IMPLEMENTACION DEL METODO DE CONTROL DE LA APTITUD AL MOLDEO EN LAS MEZCLAS DE ARENAS UTILIZADAS EN INFUSAN LTDA.

CARLINA MARGARITA LONDOÑO MONTES

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2008

IMPEMENTACION DEL METODO DE CONTROL DE LA APTITUD AL MOLDEO EN LAS MEZCLAS DE ARENAS UTILIZADAS EN INFUSAN LTDA.

CARLINA MARGARITA LONDOÑO MONTES

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniera Metalúrgica

Director: Ing. MsC. Arnaldo Alonso Baquero

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2008

DEDICATORIA

A todas las personas que han creído firmemente en sus sueños y han luchado hasta el final por alcanzar sus metas.

A todas las personas que sin importar las dificultades encontradas se han esforzado por superarlas y aprender de ellas.

A todos los que han sido mi fuente de inspiración por su entrega y sacrificio; en especial a mi madre y a Dago.

AGRADECIMIENTOS

A INFUSAN LTDA., por darme la oportunidad de ser parte de su gran equipo de trabajo y creer en mi aporte; especialmente a los trabajadores por su ayuda y esfuerzo.

A Mario por su paciencia, confianza y enseñanzas.

Al profesor Arnaldo por su apoyo y orientación.

A mi mamá por su ejemplo, su perseverancia y su amor.

Y a todos aquellos que de una u otra forma estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y colaboración.

RESUMEN

TITULO: IMPEMENTACION DEL METODO DE CONTROL DE LA APTITUD AL MOLDEO EN LAS MEZCLAS DE ARENAS UTILIZADAS EN INFUSAN LTDA.*

AUTOR: CARLINA MARGARITA LONDOÑO MONTES**

PALABRAS CLAVES: Arena de moldeo, defectos de fundición, resistencia a la compresión, compactibilidad, contenido de humedad, friabilidad, aptitud al moldeo, paralelepípedo de calidad.

RESÚMEN: La disminución de los defectos de fundición y de los rechazos por piezas dañadas ha sido una de las principales preocupaciones de las empresas dedicadas a la fundición, en particular las medianas y pequeñas empresas. A pesar que varios estudios acerca del comportamiento de las arenas de moldeo han aportado grandes avances, no ha sido posible superar la falta de implementación de las recomendaciones extraídas de ellos debido al elevado grado de empirismo de este tipo de empresas. El análisis desarrollado en el presente Proyecto, evalúa los principales defectos de fundición encontrado en INFUSAN LTDA., una pequeña industria fundidora local, y su relación con las propiedades de la arena de moldeo allí utilizada, para establecer los parámetros que deben ser corregidos para disminuir la cantidad y la calidad de los defectos en las piezas fundidas que la empresa fabrica. Para alcanzar esto, se elaboran mezclas de arena variando la cantidad de los insumos utilizados en ellas y se efectúa la caracterización del carbón utilizado por INFUSAN LTDA.; a partir de las propiedades encontradas para cada una de estas mezclas de arena, se propone un procedimiento de preparación de la arena que les permite controlar su proceso productivo en la sección de arena de moldeo, con el fin de disminuir los defectos originados por ella.

* Trabajo de Grado
** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Director: Arnaldo Alonso Baquero

ABSTRACT

TITLE: IMPLEMENTATION OF THE METHOD OF CONTROL OF THE APTITUDE TO MOLD IN THE MIXTURES OF SANDS USED IN INFUSAN LTDA.*

AUTHOR: CARLINA MARGARITA LONDOÑO MONTES**

KEYWORDS: Sand molding, foundry defects, resistance to the compression, compactability, moisture, friability, molding aptitude, parallelepiped of quality.

ABSTRACT: The decrease of the foundry defects and the rejections for damaged pieces have been one of the main concerns of the companies dedicates to the smelting, in particular the medium and small companies. Instead of the several studies about the behavior of molding sands that have contributed big advances, it has not been possible to overcome their implementation lack of the recommendations extracted of them, because de high grade of empirism in that kind of companies. The analysis developed in the present project, evaluate the main foundry defects found in INFUSAN LTDA., a small local foundry, and its relationship with the properties of the molding sand that its used here, to establish the parameters that has to be corrected to diminish the quantity and quality of the defects in the foundry pieces that the factory does. To reach this, its elaborated sand´s mixtures changing the quantity of the inputs using in them and carried out the characterization of the coal used for INFUSAN LTDA.; taking as reference the properties found for each one of this sand´s mixtures, is proposed a procedure of preparation that allows them to control its productive process in the section of mold sands, with the purpose of diminishing the defects originated by them.

* Work of Degree

** Faculty of Physicochemical Engineerings, School of Metallurgical Engineering and Science of Materials, Director: Arnaldo Alonso Baquero

TABLA DE CONTENIDO

		Pág.
INTRODUCCION		8
OBJETIVO GENERAL		10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS		10
1.	DESCRIPCION DEL PROBLEMA	11
2.	FUNDAMENTO TEORICO	13
2.1	ARENAS DE MOLDEO	13
2.1.1	Clasificación	14
2.1.2	Características	15
2.1.3	Componentes	16
2.1.3.1	Arena	16
2.1.3.2	Aglutinantes	19
2.1.3.3	Agua	21
2.1.3.4	Carbón	22
2.1.4	Pruebas y control	23
2.1.4.1	Pruebas primarias	23
2.1.4.2	Pruebas secundarias	25
2.1.4.3	Clasificación de la arena según sus propiedades	26
2.2	PROCESOS DE MOLDEO	27
2.2.1	Moldeo en verde	27
2.2.2	Moldeo en seco	27
2.3	APTITUD AL MOLDEO	28
2.3.1	Descripción	28
2.3.2	Compactibilidad	28
2.3.3	Curva de la aptitud al moldeo	28

3.	SITUACION ENCONTRADA EN LAS PIEZAS FABRICADAS EN INFUSAN LTDA	29
3.1	SELECCIÓN Y DEFINICION DE VARIABLES	33
3.1.1	Características de las piezas fabricadas en INFUSAN LTDA.	33
3.1.2	Propiedades de la arena de moldeo	34
3.1.3	Componentes de la mezcla de arena	35
4.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	36
4.1	PRUEBAS DE CONTROL A LA ARENA DE MOLDEO UTILIZADA EN INFUSAN LTDA.	36
4.1.1	Arena Sílico – arcillosa natural	36
4.1.2	Arena Sílico – arcillosa sintética	38
4.2	ELABORACION DE MEZCLAS DE ARENA	40
4.2.1	Mezclas con base en arena Sílico – arcillosa sintética	40
4.2.2	Mezclas con base en arena Sílico – arcillosa natural	42
4.3	PRUEBAS DE CONTROL A LAS MEZCLAS ARENA ELABORADAS EN EL LABORATORIO	44
4.3.1	Mezclas de arena Sílico – arcillosa sintética	44
4.3.2	Mezclas de arena Sílico – arcillosa natural	50
4.3.3	Variación de la compactabilidad con la humedad	56
4.4	PRUEBAS DE CONTROL AL CARBON MOLIDO UTILIZADO EN INFUSAN LTDA.	57
5.	RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS	58
5.1	SELECCIÓN DE LAS MEZCLAS DE ARENA PARA IMPLEMENTAR EN INFUSAN LDA	58
5.2	CONSTRUCCION DE LA CURVA DE LA APTITUD AL MOLDEO PARA LA MEZCLA DE ARENA SELECCIONADA	59
5.2.1	Variación de la resistencia a la compresión en verde con la humedad	59
5.2.2	Paralelepípedo de calidad	60

