de fusión de la cromita, para un contenido de Cr_2O_3 alrededor de 40% es próxima a 1800 °C. Además de Cromo como componente principal puede contener cuarzo, arcilla, entre otras, como impurezas las cuales empeoran sus propiedades y disminuyen la temperatura de fusión.

Entre las arenas de moldeo, la Cromita ocupa un lugar principal en la producción por fundición, los principales productores son: Zimbabwe, Sudáfrica, Filipinas, Finlandia y la ex URSS que poseen los principales yacimientos de Cromita del mundo. (Salcines C.M; 1985)

1.2.4. Materia prima utilizada en la fabricación de los molde de arena.

En la fabricación de un molde de arena intervienen los siguientes materiales:

- Arena (sílice o cromita).
- Aglutinantes (bentonita, vidrio líquido, melaza, resinas).
- Aditivos (aserrín, cáscara de arroz, carbón mineral)

1.2.5. 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, este 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 las mezclas es el agua, para el moldeo en verde.

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.

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 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.

Para evitar defectos indeseados en las piezas fundidas es necesario realizarle los siguientes ensayos en el laboratorio:

- 1 Determinación de la granulometría de la arena.
- 2 Determinación de la humedad.
- 3 Determinación de la penetrabilidad gaseosa.
- 4 Determinación de la resistencia a la compresión y la tracción.

Según (Salcine. C.M 1985)

1.2.6. Aglutinantes: son sustancias de origen orgánico e inorgánico, que tienen la función de unir los granos de arena entre sí. Para que una sustancia se considere como material aglutinante satisfactorio en una mezcla de moldeo, la misma debe cumplir las siguientes exigencias tecnológicas tales como:

1. Debe distribuirse uniformemente por toda la superficie de los granos de arena y adherirse fuertemente a los mismos.
2. Debe ser capaz de conferir alta resistencia mecánicas a las mezclas de moldeo.
3. Debe ser una sustancia de baja higroscopicidad, de manera que los moldes no absorban humedad.
4. Deben producir una mezcla de fácil desmoldeabilidad.

1.2.7. Aditivos: son todas las sustancias que se añaden a la mezcla diferentes a la arcillas. Los aditivos que se emplean en las mezclas de moldeo pueden ser divididos en los siguientes grupos.

1. Aquellos que incrementan la elasticidad de la mezcla.
2. Los que mejoran el acabado superficial y evitan la penetración metálica. (marshalita, carbón mineral, breas y alquitranes).
3. Los que reducen la formación de defectos superficiales en el molde. (aserrín, cáscara de arroz)
4. Aquellos que incrementan la tolerancia de humedad en la mezcla de moldeo. (aserrín).

1.2.8. Clasificación de las propiedades de las mezclas para moldes.

Las propiedades que deben poseer las mezclas y materiales de moldeo se dividen en tres grandes grupos:

- Propiedades termo - físicas.
- Propiedades mecánicas.
- Propiedades tecnológicas.

El conjunto de propiedades que agrupamos bajo el término de termo-físicas son aquellas que deben poseer los materiales y mezclas de moldeo para garantizar la formación del producto fundido, concebido este como un proceso de interacción térmica entre el metal y el molde. Este grupo abarca el conjunto de magnitudes termo – físicas que definen el comportamiento térmico del molde en su relación con la pieza fundida, además en él se incluyen la refractariedad y la generación de gases.

Este grupo de propiedades termo – física ejerce mayor influencia en lo relacionado con las cualidades del producto, puesto que determina el régimen de solidificación de la pieza y la posibilidad de obtener productos sanos, libres de defectos producidos por gases.

Las propiedades mecánicas son aquellas que garantizan una determinada resistencia en los moldes y machos, como condición necesaria para su producción, ensamblaje y transportación, además de poder resistir las cargas metalostáticas, acciones erosivas y otros efectos similares que se producen durante el vertido del metal líquido en el molde.

Las propiedades tecnológicas son un conjunto de propiedades que determinan la posibilidad de que una mezcla de moldeo pueda ser empleada como tal, satisfactoriamente, en la elaboración de moldes y machos.

Estas propiedades son, principalmente: compatibilidad, colapsibilidad, desmoldeabilidad, fluidez, higroscopicidad, durabilidad, moldeabilidad, adhesividad a la plantilla y vida de banco.

1.2.9. Preparación de las mezclas de moldeo.

Mezcla de moldeo en verde: este método se conoce como fundición en moldes húmedos, o fundición en arenas en verdes. Estos moldes son más indicados para fundir piezas pequeñas de poco peso y paredes delgadas y para piezas de poca responsabilidad. Como se emplean sin secado previo, resultan más barato que otros moldes que sufren desecación. Presentan poca plasticidad y resistencia, se preparan a base de material refractario (arena sílice o de cromita), aglutinantes (arcilla: bentonitas), y aditivos (melaza y agua).

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, la 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.

1.2.10. 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.

1.2.11. 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.

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 penetración.

1.2.12. Características de los aceros al manganeso.

Generalidades.

El manganeso aparece prácticamente en todos los aceros, debido, principalmente, a que se añade como elemento de adición para neutralizar la perniciosa influencia del azufre y de oxígeno, que siempre suelen contener los aceros cuando se encuentran en estado líquido en los hornos durante los procesos de fabricación. El manganeso actúa también como desoxidante y evita, en parte, que en la solidificación del acero se desprendan gases, que dan lugar a porosidades perjudiciales en el material. Si los aceros no tuvieran manganeso, no se podrían laminar ni forjar, porque el azufre que suele encontrarse en mayor o menor cantidad en los aceros, formarían sulfuros de hierro, que son cuerpos de muy bajo punto de fusión (981°C aproximadamente) y para estas operaciones es necesario alcanzar temperaturas por encima de los 1000°C. Los aceros ordinarios y los aceros aleados en los que el manganeso no es elemento fundamental, suelen contener generalmente porcentajes variables de 0.30 a 0.80%.

Los aceros al manganeso de uso más frecuente son:

- Aceros al manganeso de gran resistencia, que generalmente pertenecen al grupo de aceros de media aleación, en los que al emplearse el manganeso en cantidades variables de 0.80 a 1.60%, con contenidos en carbono de 0.30 a 0.050%, se consigue mejorar la templabilidad y obtener excelentes combinaciones de características mecánicas aun en piezas de cierto espesor.
- Aceros indeformables con 1 a 3% de Mn y 1% de carbono, aproximadamente, en los que la presencia de un alto porcentaje de manganeso, hace posible el temple con simple enfriamiento en aceite, o el aire, las deformaciones de las herramientas son muy pequeñas.
- Aceros austeníticos al manganeso con 12% de Mn y 1% de carbono, aproximadamente, a la temperatura ambiente son austeníticos y tienen gran

resistencia al desgaste, empleándose principalmente, para cruzamientos de vías, mordazas de maquinas trituradoras, excavadoras, etc.

Aplicaciones de los aceros al manganeso.

Las principales aplicaciones del acero austenítico al manganeso son en las industrias de la construcción, minería, canteras, perforación de pozos de petróleo, manufactura del acero, ferrocarriles, manufactura del cemento y arcilla, dragas y en las industrias madereras. Este acero principalmente usado en trituradoras de roca, molinos, cubos o canjilones de dragas, cubos y dientes de palas, bombas para manipulación de arenas y gravas y en una multitud de aplicaciones asociadas. Un uso importante es en las vías ferrocarrileras, en cruces de vías, en ramas, chuchos, cruceros, donde los impactos múltiples en las intersecciones son especialmente severos. El acero austeníticos al manganeso resiste el desgaste de metal contra metal por consiguiente es usado en ruedas dentadas para cadenas, piñones, engranes, ruedas, cadenas de transportadores, placas de desgaste, zapatas.

Composición Química de los aceros al manganeso.

La composición química del acero al manganeso austenítico se muestra en la tabla No 1.1 según la **norma ASTM A 128/128M grado B2**.

Tabla No 1.1. Composición Química.

Composición Química, %									
C		Mn		Si		Impurezas, máx.		Otros, máx.	
De	A	De	a	De	a	P	S	Ni	Cr
1.00	1.20	11.5	14.0	0.3	1.00	0.07	0.04	0.50	

La temperatura de vertido de los aceros al manganeso, se representan en la tabla No 1.2.

Tabla No 1.2. Temperatura de vaciado y vertido.

Tamaño de las piezas.	Temperatura de Vaciado, °C	Temperatura de Vertido, °C
Pequeñas	1480	1410 - 1430
Medianas	1460	1400 - 1420
Grandes	1440	1380 - 1400

En la tabla No 1.3 se muestran los materiales que se utilizan para obtener una tonelada de acero al manganeso a fundir en un horno de inducción.

Tabla No 1.3. Materiales para obtener una tonelada de acero al manganeso.

Composición de la Carga Metálica	Peso, Kg
Retorno de la producción propia	300
Palanquilla	600
Manganeso (metálico)	91
Carbón Antracita	9
TOTAL	1000

Características para el moldeo del acero al manganeso.

El acero de alto contenido de manganeso, en comparación con el acero al carbono, se caracteriza por su alto coeficiente de dilatación térmica. La tensión de este acero es inferior a la del acero al carbono en 1.5 veces.

Los diseñadores deben dar la forma más compacta posible a las piezas, evitando cambios bruscos en las secciones y no emplearla muy gruesas (no mayor a 100 mm).

La contracción lineal del acero al manganeso varía entre los límites de 2.5 -3.0 %, debido a esto, es necesario una mejor compresibilidad de las mezclas de moldeo. El acero al manganeso posee una alta fluidez, pero, a pasar de ello, es necesario realizar el vertido del mismo con velocidad acelerada para evitar oxidaciones del metal con el oxígeno de la atmósfera.. Según (Cuellar J, 1988; Gómez., E, 1988)

1.3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Para el desarrollo de este trabajo se realizó una intensa búsqueda bibliográfica, con el propósito de conocer los principales trabajos relacionados con el tema en cuestión, aprovechando los principales aportes y experiencias, así como realizar un análisis de las insuficiencias y en base a esto encaminar nuestra investigación.