5.3 IMPLEMENTACION DE LA MEZCLA DE ARENA SELECCIONADA EN INFUSAN LTDA. 62
5.3.1 Variación de los defectos encontrados 62
5.3.2 Variación de los rechazos por defectos 64
6. CONCLUSIONES 66
7. RECOMENDACIONES 68
8. BIBLIOGRAFIA 69
ANEXO A. Procedimiento para determinar la arcilla activa de mezclas de arena 71
ANEXO B. Procedimiento para determinar la friabilidad de mezclas de arena 73

LISTA DE TABLAS

Tabla No 1. Influencia de los granos sobre el comportamiento de la arena de moldeo y el moldeo. 18
Tabla No 2. Principales materiales y procesos de moldeo. 21
Tabla No 3. Principales característica del carbón mineral usado como aditivo en fundición. 22
Tabla No 4. Efectos de la humedad sobre las propiedades de la arena de moldeo en verde. 24
Tabla No 5. Relación entre algunas propiedades y el comportamiento de la arena de moldeo. 26
Tabla No. 6. Resultados de las pruebas aplicadas a la arena de moldeo sílico – arcillosa natural utilizada en INFUSAN TLDA. 36
Tabla No. 7. Distribución Granulométrica de la arena de moldeo sílico arcillosa natural utilizada en INFUSAN LTDA. 37
Tabla No. 8. Resultados de las pruebas aplicadas a la arena de moldeo sílico arcillosa sintética utilizada en INFUSAN TLDA. 42
Tabla No. 9. Distribución Granulométrica de la arena de moldeo sílico arcillosa sintética utilizada en INFUSAN LTDA. 39
Tabla No. 10. Cantidades utilizadas en la elaboración de la Mezcla No. 1 41
Tabla No. 11. Cantidades utilizadas en la elaboración de la Mezcla No. 2 41
Tabla No. 12. Cantidades utilizadas en la elaboración de la Mezcla No. 3 41
Tabla No. 13. Cantidades utilizadas en la elaboración de la Mezcla No. 4 42
Tabla No. 14. Cantidades utilizadas en la elaboración de la Mezcla No. 5 43
Tabla No. 15. Cantidades utilizadas en la elaboración de la Mezcla No. 6 43
Tabla No. 16. Cantidades utilizadas en la elaboración de la Mezcla No. 7 43
Tabla No. 17. Variación de las propiedades de la Mezcla No. 2, con el

contenido de humedad **44**
Tabla No. 18. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 2 **45**
Tabla No. 19. Variación de las propiedades de la Mezcla No. 3, con el contenido de humedad **46**
Tabla No. 20. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 3 **46**
Tabla No. 21. Variación de las propiedades de la Mezcla No. 4, con el contenido de humedad **47**
Tabla No. 22. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 4 **48**
Tabla No. 23. Variación de las propiedades de la Mezcla No. 5, con el contenido de humedad **50**
Tabla No. 24. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 5 **51**
Tabla No. 25. Variación de las propiedades de la Mezcla No. 6, con el contenido de humedad **52**
Tabla No. 26. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 6 **52**
Tabla No. 27. Variación de las propiedades de la Mezcla No. 7, con el contenido de humedad **53**
Tabla No. 28. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 7 **54**
Tabla No. 29. Propiedades del carbón molido utilizado en INFUSAN LTDA. **57**
Tabla No. 30. Mezcla de arena de moldeo que presenta propiedades Óptimas **58**
Tabla No. 31. Variación de la cantidad de piezas defectuosas con la implementación de la mezcla de arena seleccionada **65**

LISTA DE FIGURAS

Figura No 1. Forma de los granos de la arena sílice. 14
Figura No 2. Aro 065 Núcleo Concreto 29
Figura No 3. Aro 060 Tipo Pesado 29
Figura No 4. Rejilla 29
Figura No 5. Aro 060 Tipo Liviano 29
Figura No 6. Aro 060 Tipo Liviano con erosión 30
Figura No 7. Anillo Unión Gibault 3´´ 30
Figura No 8. Anillo Unión Gibault 8´´ PVC 30
Figura No 9. Aro Rectangular de ½ con Cadena 30
Figura No 10. Tapa 060 Tipo Pesado 31
Figura No 11. Brida Unión Gibault 3´´ 31
Figura No 12. Tapa 060 Electricidad Ruitoque 31
Figura No 13. Tapa Telecomunicaciones 060 Tipo Liviano con Pasador 32
Figura No 14. Tapa Alcantarillado 060 Tipo Liviano con Cadena 32
Figura No 15. Aro Ovalado 32
Figura No 16. Tapa 030 32
Figura No. 17. Aro Rectangular 33
Figura No. 18. Aro 060 33
Figura No 19. Aro 060 obtenido molde de mezcla de arena recomendada 62
Figura No 20. Pasamuros obtenido con molde de mezcla de arena Recomendada 63
Figura No 21. Te 10X10 obtenida molde de mezcla de arena recomendada 63
Figura No 22. Tapa 030 obtenido molde de mezcla de arena recomendada 64
Figura No 23. Rejilla obtenida con molde de mezcla de arena recomendada 64

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica No. 1. Distribución Granulométrica de la arena de moldeo sílico arcillosa natural utilizada en INFUSAN LTDA. 37
Gráfica No. 2. Distribución Granulométrica de la arena de moldeo sílico arcillosa sintética utilizada en INFUSAN LTDA. 39
Gráfica No. 3. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 2 45
Gráfica No. 4. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 3 47
Gráfica No. 5. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 4 48
Gráfica No. 6. Variación de la resistencia a la compresión en verde con la humedad para mezclas de arena sílico - arcillosas sintéticas. 49
Gráfica No. 7. Variación de la permeabilidad con la humedad para mezclas de arena sílico - arcillosas sintéticas. 50
Gráfica No. 8. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 5 51
Gráfica No. 9. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 6 53
Gráfica No. 10. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 7 54
Gráfica No. 11. Variación de la resistencia a la compresión en verde con la humedad para mezclas de arena sílico - arcillosas naturales. 55
Gráfica No. 12. Variación de la compactibilidad con la humedad para las Mezclas No. 2, 3 y 4 56
Gráfica No. 13. Variación de la resistencia a la compresión con la humedad, para la Mezcla No. 2 60
Gráfica No. 14. Paralelepípedo de calidad para mezclas de arena sílico arcillosas aglomeradas con bentonita 61

INTRODUCCION

La falta de sistematización y control de los procesos productivos al interior de las pequeñas y medianas empresas, se ha convertido en uno de los pilares de su irregular productividad. A pesar de los intentos que realizan para estandarizar los niveles de producción a través de programas administrativos, la carencia del necesario control técnico se convierte en una traba para implementarlos adecuadamente.

En las pequeñas y medianas industrias fundidoras en la región continúa prevaleciendo el empirismo y la tradición en el proceso productivo, desconociendo los avances que (hace décadas) existen en esta rama y que ofrecen controles sencillos y económicos de aplicar.

El gran dolor de cabeza para la fundición ha sido el control de la calidad de las arenas de moldeo, por su variabilidad dependiendo de su origen mineralógico, su comportamiento en relación a los distintos aditivos utilizados, y principalmente por la gran incidencia de estos dos sobre la aparición de defectos en las piezas fundidas.

Desde hace tiempo, numerosos investigadores encontraron los parámetros y pruebas de control para las arenas de moldeo, y establecieron cuáles de ellos son principales a la hora de evaluar su calidad. En el presente estudio se parte de una revisión bibliográfica del tema para establecer estos parámetros según las características de las piezas producidas en INFUSAN LTDA.

Tomando como base las arenas de moldeo (de distinto origen) preparadas en INFUSAN LTDA., se evalúa su calidad teniendo en cuenta los parámetros y

pruebas establecidos previamente; y se preparan nuevas mezclas, variando los porcentajes de los componentes utilizados, con el fin de obtener una arena de moldeo que cumpla con las propiedades requeridas para su uso como tal.

Por último, como producto del estudio se elaboran y entregan una serie de recomendaciones a INFUSAN LTDA., en aras que comprendan la importancia que reviste el control de las arenas de moldeo en el proceso productivo y logren romper con su tradición empírica implementado las recomendaciones aquí planteadas.

OBJETIVO GENERAL

Implementar el método de control de la aptitud al moldeo en las arenas de moldeo utilizadas en INFUSAN LTDA., para disminuir los defectos en las piezas moldeadas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las propiedades requeridas de las mezclas de arena de moldeo para la fabricación de piezas en INFUSAN LTDA.

- Obtener mezclas de arena que cumplan los requerimientos establecidas en la fabricación de moldes para la obtención de piezas sanas en INFUSAN LTDA.

- Evaluar la aplicabilidad del método de control de la aptitud al moldeo en mezclas de arena, para disminuir los defectos de las piezas moldeadas.

1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

INFUSAN LTDA., es una mediana empresa fundidora dedicada a la producción de piezas para acueducto y alcantarillado. Sus productos cuentan con gran aceptación dentro del mercado, pero es necesario invertir grandes cantidades de tiempo en los arreglos de maquinado y acabado superficial, debido a que es común que se presenten defectos como dartas, grietas y colas de rata en las piezas fundidas. Además que en cada lote de producción, existe un porcentaje considerable de moldes que fallan por sus inadecuadas propiedades.

Como numerosas pequeñas y medianas empresas de fundición que existen actualmente en la región, INFUSAN LTDA., no posee un análisis elemental de las arenas de moldeo, ni de las mezclas de arena que utiliza en su proceso productivo. Este desconocimiento se debe, en primer lugar, a que los proveedores de arena no poseen un análisis de la misma, y dejan esta labor en manos de la empresa fundidora, la cual al carecer de un laboratorio de arenas de moldeo tampoco llega a caracterizarlas.

Esta situación genera un elevado grado de empirismo en el proceso de fundición desarrollado por INFUSAN LTDA., el cual no considera la teoría y lo deja en manos de la experiencia, por lo que el procedimiento de preparación de arenas no tiene en cuenta la caracterización de la arena utilizada, ni la consiguiente variación en los porcentajes de los insumos que componen la mezcla.

Con el pasar del tiempo y la acumulación de experiencia en el proceso de fundición, se hace más evidente que los métodos empleados en la regeneración y mezcla de las arenas de moldeo tiene una incidencia directa sobre la calidad de las fundiciones y el costo final del producto acabado, y esto se refleja en INFUSAN

LTDA., donde los principales defectos de fundición que se encuentran se deben a las propiedades de la arena de moldeo. Es más, la producción confiable de buenas fundiciones radica, en gran medida, en la preparación apropiada de las arenas de moldeo, y las adecuadas relaciones entres sus propiedades.

La gran limitación técnica y económica que presentan las medianas empresas de fundición como INFUSAN LTDA., no le permite adquirir equipos y personal especializado que se encargue del control de las arenas de moldeo. Aún así, es necesario que estos talleres tengan acceso al conocimiento técnico que se ha desarrollado en este campo a través de estudios específicos sobre las condiciones de trabajo que enfrentan, y que puedan aplicar estos estudios a su proceso productivo con el fin de mejorarlo, tanto en lo técnico como en lo económico.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 ARENAS DE MOLDEO

Las arenas que reciben este nombre son aquellas que sirven de materia prima para la fabricación de los moldes de fundición, destinados a recibir el metal líquido, los cuales deben poseer las siguientes cualidades [8]:

- Tener aptitud al moldeo
- Tener cohesión y resistencia, para poder reproducir y conservar la reproducción del modelo
- Ser refractarios, es decir, resistir la acción del calor
- Tener permeabilidad, es decir, permitir la evacuación rápida del aire contenido en el molde y de los gases que se producen en el acto de la colada por la acción del calor sobre el mismo molde.
- Tener elevada colapsabilidad, es decir, disgregarse fácilmente para permitir la extracción y el pulimento de la pieza.

Los componentes básicos de las arenas de moldeo son la arena sílice, el aglutinante y el agua. Cuando el material se compacta en la elaboración del molde, los granos de sílice deben permanecer unidos entre sí; esta característica se logra cubriendo los granos con aglutinante, a través de la acción conjunta entre el agua y el aglutinante. [9]

Existen otras sustancias que mejoran el desempeño y facilitan el manejo y preparación de las arenas sin ser esenciales en su elaboración. Entre estas se encuentra el carbón, la dextrina, el aserrín, la celulosa y algunos agentes químicos; según el porcentaje que de ellos se utilice pueden presentar facilidad en el manejo de las arena durante la operación global de una planta

2.1.1 Clasificación

La clasificación más ampliamente usada para las arena de moldeo se basa en su contenido de arcilla [2]:

1. Arenas sílico - arcillosas naturales
2. Arenas sílico - arcillosas sintéticas

La forma del grano de arena tiene una marcada influencia sobre su comportamiento, tanto en las arenas sílico – arcillosas naturales como en las sintéticas, sobre esta base se tiene una segunda clasificación [2]:

1. Arena de grano redondeado
2. Arena de grano angular
3. Arena de grano subangular
4. Arena de grano compuesto

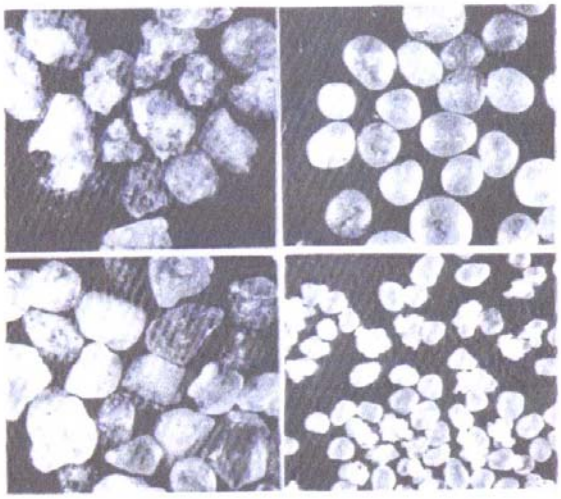


Figura No. 1. Forma de los granos de arena sílice [5]

En la figura No. 1 se observan estas formas de grano, siendo el muy angular o compuesto los únicos inaceptables para el moldeo. Una arena de grano redondeado produce mejor permeabilidad, superior alteración granulométrica y menor consumo de bentonita, que una arena de grano angular.

Y cada una de las anteriores formas presenta diversas dimensiones de grano [2]:

1. Arena de grano grueso
2. Arena de grano medio
3. Arena de grano fino

2.1.2 Características

Su base son las arenas de cuarzo, que componen más del 90% de la arena de moldeo; son las ampliamente utilizadas por ser las más económicas. El cuarzo es la forma alotrópica de la sílice estable a la temperatura ambiente, tiene densidad de 2.65 g/cm^3 y punto de fusión de 1728 ºC [5].

La arena de moldeo tiene costos económicos de mano de obra e insumos, además de que se recicla fácil y económicamente, utilizando componentes menos nocivos para la salud y el medio ambiente.

Las etapas por la que pasa una arena de moldeo en verde (transporte y manejo, elaboración del molde, vaciado del metal, desmoldeo y reacondicionamiento) demandan de ella un comportamiento especial con mayor énfasis en la elaboración del molde, el vaciado y la solidificación del metal por lo que las características más importantes a tener en cuenta son [9]:

- Resistencia o Cohesión: Conservación de la forma del modelo una vez extraído, resistir la manipulación, la colocación del macho y las presiones metalostáticas generadas durante la colada.
- Aptitud al moldeo: Cualidad que permite a una arena copiar el modelo bajo el menor esfuerzo, compactándose adecuadamente sin formar rugosidades en la pieza, evitando el mal copiado de relieves en el molde.
- Permeabilidad: Permite la evacuación de los gases que se originan en el molde al momento del vaciado, evitando la formación de sopladuras.

- Resistencia a la erosión: Habilidad de evitar el desmoronamiento superficial del molde, que causa inclusiones en la pieza.

Otras propiedades secundarias de las arenas de moldeo, llamadas propiedades tecnológicas, facilitan las operaciones en una planta:

- Colpasabilidad: Capacidad de desmoronarse una vez solidifica la pieza
- Vida de banco: resistencia a la pérdida de humedad, y poca sensibilidad a su variación, evitado variaciones en las características del modelo.

Las arenas también poseen ciertas características indeseables, como [7]:

- Expansión térmica casi 2% (lineal) en la temperatura de 573 ºC, debido a la inversión del cuarzo (transformación reversible del cuarzo alfa en cuarzo beta). Esta expansión es la causa de muchos defectos en las piezas moldeadas, como dartas, costras, colas de rata.
- Reacción química con hierro oxidado (FeO) dando origen a la fatalita, un silicato de hierro de bajo punto de fusión que promueve defectos de rugosidad superficial, penetración, inclusiones.
- Riesgo de causar silicosis en los pulmones de quien respire aire que contenga partículas de sílice menores que 10 micrones en cantidad mayor que seis millones de partículas por pie cúbico. Es necesario trabajar las arenas en húmedo o tener la protección adecuada.

2.1.3 Componentes

2.1.3.1 Arena

Constituida por granos de cuarzo (bióxido de silicio, SiO_2, muy refractario) y por arcilla (silicato hidratado de aluminio, cuya fórmula aproximada es: $2SiO_2*Al_2O_3*2H_2O$), que es el elemento de unión y confiere plasticidad y

disgregabilidad al molde; la estructura granular propia de la arena asegura la permeabilidad [2].

Por abundancia y facilidad de tratamiento, la arena sílice es la más utilizada para el moldeo. Sus características se han definido según su tamaño y forma, y según su composición.

La forma de la arena a nivel de grano y colectiva (distribución por tamaños) tiene influencia en el desempeño del molde, por lo que existen ensayos que permiten conocer el tamaño promedio de grano, distribución del tamaño de grano, contenido de arcilla AFS, contenido de finos y forma de grano [8].

El tamaño de grano determina en gran medida el acabado superficial de la pieza, siendo la arena más fina la que mejor acabado da. La superficie específica también está determinada por el tamaño de grano y es importante porque define la cantidad necesario de bentonita para recubrir todos los granos con un espesor uniforme, por lo que una arena más fina demanda mayor cantidad de arcilla.

La distribución por tamaño de grano afecta directamente la permeabilidad y fragilidad de la arena compactada, por lo que un molde con área cuyos tamaños están comprendido en menos de tres tamices presenta problemas de roturas y agrietamiento por sensibilidad a la dilatación de los granos de sílice, o al contrario, un molde con arenas de dimensiones comprendidas en más de cinco tamices presenta baja permeabilidad y demanda mayores contenidos de bentonita. Se recomienda que la distribución granulométrica de la arena cumpla los siguientes parámetros [8]:

- Se asemeje a una distribución Gaussiana (en forma de campana)
- El máximo porcentaje retenido en un tamiz sea de 45%
- La suma de los tres tamices consecutivos con contenidos mayores no supere el 95%.

- Los cuatro porcentajes mayores deben estar en tamices consecutivos y su suma no debe ser inferior al 85%.

En general, la distribución de los diversos tamaños de granos en una arena y su forma, ejerce efectos muy marcados y bastante conocidos en el comportamiento de la arena de moldeo y del molde. La Tabla No. 1, ofrece un resumen de dichos efectos.