Debido a la importancia que tiene el proceso de elaboración de las mezclas en la fundición de piezas de aceros, (Enríquez, 1990) recomienda diferentes recetas para la obtención de mezclas de moldeo que se utilizan en la fabricación de piezas de aceros, así como las propiedades que estas mezclas deben cumplir tales como: resistencia, humedad y permeabilidad, pero no propone una receta específica para la obtención de piezas de aceros al manganeso.

(Salcines, 1985), da a conocer las características y propiedades de los diferentes materiales que forman la mezcla de moldeo en verde y moldeo autofraguante. Hace referencias a los análisis de laboratorio que se deben realizar a las arenas y mezclas para su utilización en el proceso de fundición de piezas de acero, aunque no especifica ninguna receta para la utilización de la arena de sílice en la obtención de piezas de acero al manganeso, recomienda el uso de las arenas cromo-magnesita para esta finalidad.

(Larrañaga y Armazabal, 2000), describen las características fundamentales de las arenas de moldeo más utilizadas en la industria de la fundición (sílice, cromita, circonio, olivino), se realizan comparaciones entre sus principales propiedades (dureza, densidad, temperatura de fusión y dilatación lineal), se analizan las características de los materiales auxiliares para preparar las mezclas de moldeo, a pesar de los valiosos conocimientos expuestos en este material, no se recomienda ninguna receta apropiada para el uso de la sílice en la obtención de piezas de acero al manganeso.

(Oliveros, 2002), hace un estudio de la utilización de las arena sílice, cromita y olivino para mezcla autofraguante donde se obtienen moldes con buenas propiedades para fundición:

Las mezclas autofraguantes de fraguado en frío con catalizador ácido, fueron elaboradas con las resinas KALTHMARZ TDE 20, FORDATH FA – 121 y la

FURANICID F5 usando el 3 % de las mismas con el 30 % de catalizador y el 3 % y el 25 % respectivamente, mostraron resultados satisfactorios con la arena Sílice para la producción de piezas fundidas de acero. Pero la investigación no recomienda la elaboración de mezclas de moldeo a partir de estos resultados para la obtención de piezas de aceros al manganeso.

La Asociación de Fundidores del País Vasco y de Navarra, 2000, investigaron el uso de la resina furánica aplicadas a los moldes autofraguantes, donde dan a conocer algunas de las propiedades de la resina (fragilidad, tiempo de endurecimiento, resistencia, contenido de agua), dan recomendaciones para su utilización. A pesar de los resultados obtenidos por esta asociación en la aplicación de la resina furánica no se investigó la utilización de este método para obtener piezas de acero al manganeso.

(Leyva, 2005), en su investigación estudió la arena sílice y cromita como posible uso en materiales refractarios para los cierres de correderas del horno de arco eléctrico en la empresa del grupo industrial siderúrgico ACINOX. Pero este no analiza la posibilidad del uso de estas arenas para la obtención de piezas de acero al manganeso.

(Cuellar J, 1988; Gómez., E, 1988) en su trabajo investigan las características que deben poseer las mezclas de moldeo para la obtención de piezas de acero al manganeso, como: la compresibilidad de las mezclas, la resistencia de los moldes y la permeabilidad, pero solo lo hace en las mezclas tradicionales.

La (Norma cubana NEIB 03-05-14) establece los parámetros requeridos en las mezclas de moldeo para la obtención de piezas de acero al manganeso, por el método tradicional Moldeo en Verde, así como las características necesarias de cada material que intervienen en la mezcla (dado que esta norma establece el procedimiento para obtener las piezas de acero al manganeso, se utilizó las recomendaciones que establecen para comprobar si los materiales existentes en la UEB fundición cumplen lo requerido por esta norma.)

La firma ILARDUYA, no recomienda el uso de la arena sílice para la obtención de piezas de acero al manganeso debido a posibles reacciones entre el óxido de manganeso y el dióxido de silicio y a la dilatación térmica lo cual provoca expansión en la arena.

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, en las recomendaciones por esta compañía no se encuentra alguna receta en específico para utilizar la resina y el catalizador en la obtención de piezas de acero al manganeso con la utilización de la arena sílice.

1.4. CONCLUSIONES DEL CAPITULO I.

1. La búsqueda bibliográfica sobre el tema en cuestión han arrojado que la presente investigación no ha sido investigada.
2. Las propiedades más importantes que deben cumplir las mezclas de moldeo para obtener piezas de acero al manganeso se encuentran en: (alta resistencia del molde y elevada permeabilidad).

CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1. INTRODUCCIÓN.

La arena es el material básico que emplea el moldeador para confeccionar sus moldes, para los diversos tipos de metales y aleaciones que usualmente se producen en los talleres y fabricas de producción. Para determinar las propiedades de las mezclas es necesario analizar las arenas de moldeo. Las propiedades granulométricas y térmicas de la arena juegan un papel importante en la calidad de las piezas.

2.2 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.

2.2.1. Métodos de moldeo.

Para conocer las propiedades necesarias en los moldes a utilizar durante la fusión de las piezas, fue necesario realizar a escala de laboratorio las propiedades de resistencia a la compresión, humedad y permeabilidad en las mezclas de moldeo utilizando arena sílice y cromita, parámetros requeridos en las mezclas de moldeo para la fundición de piezas de manganeso, según las normas cubanas (NEIB 03-05-14) por el método de moldeo tradicional o moldeo en verde y 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 según las firmas División de Burmach Castrol Chemical S.A y Prosider.

Los análisis se realizaron en el Laboratorio químico de la UEB de Fundición.

Para la caracterización de las arenas sílice y cromita se utilizó la arena de los yacimientos de Casilda (Sancti Spíritus) y la importada desde España, 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 ante 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)

La masa mínima requerida para los ensayos se determino por la siguiente expresión:

$$Q_{\min} = 0.5 * d^2 + 0.2 * d$$

2.3. ANÁLISIS REALIZADOS A LAS ARENAS.

2.3.1. Determinación del pH en las arenas de sílice y cromita.

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,

2.3.2. Determinación del por ciento de humedad de las arenas de sílice y cromita.

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 utilizó la ecuación:

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

2.3.3. 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 062M se utiliza para secar la muestra de los materiales de moldeo con determinada humedad por el método acelerado.

2.3.3.1. Características técnicas de la Lámpara de Rayos Infrarrojos.

- Tipo de equipo de lámpara.
- Tipo de energía recibida eléctrica de 220 (volt)
- Potencia de las lámparas de adhesión técnica 500 (watt)
- Tiempo de permanencia automática (máximo) hasta 6 (min.)
- Potencia del microelectromotor 15 (watt)
- 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.)

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.

2.3.4. Caracterización granulométrica de las arenas de sílice y cromita.

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 en verde y 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

Se utilizó la siguiente ecuación:

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

2.3.5. Equipos para determinar la granulometría de las arenas.

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

Características 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

2.4. PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS POR EL MÉTODO AUTOFRAGUANTE CON ARENA SÍLICE Y MEZCLAS CON ARENA CROMITA.

En el laboratorio químico de la UEB de Fundición se realizaron dos tipos de mezclas por el método autofraguantes, una con arena sílice y la otra con arena de cromita. Para la evaluación de la 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).

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

Para preparar las mezclas fue necesario utilizar un diseño de experimento que permitiera minimizar el número de ensayo y a la vez garantizara las mezclas de mejores propiedades, esto fue posible con la planificación de experimentación por el método factorial completo del tipo 2^k , que permitió evaluar el comportamiento de las distintas mezclas elaboradas.

Diseño experimental codificado.

$2^2 = 4$ Prueba por tipo de arena y por resinas.

Variables de entrada.

X_1 - Resina (%)

X_2 - Catalizador (%)

Conociendo los niveles máximos y mínimos en la resina y catalizador, en la tabla No 2.1 se muestra, la matriz de los experimentos para realizar las mezclas de moldeo autofraguantes usando resina Furánica (X_1) Y Catalizador CHEM-REZ 211 (X_2).

Tabla No 2.1 Matriz experimental codificada.

No Experimento	X ₁ Cantidad de resina	X ₂ Cantidad de catalizador
1	+	+
2	-	-
3	+	-
4	-	+

Parámetros a determinar

V/B = es el tiempo de vida útil para usar la mezcla (seg.).

T/D = es el tiempo de fraguado en la mezcla (seg.).

R_t - Resistencia a la tracción (kg/cm²)

P_s – Permeabilidad (unidades)

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

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

2.4.2.1. 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.

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

El equipo modelo 042M (URSS) 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. Ver Anexo 2 Figura 3.

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.

2.4.2.3. Resistencia a la tracción.

El ensayo de resistencia a la tracción se efectúa en probetas con forma de ocho, (Ver anexo 2 Fig. 6) 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/cm^2 .

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)

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/cm²).
- con la compresión y el corte de las muestras en seco 16 (kgf/cm²).
- Dimensiones exteriores del equipo L 506, A 350, H 615 (mm).

Las mezclas en el laboratorio se preparan en la mezcladora M158. (Ver anexo 2 Fig. 9)

Características técnicas.

Capacidad de mezcla	12l/min.
Accionamiento 230 V corriente a alterna.	22KW; 16 A
Peso	35 Kg.

2.5. PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS DE MOLDEO EN VERDE UTILIZANDO ARENA SÍLICE Y MEZCLA DE ARENA DE CROMITA.