Comportamiento de la arena de moldeo	**Características de los granos de arena**	
	Tamaño medio de los granos	
	Fino	**Grueso**
Consumo de aglutinante	Mayor	Menor
Tamaño de poros	Pequeños	Grandes
Área total de superficie	Grande	Pequeña
Permeabilidad	Baja	Alta
Velocidad de calentamiento	Alta	Baja
Refractariedad	Menor	Mayor
Expansión térmica	Mayor	Menor
Comportamiento de la arena de moldeo	**Distribución granulométrica**	
	Pocos tamices	**Varios tamices**
Volumen de poros	Grande	Pequeño
Permeabilidad	Alta	Baja
Trabazón de apilamiento	Grande	Pequeña
Expansión térmica	Mayor	Menor
Comportamiento de la arena de moldeo	**Forma de los granos**	
	Angulosos	**Redondeados**
Trabazón apilamiento	Mayor	Menor
Área total de superficie	Mayor	Menor
Permeabilidad	Alta	Baja
Energía para apisonado	Mayor	Menor

Tabla No. 1. Influencia de los granos sobre el comportamiento de arena de moldeo y el moldeo [8]

La presencia de partículas menores a 20 µm disminuye la permeabilidad del molde, sinteriza la superficie de la pieza fundida y genera mayor demanda de

agua para lograr niveles iguales en las propiedades. El máximo nivel de arcilla AFS para el moldeo en verde en de 0.5%.

La presencia de finos[1] disminuye la permeabilidad, afecta la refractariedad y aumenta a presencia de grumos; pero su ausencia total disminuye la resistencia y tenacidad del molde, haciéndolo quebradizo y erosionado, también vuelve la arena sensible a los cambios de humedad y produce valores errados en las propiedades. Por lo tanto se recomienda un contenido de finos del 1% [8].

2.1.3.2 Aglutinantes

Existen dos tipos principales: los aglutinantes que funcionan como adhesivos de contacto, representados por las arcillas o bentonitas, y los aglutinantes químicos (es decir, que necesitan que ocurra una reacción química para proporciona el efecto ligante entre los granos de arena), representados por resinas de diversos tipos silicato de sodio, cemento y otros [8].

Las **arcillas** son rocas plásticas constituidas por silicatos de aluminio hidratados, que pueden contener sílice libre y otras impurezas. Cada mineral de arcilla tiene una estructura cristalina particular que determina la intensidad con que sus partículas se atraen y fijan las moléculas de agua; teniendo que el poder aglomerante de una arcilla depende directamente de su capacidad de fijar moléculas de agua.

Las arcillas que contienen montmorillonita como mineral principal son denominadas **bentonitas** y son las preferidas para el moldeo en verde, debido a que presentan las mejores propiedades aglomerantes, confiriéndole alta resistencia y permeabilidad a la arena de moldeo; además necesitan las

[1] Partículas menores a 100 µm y mayores a 20 µm; quedan retenidas en los tamices 200, 270 y bandeja.

temperaturas más altas para hacerse inertes[2] y sus partículas se hinchan cuando su estructura laminar absorbe agua. Esta última característica es notable porque cuando el molde se calienta durante su llenado, la arcilla libera gradualmente el agua absorbida y se contrae; esta contracción ocurre en un intervalo de temperaturas que incluye la temperatura de inversión del cuarzo, contrarrestando este efecto.

A pesar de la amplia variedad de aglutinantes químicos, en el presente trabajo no se reseñan en detalle debido a su inaplicabilidad en el problema estudiando, sólo se menciona que para que la arena de moldeo químicamente ligada desarrolle su poder aglutinante es necesario que ocurra una reacción química entre el aglutinante principal (por ejemplo, una resina) y uno o más agentes especiales. Esa reacción requiere un cierto tiempo (que puede ser corto como unos pocos segundos o bastante largo como media hora o más), el tiempo de fraguado, durante el cual el modelo (o la caja de macho) permanece ocupado.

La principal diferencia entre estos dos tipos de aglutinantes es la de que mientras la resistencia permanece siempre proporcional a la cantidad de aglutinante presente en la arena en ambos casos, ella es muy dependiente de la energía con que se apisona el moldeo en el caso de las arcillas, y relativamente poco dependiente de este factor en el caso de las resinas. Esta diferencia básica es la que determina la importancia de la máquina de moldeo para las arenas en verde, mientras que ciertos sistemas de arenas autofraguantes no requieren una máquina de moldeo, lográndose la compactación del moldeo mediante una acción mucho más blanda de vibración, en vez de pancadas y/o prensado.

Otra diferencia entre estos dos tipos de aglutinante, y que determina la inaplicabilidad del segundo, son los procesos de moldeo especiales que este

[2] Pérdida de la capacidad aglomerante a elevadas temperaturas.

requiere. En la Tabla No. 2, se clasifican algunos de los procesos y materiales de moldeo más utilizados.

<table>
<tr><td rowspan="11">Molde a base de arena u otro agregado</td><td rowspan="11">Aglomerados con</td><td>Adhesivo de contacto</td><td>Arcillas</td><td colspan="2"></td><td>En verde</td></tr>
<tr><td rowspan="10">Ligantes químicos</td><td></td><td colspan="2"></td><td>En seco</td></tr>
<tr><td>Aceites secativos</td><td colspan="2"></td><td>“arena – aceite ”</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Resinas</td><td rowspan="2">Reacción química activada por calor</td><td rowspan="2">Calor</td><td>Moldeo Shell
Machos en Shell
Caja caliente
Caja tibia</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Reacción química a temperatura ambiente</td><td>Autofra-guantes</td><td rowspan="3">Furánicos, fenólicos, uretánicos, resol-éster, caja fría proceso SO2 CO2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Silicato de sodio</td><td rowspan="3">Pasaje de gas</td></tr>
<tr><td>Cemento Portland</td><td>Proceso CO2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Fosfatos inorgánicos</td><td rowspan="3">Autofra-guantes</td><td>Silicato - éster</td></tr>
<tr><td></td><td>Arena cemento</td></tr>
<tr><td>Otros</td><td>Cerámicos, yeso</td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">Moldes maquinables</td><td colspan="3">Sin aglomerante</td><td colspan="2">Modelo permanente
Modelo evaporable</td><td>“microfusión”
proceso “V
poliestireno expandido”</td></tr>
<tr><td colspan="3">Metal (acero o hierro gris)</td><td colspan="2"></td><td>Coquillas</td></tr>
<tr><td colspan="3">Grafito</td><td colspan="2"></td><td>Proceso Griffin</td></tr>
</table>

Tabla No. 2. Principales materiales y procesos de moldeo [8]

2.1.3.3 Agua

Para la elaboración de la arena de moldeo en verde se utiliza agua mineral a temperatura ambiente. Su función es darle plasticidad a la mezcla de arena, desarrollando las características adhesivas de la bentonita que une los granos de arena [9].

Hay que tener cuidado en su adición, porque pequeñas variaciones en la cantidad requerida pueden causar problemas serios en el molde. Por esta razón, el agua es

probablemente el ingrediente más importante en la preparación de la arena de moldeo.

2.1.3.4 Carbón

El empleo del carbón mineral molido en las mezclas de arena de moldeo de fundición gris es utilizado por las ventajas que ofrece y ser económico. Este aditivo produce resultados efectivos en el acabado superficial de las piezas y eliminando poros presentes. Evita la adherencia de la arena a la pieza fundida, la penetración del metal líquido en el molde y reduce la posibilidad de defectos debido a la expansión térmica de la sílice [3].

Este material puede interferir en la acción aglomerante de la arcilla, directamente a través de sus productos de descomposición térmica. Estos, tal como la arcilla inerte, quedan en el sistema de arena y demandan una porción adicional de agua; además de disminuir la permeabilidad del molde, al llenar los vacíos entre los granos. Así que su empleo de ser limitado al mínimo necesario.

El carbón mineral molido para uso en fundición debe tener las características especificadas en la Tabla No. 3.

Propiedad	**Porcentaje (%)**
Materia Volátil	30 mínimo
Carbono	50 – 60
Cenizas	8 máximo
Humedad	3 aproximada
Azufre	7 máximo

Tabla No.3. Principales características del carbón mineral usado como aditivo en fundición [3]

2.1.4 Pruebas y control

Existen pruebas de laboratorio para auxiliar a los fundidores en la eliminación de los problemas de calidad asociados con vaciado y moldeo. Algunas se consideran primarias porque deben ser ejecutadas a menudo, y otras secundarias realizada con menor frecuencia, sin que los términos primario y secundario tengan nada que ver con la importancia relativa de las mismas [9].

2.1.4.1 Pruebas primarias

Existen cinco pruebas primarias, las cuales son:

- ***Resistencia a la compresión***

  Es una de las pruebas más comunes, mediante la cual los fundidores pueden relacionar y comparar resultados, y expresa la habilidad de mantener la forma del molde. Es afectada por el grado de mezcla, el contenido de arcilla, el tipo de arcilla, el contenido de humedad, y la compactabilidad. Otros factores menos influyentes son la forma de grano de la arena y la densidad [9].

- ***Permeabilidad***

  Es la medida de la “apertura” de la mezcla de arena que afecta la forma en que los gases del molde son transmitidos a través del mismo. A pesar de que la correlación del gas con defectos como la porosidad, burbujas de aire o gotas frías es difícil de establecer, esa prueba se relaciona con el terminado de la pieza colada, ya que la alta permeabilidad está sujeta a problemas de terminado tales como sobrequemado, vitrificación o defectos de expansión [9].

Estas pruebas proveen un buen índice para ayudar a definir la finura y distribución de grano (AFS), ya que arenas que no tienen una buena distribución de cribas, mayor tendencia a efectos de expansión tales como colas de rata, combas y costras.

- ***Humedad***

Es una de las pruebas más importantes para la arena de moldeo. El agua afecta cada una de las propiedades físicas de la arena de moldeo, la resistencia a la compresión en verde y en seco, la resistencia a la compresión al calor, la resistencia a la tensión, el flujo, la permeabilidad, la expansión, la dureza del molde, la deformación, etc., con excepción de la finura de grano. En la Tabla No. 3 se ve la relación de distintas propiedades de la arenas en relación a la humedad [9].

PROPIEDAD	EFECTO
Resistencia a la compresión en verde	Sube a medida que aumenta la humedad hasta antes de llegar al punto máximo después del cual baja
Resistencia a la compresión en seco	Sube a medida que aumenta la humedad
Resistencia a la compresión al calor	Sube a medida que aumenta la humedad
Plasticidad	Baja a medida que aumenta la humedad hasta llegar al punto mínimo después del cual sube
Permeabilidad	Sube a medida que aumenta la humedad hasta antes de llegar al punto máximo después del cual baja
Expansión / Contracción	Sube a medida que aumenta la humedad
Dureza del molde	Sube a medida que aumenta la humedad hasta antes de llegar al punto máximo después del cual baja
Densidad	Baja a medida que aumenta la humedad hasta llegar al punto mínimo después del cual sube

Tabla No. 4. Efectos de la humedad sobre las propiedades de arena verde para moldeo. [9]

- ***Compactabilidad***

  Es una de las pruebas más fáciles en informativas. Indica la excesiva o incompleta humedad de la arena en verde. Para cada sistema de arena existe un porcentaje de humedad necesario para alcanzar el punto óptimo de compactabilidad que no debe variar siempre que las condiciones sean estables, aunque las variaciones en la calidad de la bentonita, las reducciones o adiciones de polvo, la temperatura de la arena, el flujo de arena proveniente de machos, el grado de mezclado y otras condiciones, pueden crear un cambio en el punto óptimo del nivel de humedad para una cierta arena en verde [11].

2.1.4.2 Pruebas secundarias

- ***Arcilla activa***

  La arcilla activa es aquella que no se ha quemado y tiene la capacidad de adherirse a los granos de arena, sin que esta sea una medida de qué tan bien se ha activado. La cantidad y tipo de arcilla se determina de acuerdo con el metal que se cuela, el tamaño de la pieza, el método de moldeo, y el equipo de desmoldeo. Un sistema de arena en verde con funciona bien cuando existen grandes cambios en el contenido de arcilla [9].

- ***Granulometría y Arcilla AFS (finura)***

  La finura afecta las propiedades físicas que se pueden desarrollar en las arenas de moldeo, tales como resistencia, permeabilidad y humedad. También afecta el costo de la operación de la arena debido a la cantidad de material aglutinante que será necesario utilizar para producir las propiedades deseadas. Además, puede influir sobre el acabado superficial de las piezas fundidas [9].

El ensayo puede utilizarse como guía para determinar la cantidad de materiales aglutinantes requeridos para producir las propiedades deseadas en una arena nueva y para controlar la proporción del material aglutinante arcilloso, la proporción correcta de material fino y la distribución apropiada de los tamaños de grano en la arena.

- ***Friabilidad***

La friabilidad es una medida de la naturaleza quebradiza de la unión entre los granos de arena, por lo tanto la humedad y la compactibilidad tienen una fuerte influencia sobre ella. Si el porcentaje de friabilidad es elevado se presentarán defectos de suciedad y bordes rotos en el molde, además de erosión y porosidad en la pieza fundida.

2.1.4.3 Calificación de la arena según sus propiedades

% Compactibilidad	Resistencia a la compresión en verde (N/cm²)	% Friabilidad	Calificación de la arena
58,4	10,55	2,7	Buena
43,7	13,86	5,7	Buena
35,3	16,55	7,7	No presenta problemas de moldeo
45,1	12,48	9,4	Defectos en los bordes
34,2	18	10,1	Alguna rugosidad
32,5	17,17	11,7	Alguna rugosidad
40	18,41	13	Problemas severos de suciedad
40	13,52	24,2	Bordes pobres, rugosidad

Tabla No. 5. Relación entre algunas propiedades y el comportamiento de la arena de moldeo [4]

Teniendo en cuenta los valores de tres propiedades de moldeo, relacionados directamente con la humedad y la arcilla activa de la mezcla de arena, una investigación realizada en Estados Unidos [4], realiza la clasificación reportada en la Tabla No. 5.

2.2 PROCESOS DE MOLDEO

2.2.1 Moldeo en verde

Se caracteriza por el uso como material de moldeo una mezcla de arena de sílice con bentonita, y agua como aglomerante. Esta técnica es muy versátil, utilizándose tanto para grandes series como para pequeñas.