Para preparar las mezclas de moldeo tradicional (en verde) con la arena Sílice y la mezcla de arena Cromita, se utilizó en los ensayos de laboratorio la receta recomendada y utilizada en las industrias de la fundición según (Normas Cubanas NEIB 03-05-14; Enríquez, 1990). Esta receta es recomendada para la obtención de piezas de acero al manganeso.

Receta para preparar la mezcla de moldeo por el método tradicional para piezas de manganeso.

Tabla No 2.3 Ingredientes de la mezcla en verde.

Ingredientes:	%
Arena	90
Bentonita	6
Melaza	2
Agua	2

Parámetros a determinar

- H - Humedad (%)
- R_c - Resistencia a la compresión (kg/cm²).
- P_v - Permeabilidad (unidades).

2.5.2. Características de los equipos utilizados.

2.5.2.1. Resistencia a la compresión.

Para realizar este ensayo se empleó una probeta cilíndrica, obtenida mediante la compactación de la mezcla de arena, con tres golpes en una máquina retacadora ver anexo 2 Figura No 2, posteriormente colocada en el equipo universal de resistencia mecánica, utilizando el aditamento de compresión. Seleccionado el manómetro para mezclas en seco se procede a aplicar la carga hasta la rotura de la probeta o la aparición de grietas en ella.

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)

2.6. 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 objetivo 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 técnica se muestra a continuación.

2.6.1. Características de la máquina mezcladora industrial.

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

Estructura y funcionamiento del mezclador continuo Axmann, tipo TMVS5 (Turbomix). Ver anexo 2 Figura No 11.

Este mezclador continuo de gran rendimiento es una versión mejorada del mezclador continuo convencional, dispone de una potencia de 4-6T/h y un radio de acción de 3m. 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.

Datos técnicos.

Año de fabricación	2000
Rendimiento por hora	10 T
Potencia conectada total	21.0 KW
Tensión de servicio	400 V
Conexión neumática	6 bar

Principales equipos que componen el Turbomix.

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.

2.7. PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS DE MOLDEO EN VERDE UTILIZANDO ARENA SÍLICE EN EL PROCESO INDUSTRIAL.

Como parte del cumplimiento a unos de los objetivo en la investigación analizar las mezclas que se preparan en el proceso, fue necesario también verificar las propiedades de las mezclas industriales por método tradicional o en verde para

luego ser sometida a análisis, comparándolas con las recomendadas según la norma cubana (NEIB 03-05-14) y las obtenidas a escala de laboratorio.

El moldeo por el método tradicional se realiza en una mezcladora industrial que se describen sus especificaciones técnica se muestra a continuación:

2.7.1. Características del molino mezclador de acción periódica. 1A12M.

Para realizar las mezclas de moldeo en verde en el taller se realiza en la mezcladora 1A12M.

Objeto: mezclado de los componentes que se utilizan en las mezclas de moldeo y machos.

Datos Técnicos:

Modelo	1A12M
Volumen de mezcla, m ³	0,8
Tiempo de duración del ciclo, min	6
Productividad, ton/h	7,5
Diámetro	2016
Altura	980
Cantidad de rodillos	2

2.8. SELECCIÓN DE LA PIEZA A FUNDIR DE ACERO AL MANGANESO.

Una vez conocida las características de las mezclas preparada tanto por el moldeo autofraguante como por el moldeo tradicional a escala de laboratorio, fue necesario, someter a prueba la calidad de dicha receta con una pieza de acero al manganeso, para comprobar los resultados de la investigación, se escogió primeramente la receta de moldeo tradicional en verde tanto en cromita como en sílice, que fue donde se alcanzaron los menores valores de resistencia ver tabla No 3.7 y 3.8. Preparando la mezcla cuidadosamente en la mezcladora industrial que presenta el taller, y moldeándose 6 probetas cilíndricas en la mezcla de moldeo en verde con arena sílice y 6 probetas cilíndricas en arena de cromita. Durante el ensamble del molde el mismo fue pintado con pintura base zirconio, que es el material que se utiliza en la

UEB para aislar el metal del molde y evitar defectos indeseados. Con el objetivo de evaluar la calidad de la superficie de la probeta que se obtiene, ver Anexo 2 Figura 7. Una vez evaluado la calidad de la superficie obtenida se decide escoger una pieza de responsabilidad, escogiéndose la Paleta D utilizadas en los sedimentadores de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba, por la alta responsabilidad de la pieza y por los resultados de resistencia alcanzado con las mezcla en Autofraguantes se decidió moldear estas piezas por éste método para evaluar la calidad de las mismas. Durante el ensamble del molde el mismo fue pintado con pintura base zirconio, que es el material que se utiliza en la UEB para aislar el metal del molde y evitar defectos indeseados. Con el objetivo de evaluar la calidad de la superficie de la Paleta D que se obtiene, ver Anexo 2 Figura 8.

CAPITULO III ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

3.1. INTRODUCCIÓN.

La arena sílice es uno de los elementos más difundidos en la naturaleza, en la que aparece en forma cristalina o amorfa, durante el calentamiento experimenta diferentes variaciones alotrópicas que se caracterizan por cambios volumétricos. Estas transformaciones juegan un papel importante en el comportamiento de las mezclas en el molde, ya que pueden provocar defectos en las piezas.

En la fundición moderna se plantean condiciones elevadas de servicio a los materiales de moldeo y, por eso además de la aplicación amplia de las arenas Sílice, se usan también otras arenas que poseen propiedades físico - químicas más elevadas en comparación con estas.

En Cuba existen varios yacimientos de arenas que son utilizados como materia prima para la elaboración de moldes en verdes en la industria de la función de piezas, estas se ponen a continuación:

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 el municipio de Trinidad (Casilda) de la provincia de Santi Espíritu y en la Isla de la Juventud (Buenavista).

La mayoría de las arenas de cuarzo cubanas se caracterizan por un alto contenido de SiO_2 (~95 %) y un contenido relativamente bajo de impurezas, por lo que encuentran aplicación como arena de moldeo en fundición.

En el yacimiento, la arena sílice contiene una cierta cantidad de sustancia arcillosa en forma de silicato hidratado de alúmina ($2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Al conjunto de estas partículas muy finas se le denomina componente arcilloso, partículas inferiores a 22 micrones, independiente de su composición química. Partículas mayores de 22 micrones se denominan arenas.

3.2. FUNDAMENTO TEÓRICO.

El componente arcilloso se encuentra en todas las arenas y mientras menor es su contenido, de mayor calidad es el yacimiento para su utilización en fundición.

Las arcillas se dividen en:

1. Feldespatos: Por su composición química son aluminosilicatos de Na, K y Ca: $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$, $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$, $\text{Ca}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$, de vez en cuando de Ba: $\text{Ba}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$. A veces se registran cantidades insignificantes de Li, Rb, Cs como mezcla isomorfa de los álcalis y Sr en sustitución del Ca. Las formas fundamentales son el potásico y el sódico calcáreo. Poseen menor dureza que el cuarzo, siendo menos refractarios, fusionan entre 1170 – 1550 °C. y a los 1000 °C. presentan una dilatación térmica de 2,75 %.
2. Micas: Por su composición química constituyen un grupo especial de aluminosilicatos. Sus composiciones típicas pueden expresarse de la siguiente forma: $\text{R}\cdot\text{R}_3\cdot\cdot[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$ o $\text{R}\cdot\text{R}_2\cdot\cdot\cdot[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$, donde $\text{R}\cdot = \text{K}$; $\text{R}\cdot\cdot = \text{Al}$, a menudo Fe^{3+} , Mn^{3+} , algunas veces Cr^{3+} , V^{3+} , en ciertos casos Ti^{4+} ; $\text{R}\cdot\cdot = \text{Mg}$, con frecuencia Fe^{2+} , Mn^{2+} , así como Li^{1+} , etc. Las micas poseen elevada densidad 2,7 – 3,2 $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ y bajo punto de fusión 1150 – 1400 °C. Las formas más difundidas son la potásica o moscovita ($\text{K}_2\text{O}\cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y la mica de hierro – manganeso, conocida por biotita o mica negra [$\text{K}_2\text{O}\cdot 6(\text{Mg},\text{Fe})\text{O}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$].
3. Óxidos de Hierro: Los más frecuentes en las arenas son la magnetita ($\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$), la hematita (Fe_2O_3), la ilmenita ($\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$) y los óxidos férricos hidratados ($n \text{Fe}_2\text{O}_3\cdot m \text{H}_2\text{O}$). Estos durante el calentamiento pueden descomponerse, dando lugar a la formación de compuestos de fácil fusión, jugando un papel perjudicial en la calidad del metal líquido.
4. Carbonatos: Son los elementos más indeseables en las arenas de cuarzo, ya que disminuyen su refractariedad y la descomposición que experimentan entre 500 – 900 °C. es nocivo para el metal líquido. Los carbonatos más comunes en las arenas de cuarzo son la calcita, magnesita, dolomita, siderita, etc...

La arena de cuarzo por debajo de 575 °C el cuarzo se presenta en la forma de modificación α , que es una forma cristalina estable. A partir de 575 °C – 878 °C existe otra forma cristalina denominada cuarzo β . En el transcurso del calentamiento hasta la forma β , el cristal experimenta una dilatación del 5 %. Durante la modificación β , el cuarzo no presenta ningún tipo de dilatación, posterior de los 878 °C la forma β deja de ser estable, pasando a ser de tridimita. A partir de 1250 °C, la tridimita comienza a

transformarse en cristobalita, siendo el cambio particularmente notable después de 1400 °C. El cambio de tridimita en cristobalita implica un aumento del volumen entre 15 – 20 %. Luego de 1625 °C comienza a formarse un vidrio de sílice. El paso de cuarzo – α – β es reversible, siendo todo lo contrario el de tridimita – cristobalita.