En la realización de los moldes, la arena de moldeo se utiliza húmeda, una vez se descarga del molino. El metal líquido se puedo colar una vez terminado el molde o puede someterse a un posterior tratamiento de secado para evaporar el agua, y así disminuir la probabilidad de aparición de defectos en la pieza fundida, generados durante el vaciado del molde. La humedad debe mantenerse al mínimo contenido posible que proporcione una adecuada resistencia y manejabilidad por parte del moldeador [2]. Es el moldeo más económico, porque no se pierden ni los costos ni el tiempo de secado de los moldes.

2.2.2 Moldeo en seco

Se caracteriza por el uso de arena de moldeo preparada en seco o por el secado de los moldes después de su fabricación. Estos moldes son mucho más resistentes y rígidos que los verdes, aguantan mejor el manejo y se pueden arreglar; la superficie se puede alisar o revestir por pulverización con refractarios que aseguren una superficie limpia en la pieza colada. Pero su principal desventaja es que son más costosos que los verdes [7].

2.3 APTITUD AL MOLDEO

Determina si una arena es considerada apta para ser utilizada como arena de moldeo, ofreciendo propiedades adecuadas y minimizando la aparición de defectos de la pieza fundida.

2.3.1 Descripción

No existe una prueba específica que evalúe la aptitud al moldeo; pero puede hacerse indirectamente a través de la evaluación global y relacionada de otras propiedades de la arena, principalmente la humedad, la permeabilidad, la resistencia a la compresión en verde y el contenido de arcilla activa.

2.3.2 Compactabilidad

Los estudios han demostrado la estrecha relación que existe entre la calidad de las arenas silíceas y su compactibilidad. Esta varia respecto a los contenidos de arena y arcilla activa, y es independiente del porcentaje de polvos, carbón y tiempo de mezclado de la arena. Así quedan definidas las variables que evaluan la calidad de una mezcla de arena: contenido de agua, porcentaje de arcilla activa y compactibilidad [1].

2.3.3 Curva de la aptitud al moldeo

Su construcción es necesaria para establecer los contenidos de humedad y arcilla activa a los cuales la arena presenta adecuados valores de compactibilidad y por ende es apta para el moldeo. Se construye para una mezcla de arena con contenido constante de arcilla activa, a la que se le varía la humedad y se mide la compactibilidad de esta mezcla para cada valor de humedad. En esta curva quedan evaluadas las variables que determinan la calidad de la mezclas de arena.

3. SITUACION ENCONTRADA EN LAS PIEZAS FABRICADAS EN INFUSAN LTDA.

En los círculos rojos de la Fíguras No 2 a No 5, se observa la evacuación de los gases a través del metal, debido a la baja permeabilidad del molde. Cuando los gases no pueden salir a través del molde buscan el camino más sencillo y lo encuentran en el metal caliente. Este es el defecto más frecuente en la empresa.

Figura No 2. Aro 065 Núcleo Concreto

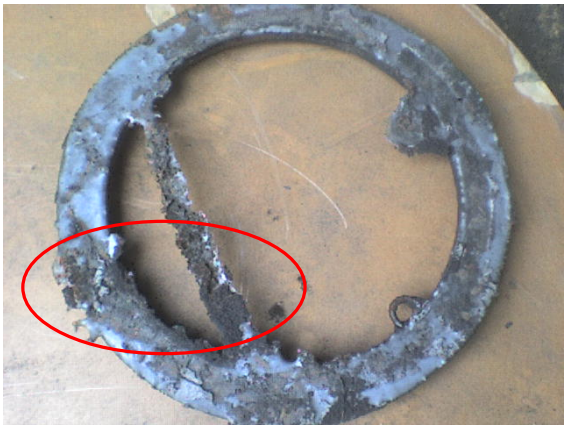


Figura No 3. Aro 060 Tipo Pesado

Figura No 4. Rejilla

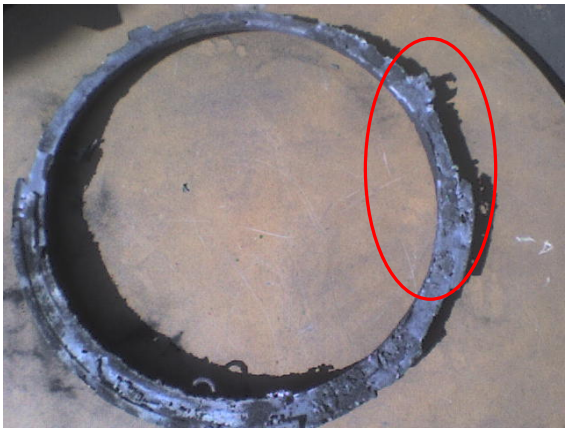


Figura No 5. Aro 060 Tipo Liviano

En los círculos rojos de la Figuras No 6, No 7 y No. 9, se observa el metal colado que sobresale de la pieza y en la Figura No. 8 se observan dos agujeros en la piezas fundida; estos defectos de deben a la erosión del molde por su inadecuada friabilidad. Este defecto es de frecuente aparición en la empresa.

Figura No 6. Aro 060 Tipo Liviano

Figura No 7. Anillo Union Gibault 3´´

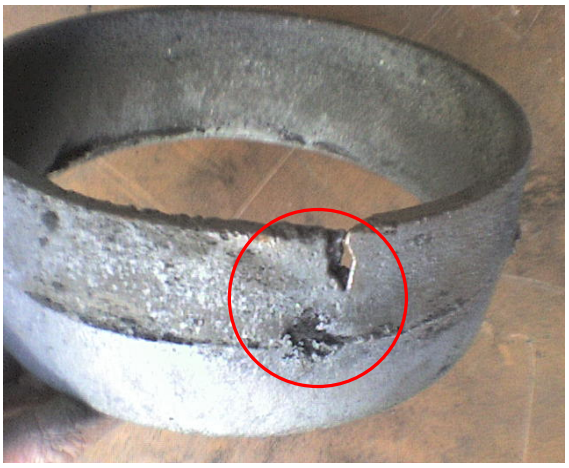


Figura No 8. Anillo Unión Gibault 8´´ PVC

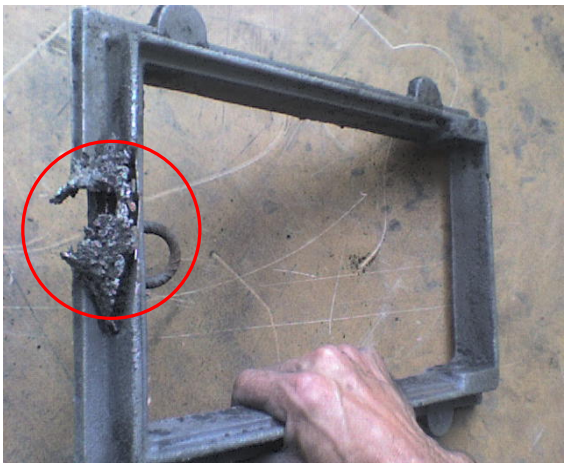


Figura No 9. Aro Rectangular de ½ con Cadena

En los círculos rojos de las Figuras No. 10 y No. 11, se observan hoyos sobre la superficie del metal, originados por burbujas producidas por la excesiva humedad del molde en el momento de su vaciado. Este defecto es de frecuente aparición en la empresa.