La mayoría de las arenas de cuarzo cubanas se caracterizan por un alto contenido de SiO₂ (~95 %) y un contenido relativamente bajo de impurezas. En la Tabla 1.se encuentra la composición química de algunos de los yacimientos de cuarzo cubanos. Los principales consumidores de arena de curso en nuestro país son la industria química, la construcción y la fundición.

Tabla 3.1. Composición química de algunos de los yacimientos de cuarzo cubanos; (%).

Yacimientos	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O + K ₂ O	PPI
Santa Teresa (Pinar del Río)	97,3 – 99,5	0,02 – 0,10	0,10 – 0,40	0,10 – 0,20	0,42 – 0,68	0,09 – 0,30	–	0,20 – 0,40
Cortés (Pinar del Río)	97,0 – 99,0	0,04 – 0,25	0,12 – 0,40	0,10 – 0,30	–	–	0,08 – 0,22	0,20 – 0,50
Santa Bárbara (Pinar del Río)	95,0 – 98,0	0,20 – 0,50	0,40 – 0,70	0,10 – 0,40	0,07	0,001	0,14 – 0,17	0,50 – 0,70
Buenavista (I. Juventud)	90,0 – 97,0	0,20 – 0,40	2,0 – 5,0	0,30 – 0,70	–	–	–	0,20 – 0,30
<u>Casilda</u> <u>(S. Spíritus)</u>	<u>96,0 –</u> <u>98,0</u>	<u>0,22 –</u> <u>0,62</u>	<u>2,0 –</u> <u>2,6</u>	<u>=</u>	<u>0,05 –</u> <u>0,12</u>	<u>0,02 –</u> <u>0,06</u>	<u>0,05 –</u> <u>0,26</u>	<u>0,20 –</u> <u>0,40</u>

3.2.2. La arena Cromita (FeO.Cr₂O₃) se emplea frecuentemente para la fabricación de mezclas de cara y de machos en la producción de piezas grandes fundidas de

acero. Como material de moldeo la cromita tiene cualidades equivalentes a la arena de zirconio para la obtención de superficies de calidad en áreas críticas del molde, siendo, más accesible y menos costosa que estas. En aleaciones fuertemente básicas, como los aceros al manganeso.

Las cromitas se encuentran casi exclusivamente en las rocas ultrabásicas magmáticas (dunitas, serpentinitas y peridotitas), tanto en impregnaciones, como en grandes concentraciones en forma de nidos, lentes o columnas. Suelen ir asociados a ellas la serpentina (hidrosilicato de Mg y Fe), el olivino $(Mg, Fe)_2SiO_4$, los cloritos cromíferos, algunas veces granates con cromo. (Salcines C.M; 1985; Pons y Leyva, 1999)

En Cuba, todas las manifestaciones y yacimientos cromíticos se localizan en las provincias de Holguín y Camagüey de las cuales algunos yacimientos han cerrado su explotación (Cromo Moa). En nuestro país se explotan las menas de cromo desde 1916, fecha en la que se embarcaron unas 34 toneladas métricas a Estados Unidos.

La cromita puede ser utilizada como material de moldeo y tiene cualidades equivalentes a las arenas de zirconio para la obtención de superficie de calidad en áreas críticas del molde, siendo, por demás, más accesible y menos costosa que esta. En aleaciones fuertemente básicas, como los aceros al manganeso, su comportamiento es satisfactorio como el de las arenas de olivita.

En la Tabla No 3.2 se muestra la composición química de una muestra de un yacimiento de Cuba Yacimiento Cayo del Medio provincia de Holguín. (Salcines C.M; 1985).

Tabla 3.2 Composición química de una muestra del Yacimiento Cayo del Medio.

Componente	Contenido (%)
Cr ₂ O ₃	38.0-39.0
Fe ₂ O ₃	14.0-15.0
MgO	14.0-16.0
Al ₂ O ₃	20.0-22.0
CaO	0.3-0.5
SiO ₂	0.8-1.0

Tabla 3.3 Composición química de una muestra de la arena de cromita española.

Componente	Contenido (%)
Cr ₂ O ₃	46.5
Fe ₂ O ₃	29
MgO	9.46
Al ₂ O ₃	15.5
CaO	0.1
SiO ₂	0.4

3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.3.1. 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. Aquí se tomó un Kg de arena, suficiente para conformar las muestras representativas, estos materiales fueron transportados hasta el laboratorio de la UEB de Fundición.

3.3.2. Determinación del pH en la arena de sílice y cromita.

Procedimiento:

- Vaciar aproximadamente 150 mL en el vaso de precipitado de 250 mL.
- Ajustar la Temperatura de la muestra a 250 °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 %.

3.3.3. Determinación del por ciento de humedad de la arena de sílice y cromita.

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

Donde:

P_1 : peso de la muestra (g).

P_2 : peso de la muestra después de secada (g).

3.3.4. Caracterización granulométrica de las arenas.

Número de finura del grano (NF).

Se determinó 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 (Anexo 1 Tabla No 3 - 4) 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 por ciento 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. (Salcines, M.C., 1985).

3.3.4.1. 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.

Donde:

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

NF: número de finura del grano (mm).

En el sistema AFS, después de obtenido el número de finura del grano, a la arena se le asigna el grado correspondiente, según se indica en la Tabla No 3.4

3.3.4.2. Por ciento de granos retenidos en 3 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 por ciento 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.

3.3.4.3. 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:

3.3.4.4. 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:

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

3.3.4.5. 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).

3.3.4.6. 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.

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

3.3.4.7. 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.

En la tabla 3.4 se muestra todos resultados obtenidos a partir de los análisis realizado a la arenas sílice y cromita.

Tabla No. 3.4 Principales características de las arenas Sílice y Cromita.

Propiedades	Sílice	Cromita
Humedad (%)	0.07	0.08
pH (20 °C)	6.8	7.76
Número de finura del grano AFS	73	54
Diámetro promedio (mm)	0.17	0.19
Distribución en 3 tamices (%)	62	77
Superficie específica teórica (g/cm ²)	128	109
Superficie específica real (g/cm ²)	175	130
Coefficiente de angulosidad	1.4	1.3
Forma del grano	Subangular	Subangular
Grupo (según AFS)	4 arena fina	5 arena media

Como se puede apreciar en la tabla No 3.4 la arena de sílice entra en la categoría de arena fina según la norma (AFS), según la norma cubana (NEIB 03-05-14), la distribución por tamices de una arena de sílice debe estar en el rango de 0.315 mm a 0.2 mm., por lo que, estamos en presencia de una arena de proceso con predominante granos finos.

La baja humedad de la arena sílice se debe al secado al cual es sometido cuando llega a la UEB. La arena de cromita es importada con la humedad que se muestra en la tabla anterior, se puede apreciar mejores condiciones en cuanto al número de finura que presenta para ser utilizada como arena de moldeo.

3.4. PROCEDIMIENTOS DE ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS DE MOLDEO AUTOFRAGUANTE OBTENIDO EN EL LABORATORIO.

Los valores máximos y mínimos de resinas y catalizador usados en 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.

Niveles

- | | |
|---------------------------|-------------------------------|
| + Máximo (2%) en resina | + Máximo (50%) en catalizador |
| - Mínimo (1.5%) en resina | - Mínimo (30%) en catalizador |

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

3.4.2. Metodología.

- I. Pesar 1 Kg de arena.
- II. Pesar las cantidades necesarias de resina según el diseño del experimento (tabla 1 y 2).
- III. Pesar las cantidades necesarias de catalizador según el diseño del experimento, Ver tabla No 3.5.
- IV. Mezclar los componentes según el orden siguiente:
Arena
Catalizador
Resina
- V. La operación del mezclado fue la siguiente: la homogenización de arena durante 1min, luego se vierte el catalizador por espacio de un minuto de mezclado (arena-catalizador), después se adiciona la resina durante otro minuto de mezclado (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, permaneciendo en reposo por espacio de cuatro horas, luego es sometido a la realización de los ensayos de tracción.
- 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 se experimenta en la superficie un movimiento de los granos, (se utiliza un cronómetro)

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)

En la tabla 3.5 se muestran los valores que representa la matriz experimental codificada.

Tabla No 3.5 Diseño de los experimentos.

PARA 1 Kg. DE ARENA				
# de Mezclas	Resina Furánica		Catalizador CHEM-REZ 211	
	%	g	%	g
1	2	20	50	10
2	1.5	15	30	4.5
3	2	20	30	6
4	1.5	15	50	7.5

3.5. RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS MEZCLAS AUTOFRAGUANTE CON ARENA SÍLICE Y CROMITA.

A continuación se muestran los resultados medios obtenidos en los experimentos ver Tabla No 3.6 - 3.7, para las mezclas autofraguantes preparada a base resina furánica. En los Anexos 1 en la tabla No 5 a 8 se muestran los resultados obtenidos de cada experimento.

Tabla No 3.6 Resultados experimentales de la mezcla de moldeo con arena Sílice. (Media)

Análisis con la Sílice Autofraguante				
No Exp.	V/B (Seg)	T/D (Seg)	Resistencia a tracción (kg/cm ²) SiO ₂	Permeabilidad
1	106.0	360.0	1.3	88
2	134.0	620.0	0.2	75
3	125.6	416.0	0.6	75
4	93.4	322.0	0.4	89

Tabla No 3.7 Resultados experimentales de la mezcla de moldeo con arena Cromita. (Media)

Análisis con la Cromita Autofraguante				
No Exp.	V/B (Seg)	T/D (Seg)	Resistencia a tracción (kg/cm ²) Cr ₂ O ₃	Permeabilidad
1	110.0	410.0	1.1	72
2	131.8	440.0	0.8	78
3	125.0	370.0	1.9	92
4	96.8	420.0	0.9	78

De la tabla 3.6 se puede apreciar que: la mezcla de mejores propiedades en cuanto a resistencia fue lograda en el experimento No 1, que corresponde a las proporciones máxima de resina y catalizador, aunque su vida de banco no es el mejor, los resultados obtenidos en este experimento se encuentran en el valor mínimo de resistencia permisible para la manipulación de este tipo de mezcla según (Salcine, C.M; 1985) y según las recomendaciones, ver anexo propiedades de las mezclas Anexos 1 Tabla No 1, los restantes experimentos se encuentran por debajo de los límites de resistencia permitido, tal comportamiento inadecuado se debe a las impurezas que presenta la arena, la cual impide una reacción efectiva de la resina con el catalizador, es decir para lograr mejores efecto con este tipo de arena se necesita superar la norma recomendada por la firma Prosider. Se puede concluir que no es recomendable a escala industrial por las características físico química de la

arena de sílice de nuestro país usar las proporciones de catalizador y resina en valores mínimos según recomienda la firma Prosider.

De la tabla 3.7 se aprecia que los mejores resultados obtenidos se localizan en el ensayo No 3 el cual corresponde al máximo de resina y al mínimo de catalizador, aunque los valores de resistencia también se encuentra en los mínimos, se puede observar que la arena presenta menores impurezas la resina es más efectiva.

3.6. PROCEDIMIENTOS DE ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS DE MOLDEO EN VERDE CON ARENA SÍLICE Y CROMITA.

Para los ensayos en las mezclas por el método tradicional se prepararon dos mezclas, una a base de arena sílice y la otra a base de arena de cromita.

A continuación se describe la metodología utilizada durante los ensayos para obtener las mezclas de moldeo tradicional.

3.6.1. Metodología.

I.Pesar 1 Kg. de arena.

II.Pesar las cantidades necesarias de Bentonita (según la receta).

III.Pesar las cantidades necesarias de Melaza y Agua (según la receta).

IV.Mezclar los componentes según el orden siguiente:

- Arena
- Bentonita
- Agua
- Melaza

V.Evacuación de la mezcla.

VI.Confección de las probetas (para los ensayos de compresión y permeabilidad).

VII.Pesaje de 10 g para ensayos de humedad en la mezcla.

Se mezcló primeramente la arena por espacio de un minuto para homogenizarla, luego se añade la bentonita, por espacio de tiempo de 2 minutos, seguidamente se añadió el agua de melaza por espacio de 2 minutos. En la tabla No 3.8 se muestran los pesos de los materiales usado en la mezcla.

Tabla No 3.8 Materiales utilizados.

PARA 1 Kg. DE ARENA			
Arena de Sílice		Arena de Cromita	
Arena	1 Kg.	Arena	1 Kg.
Bentonita	9.4 g.	Bentonita	9.4 g.
Melaza	3.5 g.	Melaza	3.5 g.
Agua	3.5 g.	Agua	3.5 g.

NOTA: Se repetirá con un mínimo de tres veces la prueba con cada condición.

Total mínimo de pruebas 6.

3.7. RESULTADOS EN LOS EXPERIMENTOS DE LAS MEZCLAS DEL MOLDEO TRADICIONAL A ESCALA DE LABORATORIO.

Los resultados obtenidos con la mezcla de moldeo por el método tradicional se muestran en la tabla 3.9 – 3.10.

Tabla No 3.9 resultados obtenido con la receta recomendada según norma cubana (NEIB 03-05-14) con las mezclas de moldeo con arena sílice.

Mezclas de moldeo con arena sílice.			
# de M	Humedad (%)	Permeabilidad	Resistencia (kg/cm ²)
1	4.30	198	0.55
2	4.25	198	0.52
3	4.33	198	0.57

Tabla No 3.10 resultados obtenido con la receta recomendada según norma cubana (NEIB 03-05-14) con las mezclas de moldeo con arena cromita.

Mezclas de moldeo con arena cromita.			
# de M	Humedad (%)	Permeabilidad	Resistencia (kg/cm ²)
1	4.20	205	0.75
2	4.18	205	0.71
3	4.25	205	0.79

Los resultados medios obtenidos en la tabla 3.9 al ser comparados con los recomendados en la norma cubana ver anexo 2 figura No 7, demuestran que la receta preparada cumple los requisitos mínimos necesario para ser utilizada en el moldeo para piezas de acero al manganeso, manteniendo un comportamiento similar la receta preparada con arena de cromita tabla 3.10.

3.8. VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A ESCALA DE LABORATORIO EN LA ESCALA INDUSTRIAL.

3.8.1. Procedimientos de elaboración de las mezclas de moldeo por el método autofraguante realizada en el proceso industrial con arena sílice.

El turbo-mezclador está diseñado para mezclar tanto arena nueva como arena de retorno en proporciones variables que dependen de la necesidad del proceso, y de las condiciones climática de la arena de retorno, esto se mezcla con el catalizador y con la resina, actuando la resina furánica como aglutinante y el catalizador como endurecedor, su mezclado es también en proporciones variables.

El equipo está diseñado para mezclar según las proporciones de arena nueva y de retorno 190 kg/min.

La proporción de trabajo normal es 75% de arena de retorno y 25 % de arena nueva. Para estas condiciones la proporción de resina se le fija según las experiencias de trabajo en el valor máximo de proporción de ajuste de POT de Bomba de resina (999), el cual equivale a un consumo de 3.9 kg/min que representa una proporción del 2 % respecto al consumo de la arena, y la proporción del catalizador se le ajusta en POT de bomba de endurecedor (750) que equivale a un consumo de 1.5 kg/min el cual representa una proporción del 38 % respecto al peso total de la resina.

En este equipo el parámetro mas variable es la proporción del catalizador, variándose el mismo según las experiencia de trabajo, en dos valores, para un valor mínimo de proporción que corresponde cuando la arena del proceso está muy caliente (45 a 50°C), y para valores de proporción en máximo que corresponde cuando la arena de retorno está fría (< 32°C)

Se hicieron los análisis de la mezcla en los dos extremos para comprobar sus propiedades y compararlas con las recomendadas como fue anunciado

anteriormente. Los resultados se muestran en el capítulo III, también se analizaron muestras invirtiendo la proporción de arena de retorno y arena nueva (20% de arena de retorno y 80% de arena nueva), para un ajuste en la resina de 999 (2% de proporción con la arena) y catalizador en ajuste de 990 (que representa una proporción del 48,7% con respecto al peso total de la resina).

3.9. RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS MEZCLAS AUTOFRAGUANTE CON ARENA SÍLICE OBTENIDA EN EL PROCESO INDUSTRIAL.

Como bien se explicó en el capítulo II, los ensayos a nivel industrial en este tipo de moldeo, se realizaron en los dos extremos del proceso:

- 1- Cuando el consumo de catalizador es máximo 1.5 Kg/min (dado por una arena de Temp. > 32°C, que es la temperatura máxima de trabajo para las resinas (Prosider).
- 2- Cuando el consumo de catalizador es mínimo 1.05 Kg/min (dado por una arena de Temp. < 32°C).

En la tabla No 3.11 se muestran los resultados obtenidos:

Tabla No 3.11 Resultados obtenidos del moldeo por el método Autofraguante con arena sílice, proceso industrial.

Análisis con la mezcla de moldeo utilizando arena sílice				
Nro. de experimentos.	Valores medios		Resistencia a la Tracción SiO ₂ (Media) (kG/cm ²)	Permeabilidad
	V/B (seg)	T/D (seg)		
Mín Catalizador	50 seg.	180	2.00	146
Máx Catalizador	90 seg	270	3.00	167

Se puede observar de la tabla 3.11 el consumo de catalizador mínimo, afectó el tiempo de vida de banco a causa de los aumentos de temperatura, lo cual implica que la mezcla tenga menos tiempo para moldear las piezas, se pudo comprobar que las altas temperaturas de la arena se deben a la dinámica del proceso de fundición, se efectúa el desmoldeo recirculando esta arena al proceso la cual posee una temperatura (45- 50°C). A pesar de tener un tiempo de vida corto la mezcla de proceso presenta mejores propiedades de resistencia que la obtenida a escala de laboratorio, lo cual demuestra que los consumos de resinas y catalizador se

encuentran por encima de los valores recomendados por la firma Prosider. Como bien demostraron los análisis a escala de laboratorio, los mejores resultados para este tipo de arena se encuentran superando las la firmas Prosider y División de Burmach Castrol Chemical.

El análisis con el consumo de catalizador en valores máximos arrojó un mejor tiempo de vida de banco y mejores propiedades de resistencia.

En ambos casos se puede asegurar que las mezclas de moldeo industrial por el método autofraguante cumplen los requisitos en cuanto a propiedades de moldeo (resistencia, permeabilidad), ver anexo 1 tabla No 1. Donde están las propiedades de las mezclas para el moldeo de piezas de manganeso.

3.10. PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS DE MOLDEO EN VERDE UTILIZANDO ARENA SÍLICE EN EL PROCESO INDUSTRIAL.

La mezcla de moldeo por el método tradicional se prepara en una mezcladora mecánica, donde son añadidos los materiales según el orden siguiente:

- 1- Arena sílice.
- 2- Bentonita.
- 3- Agua de melaza.

Las cantidades de arena de sílice que se añade a la mezcladora depende de las necesidades del proceso, la mezcladora no cuenta con ningún dispositivo que permita su alimentación continua (banda transportadora), por lo que, el operador es el que busca la arena en el depósito de almacenaje en vagones y mediante un dispositivo de elevación que tiene el equipo, es introducida en la mezcladora 1A12M. Una receta típica en el proceso es la siguiente:

Tabla No 3.12 Receta de mezcla de moldeo en verde utilizada en la industria.

Ingredientes	Pesos (kg)	%
Arena Sílice	130.2	73.6
Bentonita	32.4	18.3
Agua de melaza	14.4	8.1
Totales	177	100

En la instrucción del puesto de trabajo aparecen las recetas que el operador debe preparar, según la norma cubana y la calidad de los materiales se le añade a la mezcla. Para preparar las mezclas el operador se basa mucho en su experiencia, primeramente elabora la mezcla según la receta y por el tacto comprueba si la mezcla preparada se encuentra en el punto óptimo y se analiza en el laboratorio para saber si tiene las propiedades según lo recomendado.

En la presente investigación fue necesario comprobar las propiedades de estas recetas obtenidas por los operadores y compararlas con las mezclas que se obtienen en el laboratorio.

3.11. RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS MEZCLAS DEL MOLDEO TRADICIONAL A ESCALA INDUSTRIAL.

En la siguiente tabla 3.13 se muestran los resultados alcanzados por la receta preparada a escala industrial.

Tabla No 3.13 Resultado alcanzado por la mezcla preparada industrial.

Mezclas de moldeo con arena sílice			
# de M	Humedad (%)	Permeabilidad	Resistencia (kg/cm²)
1	5.5	90	0.64
2	5.4	70	0.68
3	5.4	70	0.56

En la tabla 3.13, la receta preparada a escala industrial, presenta buenas propiedades de resistencia y permeabilidad a excepción de la humedad que es superior a la recomendada la cual se debe a la forma de preparar las mezclas a escala industrial. Según la norma cubana ver anexo 1 tabla No 2.

Se puede observar que esta receta presenta mejores propiedades en cuanto a resistencia que la receta preparada a escala de laboratorio, tal comportamiento se debe a la preparación de las mezclas a escala industrial y a la calidad de los materiales en cuestión, que exigen mayor consumo de los mismos, aunque los resultados de resistencia y permeabilidad están dentro de lo establecido, la humedad no se encuentra dentro de los límites permitidos, esto implica la no utilización de esta

mezcla por ser propensa a obtener defectos en las piezas, al ponerse en contacto el metal con el molde, ya que puede ocurrir pérdida de la resistencia en el molde al liberarse esta humedad.

3.12. VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A ESCALA INDUSTRIAL.

Validando los resultados obtenidos con las mezclas autofraguante y el moldeo tradicional con arena sílice, se elaboraron piezas de acero al manganeso para comprobar la calidad de estas piezas. Se realizaron estas piezas con la siguiente composición de metal:

Tabla No 3.14 Composición del acero al manganeso de las probetas y las Paletas D.

Composición Química %										
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Fe	Total
1.19	0.35	11.36	0.054	0.010	0.17	0.80	0.35	0.38	86.04	100

Precauciones que se deben tener antes de fundir piezas de aceros al manganeso.

1. Los moldes no deben contener mucha humedad.
2. Los moldes deben ser pintados correctamente para que no ocurran reacciones entre el metal y el molde. En la UEB de Fundición se pintan los moldes con una pintura a base de zirconio.
3. Se debe verter el metal al molde a una temperatura de 1420⁰C.

3.13. EVALUACIÓN DE LAS PIEZAS FUNDIDAS DE ACERO AL MANGANESO.

3.13.1. PROBETAS.

Según especialista de calidad de la UEB de Fundición.

De los anexos 2 figura No se puede observar que las superficies obtenidas en las probetas moldeadas tanto con arena sílice como arena de cromita presentan las condiciones requerida para ser aceptada por los clientes al no tener defectos superficiales que puedan ser causado por bajas propiedades del molde, (como son

las costras de fundición, grietas, porosidades, etc) en las probetas se observan defectos de fundición como son las inclusiones de escoria dentro de la misma que surgieron durante el vertido.

3.13.2. PALETA D.

Según especialista de calidad de la UEB de Fundición.

De los anexos 12 las piezas fundidas de aceros al manganeso no necesitan de un acabado exquisito, porque estas trabajan en condiciones difíciles (Máquinas de minería, construcción, en la perforadazas de petróleo, etc.) Estas piezas lo que no pueden poseer es defecto superficiales como grietas, costras, poros entre otras, que si pueden afectar el trabajo de estas piezas.

Los principales defectos en las piezas fundidas de acero al manganeso fueron tartas, costras e inclusiones de escorias.

CAPITULO IV. VALORACIÓN ECONÓMICA.

4.1. INTRODUCCIÓN.

Si tenemos en cuenta el beneficio que puede aportar la aplicación de las mezclas de moldeo autofraguante o tradicional utilizando arena sílice para obtener piezas de acero al manganeso, se puede implementar para obtener ganancias.

4.2. VALORACIÓN ECONÓMICA.

Si tenemos en cuenta el beneficio que puede aportar la aplicación del Moldeo Autofraguante y El Moldeo en Verde con las mezclas de moldeo en La UEB Fundición y tomando desde el punto de vista económico variantes, más prácticas a la hora de la utilización de la arena sílice para la fundición de aceros al manganeso. Siendo ésta desde el punto de vista financiero más económica que la arena de Cromita.

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

Tabla No 4.1 Precio de los Materiales a utilizar.

Materiales	Precios	Unidad
Arena de Cromita	988.42	CUC/tn
Arena Sílice	132.77	CUC/tn
Resina	3.78	CUC/Kg
Catalizador	2.22	CUC/Kg
Bentonita	116.22	CUC/tn
Melaza	65.73	CUC/tn

Costo de 1 Tonelada de Mezcla utilizando la Mezcla Autofraguante

Arena Cromita.....100% (1000 Kg.)

Resina.....2% (Sobre el peso de la arena, 20 Kg.)

Catalizador.....50% (Sobre el Peso de a Resina, 10 Kg.)

Cálculo del Gasto de de los materiales fundamentales.

$$G_{MCromita} = P_{Arena} + P_{Resina} + P_{Catalizador}$$

$$G_{MCromita} = 988.43 + 75.6 + 22.2$$

$$G_{MCromita} = 1086.23$$

Cálculo del Gasto de mano de obra.

Gasto de mano de obra = tiempo de moldeo 3 min * Tarifa del operador(Opr Met A)

Gasto de mano de obra = 3 * 2.71

Gasto de mano de obra = 8.13

Cálculo del Costo total.

$CostoTotal = GastoMF + GastoMO$

$CostoTotal = 1086.23 + 8.13$

$CostoTotal = 1094.36$

Costo de 1 Tonelada de Mezcla utilizando la Mezcla Autofraguante

Arena Sílice.....100% (1000 Kg.)

Resina.....2% (Sobre el peso de la arena, 20 Kg.)

Catalizador.....50% (Sobre el Peso de a Resina, 10 Kg.)

Cálculo del Gasto de de los materiales fundamentales.

$G_{MSilice} = P_{Arena} + P_{Resina} + P_{Catalizador}$

$G_{MSilice} = 132.77 + 75.6 + 22.2$

$G_{MSilice} = 230.6$

Cálculo del Gasto de mano de obra.

Gasto de mano de obra = tiempo de moldeo 3 min * Tarifa del operador(Opr Met A)

Gasto de mano de obra = 3 * 2.71

Gasto de mano de obra = 8.13

Cálculo del Costo total.

$CostoTotal = GastoMF + GastoMO$

$CostoTotal = 230.57 + 8.13$

$CostoTotal = 238.7$

Costo de 1 Tonelada de Mezcla utilizando la Mezcla en Verde.

Arena Cromita.....90% (1000 Kg.)

Bentonita.....6% (60 Kg.)

Melaza.....2% (20 Kg.)
 Agua.....2% (20 Kg.)

Cálculo del Gasto de de los materiales fundamentales.

$$G_{MCromita} = P_{Arena} + P_{Bentonita} + P_{Melaza}$$

$$G_{MCromita} = 988.43 + 7.2 + 1.3$$

$$G_{MCromita} = 996.93$$

Cálculo del Gasto de mano de obra.

Gasto de mano de obra = tiempo de moldeo 3 min * Tarifa del operador(Opr Met A)
 Gasto de mano de obra = 5 * 2.71
 Gasto de mano de obra = 13.55

Cálculo del Costo total.

$$CostoTotal = GastoMF + GastoMO$$

$$CostoTotal = 999.93 + 13.55$$

$$CostoTotal = 1010.48$$

Costo de 1 Tonelada de Mezcla utilizando la Mezcla en Verde.

Arena Sílice.....90% (1000 Kg.)
 Bentonita.....6% (66 Kg.)
 Melaza.....2% (20 Kg.)
 Agua.....2% (20 Kg.)

Cálculo del Costo de una Tonelada de la Mezcla.

$$G_{MSlice} = P_{Arena} + P_{Bentonita} + P_{Melaza}$$

$$G_{MSlice} = 132.77 + 7.2 + 1.3$$

$$G_{MSlice} = 141.27$$

Cálculo del Gasto de mano de obra.

Gasto de mano de obra = tiempo de moldeo 3 min * Tarifa del operador(Opr Met A)
 Gasto de mano de obra = 5 * 2.71
 Gasto de mano de obra = 13.55

Cálculo del Costo total.

$$\text{CostoTotal} = \text{GastoMF} + \text{GastoMO}$$

$$\text{CostoTotal} = 141.27 + 13.55$$

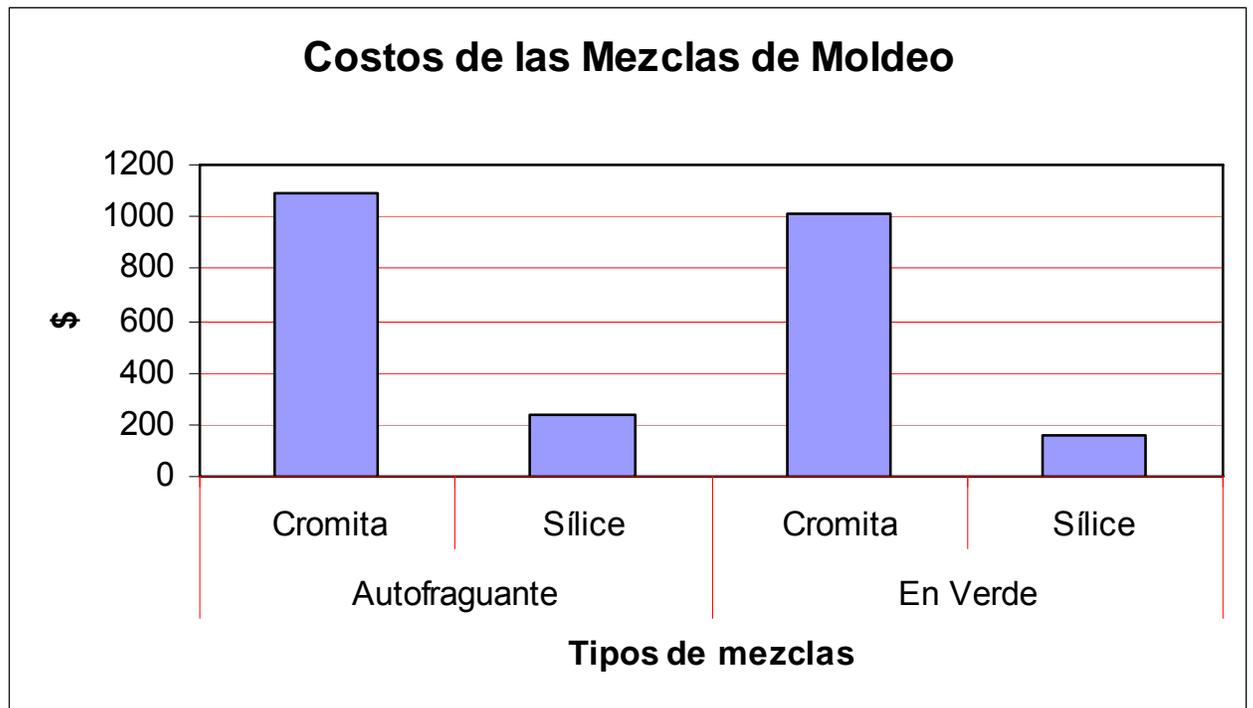
$$\text{CostoTotal} = 154.82$$

Los resultados obtenidos en la evaluación económica se muestran en la siguiente Tabla 4.2. Se determina el costo de las mezclas tomando en consideración el Gasto de los materiales fundamentales.

Tabla No 4.2 Resultado de la evaluación económica.

Mezclas	Tipo de Arena	Costo Total CUC
Autofraguante	Cromita	1094.36
	Sílice	238.7
En Verde	Cromita	1010.48
	Sílice	154.82

Gráfico No 1 Costos de las Mezclas de Moldeo.



Es más factible utilizar mezclas de arena sílice.

1. Es de producción nacional. Lo que facilita el flete para transportar esta arena a la Empresa EMNi.
2. El precio de la arena sílice es 8 veces menor que la arena cromita.

El costo de la mezclas en verde con arena sílice es el más económico. Pero las propiedades obtenidas a nivel industrial no permiten que se fabriquen piezas de acero al manganeso.

El costo de la mezclas autofraguente con arena sílice es el más económico. Esta mezcla es la más rentable para la realizar piezas de acero al manganeso, se garantizan piezas de buena calidad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES.

1. Se obtienen piezas fundidas de acero al manganeso (Paletas D) con buen acabado superficial.
2. Los análisis en las mezclas con el moldeo Autofraguante a escala de laboratorio demostraron que los mejores resultados son: Resistencia a la tracción 1.3 kg/cm^2 , Permeabilidad 88, V/B 106 seg, T/d 360 seg, para los consumos de resina y catalizador de 2% y 50% respectivamente, lo que indica la posibilidad de ser utilizada en la obtención de piezas de acero al manganeso.
3. La mezcla preparada en el proceso industrial por el método Autofraguante cumple con los parámetros exigidos, donde los resultados alcanzados fueron de: Resistencia a la tracción 3 kg/cm^2 , Permeabilidad 167, V/B 90 seg, T/d 270 seg, la cual fue utilizada en la fabricación de la pieza de acero al manganeso (Paleta D).
4. La mezcla en verde con arena sílice alcanzó propiedades de: Resistencia a la compresión 0.57 kg/cm^2 , Permeabilidad 198, Humedad 4.33 %, necesarias para ser utilizada en el proceso de obtención de piezas de acero al manganeso, según la norma cubana NEIB 03-05-14.
5. La mezcla preparada a escala industrial para el moldeo en verde demostró ser inadecuada para la obtención de piezas de acero al manganeso por tener una humedad de 5.4 %, superior a los valores permisibles.

RECOMENDACIONES.

- 1- Usar el moldeo Autofraguante para piezas de acero al manganeso, preferentemente en las primeras horas del día para aprovechar las menores temperaturas en la arena de retorno (desecho de la propia producción) utilizada.
- 2- Evitar moldear las piezas con el método Autofraguante con la arena caliente (> 32° C).

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 Férrreas. Obtenido de la Red Mundial, 2000.
3. Asociación de Fundidores Americanos (AFS). Defectos de fundición. Madrid: Editorial Aguilar, 1959
4. CUELLAR, J: Aceros al manganeso. Tecnología Mecánica No1 de 1988.
5. Curso de Moldeo Químico. Bilbao. 1997.
6. ENRÍQUEZ, G.F. Manual del Fundidor. Editorial Científico – Técnica. Ciudad de La Habana, 1986.
7. ENRÍQUEZ, F. Mezclas de moldeo y pinturas antiadherentes. Edit. Científico Técnico. Ciudad Habana. Cuba. 1990.
8. FLORES, J. “Arenas de moldeo y su control” revista Moldeo y Fundición. Año 1, No.3, Diciembre, 1958.
9. GÓMEZ., E: Características de una Mezcla par Moldeo en Verde. Moldeo Fundición. No 57 de 1988.
10. LARRAÑAGA, E., F.J. ARMAZABAL. Arenas de Moldeo en Fundiciones Férrreas, 2000.
11. 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.
12. MITROFÁNOV S.I; y otros. Investigación de la capacidad de enriquecimiento de los materiales, Editorial Mir, Moscú, 1982.
13. Manual de Sistema Autofraguante para la Producción de moldes y Corazones. FORDATH. 2000.
14. Manual Sistema Autofraguante para la Producción de moldes. Burmach Castrol Chemical S.A y Prosider 2004.
15. Norma Cubana. NIEB 03-05-14.
16. OLIVEROS, E: Evaluación de mezclas autofraguantes para la obtención de piezas fundidas en la empresa mecánica del níquel. ISMM. Moa, 2002.

17. 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.
18. 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.
19. RODRÍGUEZ, R.R. Folleto Curso de capacitación para fundidores. Moa. Cuba 2004.
20. SALCINES, C.M. Tecnología de fundición. Tomo I, Ciudad Habana: Editorial. Pueblo y Educación. Cuba, 1985.

SITIOS DE INTERNET.

21. <http://apuntes.rincondelvago.com/fundicion-de-precision.html>.
22. <http://www.infoacero.cl/acero/parrabio.htm>
23. http://html.rincondelvago.com/acero_8.html
24. http://www.analitica.com.mx/Curso/Prohttp://www.coremisgm.gob.mx/presenta/novedades/arenasilica.htmlceso1/Temario1_V.html
25. <http://www.ilarduya.com/arenas.htm>
26. http://www.utp.edu.co/~publio17/ac_aleados.htm
27. <http://www.fundacion-entorno.org/programas/investigacion/gt24.pdf>
28. <http://www.unalmed.edu.co/~fundicio/fichasteoricas/UNIDAD07.pdf>
29. http://www.cult.gva.es/gcv/noticies/revista03_21.htm
30. <http://www.mitecnologico.com/im/Main/AcerosHadfield>

ANEXO 1

Tabla No 1 Rocomendaciones de la firma Prosider para el uso del moldeo autofraguante.

No	Materiales	Tipo de Análisis	Parametros establecidos		
1	Arena Sílice Nueva	Humedad	< 1.0 Unidad		
		PH	6.8 - 7.0		
		Determinación de Arcilla	< 0.5 Máximo		
		Granulometría	Determinación de 3 a 4 mallas (0.315 a 0.16)		
		Fineza de grano	De 40 a 70 AFS		
		Determinación demanda ácida	5 ml Máximo		
2	Arena Cromita	Humedad	< 1.0 Unidad		
		PH	6.8 - 7.2		
		Granulometría	Determinación de 3 mallas (0.315 a 0.16)		
		Finesa de grano	De 50 a 80 AFS		
		Determinación demanda ácida	9 ml Máximo		
3	Arena recuperada	Granulometría	Determinación de 3 a 4 mallas (0.315 a 0.16)		
		Determinación de Arcilla	< 0.5 Máximo		
		PH	6.8 - 7.2		
		Fineza de grano	De 40 a 70 AFS		
4	Resina	Densidad	1.20 a 1.22		
		PH	7.5 a 8.0		
		Viscosidad	120 a cps		
5	Mezclas	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	1 hora ≤1	3 horas 15 a 20	24 horas 30 a 50
		Resistencia a la tracción (Kg/cm ²)	1 hora ≤1	3 horas 3 a 4	24 horas >10
		Permeabilidad	< 80		

Tabla No 2. Propiedades de las mezclas de moldeo para aceros al manganeso según Norma cubana (NEIB 03-05-14).

Mezclas de moldeo con arena sílice					
Materiales	Tipo de Mezcla	%	Humedad %	Resistencia en Verde Kg/cm²	Permeabilidad en verde
Arena Sílice	Mezcla de Cara	90 a 94	4 a 4.5	0.5 a 0.55	80
Bentonita		5 a 6			
Melaza		1 a 2			
Mezclas de moldeo con arena cromita					
Materiales	Tipo de Mezcla	%	Humedad %	Resistencia en Verde Kg/cm²	Permeabilidad en verde
Arena Cromita	Mezcla de Cara	90 a 94	4 a 5	0.4 a 0.6	100
Bentonita		5 a 8			
Melaza		1 a 2			

Tabla No 3. Granulométrico de la Arena de Cromita.

No	Mesh	%	Acumulado	Factor K	Fact*%
0,8	20	0,160	0,160	10	1,600
0,63	30	0,115	0,275	20	2,300
0,4	40	14,825	15,100	30	444,750
0,315	50	24,690	39,790	40	987,600
0,2	70	28,455	68,245	50	1422,750
0,16	100	24,625	92,870	70	1723,750
0,125	150	4,980	97,850	100	498,000
0,071	200	1,730	99,580	140	242,200
0,63	270	0,000	99,580	200	0,000
fondo	fondo	0,025	99,605	300	7,500
Total					5330,45

Tabla No 4. Granulométrico de la Arena Sílice.

No	Mesh	%	Acumulado	Factor K	Fact*%
0,8	20	1,000	1,000	10	10,003
0,63	30	0,242	1,243	20	4,846
0,4	40	10,162	11,405	30	304,872
0,315	50	12,892	24,297	40	515,688
0,2	70	19,625	43,922	50	981,225
0,16	100	28,387	72,309	70	1987,076
0,125	150	13,597	85,905	100	1359,680
0,071	200	12,616	98,522	140	1766,296
0,63	270	0,210	98,732	200	42,080
fondo	fondo	1,207	99,939	300	362,190
Total					7333,956

Tabla No 5. Permeabilidad a las Mezclas Autofraguantes.

Mezclas Autofraguantes								
Permeabilidad								
# de M	Valores Experimentales para Arena Sílice				Valores Experimentales para Arena Cromita			
	Exp	Rep I	Rep II	Media	Exp	Rep I	Rep II	Media
1	88	88	88	88	70	75	70	72
2	80	70	75	75	80	75	78	78
3	80	70	75	75	90	95	90	92
4	96	80	90	89	75	80	80	78

Tabla No 6. Resistencia a la Tracción de las Mezclas Autofraguantes.

Mezclas Autofraguantes								
Resistencia a la tracción (Kg/cm²)								
# de M	Valores Experimentales para Arena Sílice				Valores Experimentales para Arena Cromita			
	Exp	Rep I	Rep II	Media	Exp	Rep I	Rep II	Media
1	1,2	1,4	1,2	1,27	1,2	1	1	1,07
2	0,4	0,16	0,18	0,25	0,8	0,8	0,8	0,80
3	0,6	0,58	0,6	0,59	2	1,8	1,8	1,87
4	0,4	0,42	0,4	0,41	1,2	0,8	0,8	0,93

Tabla No 7. Vida de Banco de las Mezclas Autofraguantes.

Mezclas Autofraguantes								
Vida de Banco V/B (Seg.)								
# de M	Valores Experimentales para Arena Sílice				Valores Experimentales para Arena Cromita			
	Exp	Rep I	Rep II	Media	Exp	Rep I	Rep II	Media
1	90	108	120	106	108	108,6	113,4	110
2	138	132	132	134	132	131,4	132	131.8
3	126	124,8	126	125.6	120	126	129	125
4	93	94,2	93	93.4	102	95,4	93	96.8

Tabla No 8. Tiempo de Desmodelado de las Mezclas Autofraguantes.

Mezclas Autofraguantes								
Tiempo de Desmodelado (Seg.)								
# de M	Valores Experimentales para Arena Sílice				Valores Experimentales para Arena Cromita			
	Exp	Rep I	Rep II	Media	Exp	Rep I	Rep II	Media
1	420	300	360	360	420	402	408	410
2	600	600	660	620	432	450	438	440
3	420	420	408	416	360	372	378	370
4	318	324	324	322	408	438	414	420

Tabla No 9. Humedad de las Mezclas de moldeo en Verde.

Mezclas en Verde		
Humedad		
# de M	Valores Exp. Sílice	Valores Exp. Cromita
	Arena Sílice I	Arena Cromita I
1	4,30	4,20
2	4,30	4,20
3	4,30	4,20

Tabla No 10. Resistencia a la Compresión de las Mezclas de moldeo en Verde.

Mezclas en Verde		
Resistencia a la Compresión		
# de M	Valores Exp. Sílice	Valores Exp. Cromita
	A Sílice I	A Cromita I
1	0,55	0,75
2	0,55	0,75
3	0,55	0,75

Tabla No 11. Permeabilidad de las Mezclas de moldeo en Verde.

Mezclas en Verde		
Permeabilidad en verde		
# de M	Valores Exp. Sílice	Valores Exp. Cromita
	A Sílice I	A Cromita I
1	198	205
2	198	205
3	198	205

ANEXO 2

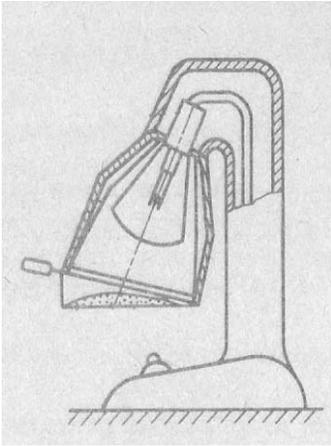


Figura No 1 Lámpara de rayos infrarrojos.

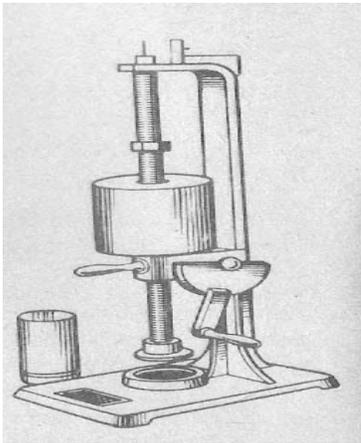


Figura No 2 Martinete.

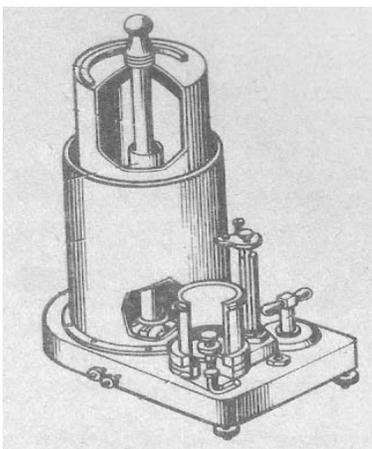


Figura No 3 Permeámetro.

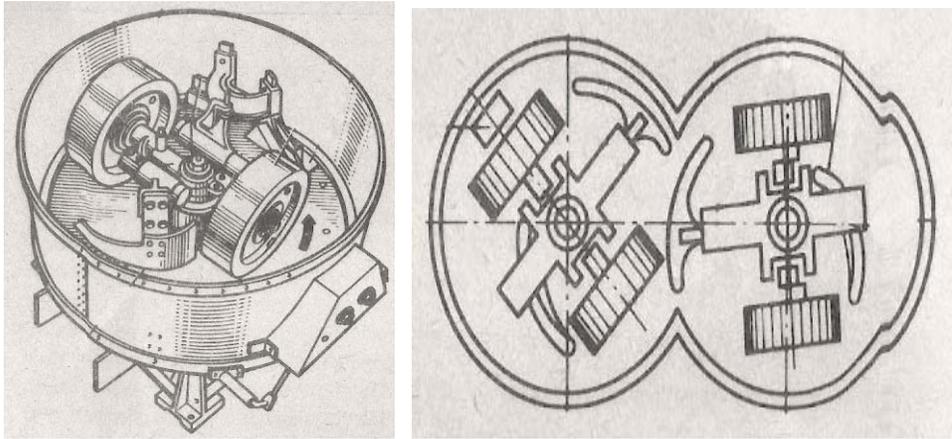


Figura No 4 Mezcladora 1M58.

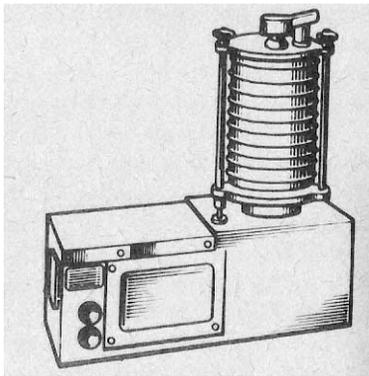


Figura No 5 Tamizadora.

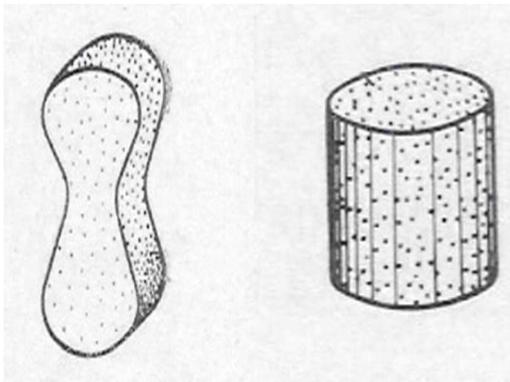


Figura No 6. Forma de las Muestras.



Figura No 7. Probetas fundidas de acero al manganeso.



Figura No 8. Paleta D fundida de acero al manganeso.



Figura No 9. Mezcladora 1A12M.



Figura No 10. Equipo Universal.



Figura No 11. Turbomix.