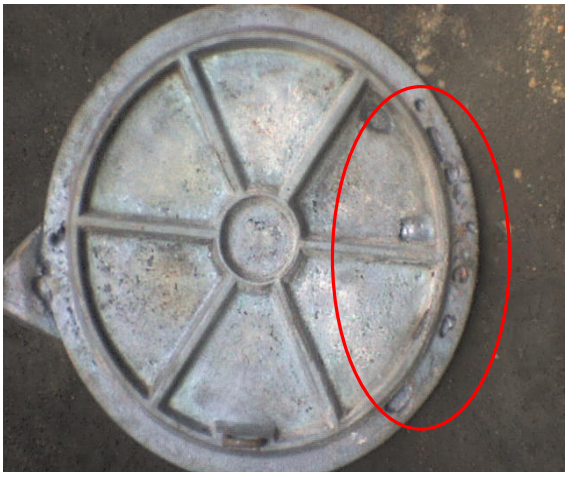


Figura No 10. Tapa 060 Tipo Pesado

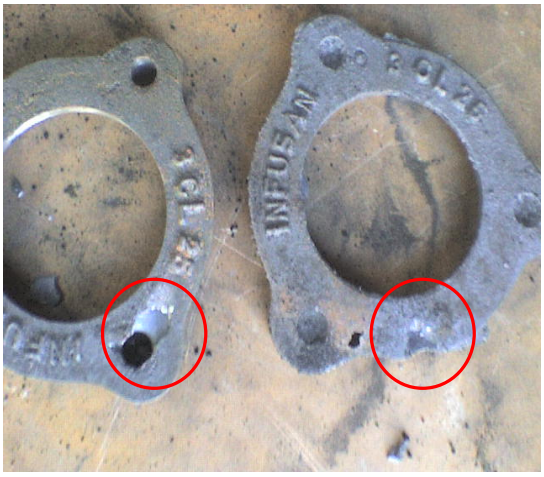


Figura No 11. Brida Union Gibault 3´´

En el círculo rojo de la Figura No. 12 se observa una darta originada por la baja resistencia a la compresión en caliente del molde que produjo esta pieza. Este defecto es muy poco frecuente en la empresa.

Figura No 12. Tapa 060 Electricidad Ruitoque

En los círculos rojos de las Figuras No. 13 a No. 16, se observan líneas de metal que sobresalen de su superficie, originadas por un exceso de arcilla y humedad en el molde que produjo estas piezas; el molde se seca, arcilla se comprime y quedan caminos abiertos en el molde por donde el metal penetra.

Figura No 13. Tapa Telecomunicaciones 060 Tipo Liviano con Pasador

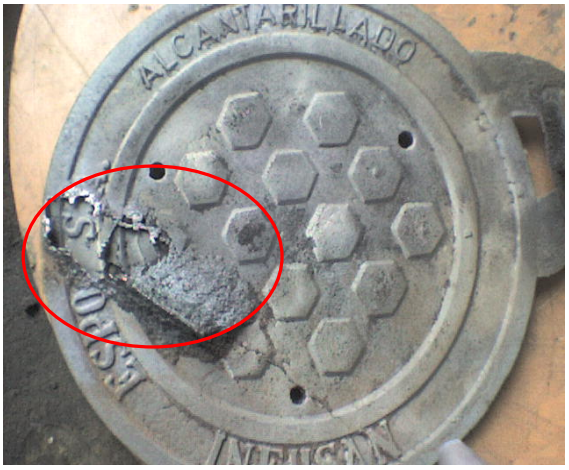


Figura No 14. Tapa Alcantarillado 060 Tipo Liviano con Cadena

Figura No 15. Aro Ovalado

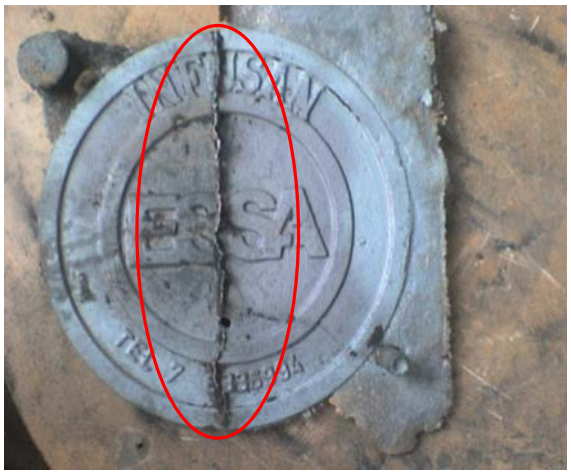


Figura No 16. Tapa 030

En las Figuras No. 17 y No. 18 se observa arena pegada a las piezas fundidas, después de desmoldadas. Esto se debe a dos razones: baja colapsabilidad por la elevada resistencia a la compresión en caliente, originada por el uso de caolín y bajo contenido de material volátil en el carbón utilizado.

Figura No. 17. Aro Rectangular

Figura No. 18. Aro 060

Como se observa en las anteriores figuras, los defectos encontrados en INFUSAN LTDA., tiene su origen en la calidad de la arena de moldeo utilizada, tanto en la cantidad y calidad de los componentes utilizados para prepararla como su interacción mutua, por esta razón se procedió a hacer un análisis de ella.

3.1 SELECCIÓN Y DEFINICION DE VARIABLES

3.1.1 Características de las piezas fabricadas en INFUSAN LTDA.

INFUSAN LTDA., es una empresa fundidora que produce partes y accesorios para acueducto y alcantarillado. Estos van desde piezas delgadas con espesores de trece milímetros (13 mm) y peso de cinco kilogramos (5 kg), hasta piezas con espesores de doscientos cincuenta milímetros (250 mm) y/o peso de cuatrocientos kilogramos (400 kg). También, el noventa por ciento (90 %) de las piezas producidas en INFUSAN LTDA., tienen alto relieve en su superficie y este queda expuesto al público.

Actualmente el ochenta por ciento (80 %) de la producción, aproximadamente, se dedica a piezas de mediano y gran espesor y espesor, que van desde cincuenta

milímetros (50 mm) hasta ciento veinte milímetros (120 mm) de espesor, y desde treinta kilogramos (30 kg) hasta ciento cincuenta kilogramos (150 kg).

3.1.2 Propiedades de la arena de moldeo

Teniendo en cuenta la anterior caracterización de las piezas producidas en INFUSAN LTDA., la arena de moldeo utilizada en la fabricación de los moldes donde estas piezas se cuelan deben cumplir los requerimientos exigidos por ellas.

Las piezas de gran peso y/o espesor requieren valores elevados de resistencia a la compresión, del orden de los 10 - 20 N/cm^2 si el molde se cuela en verde, para resistir las grandes presiones metalostáticas que se generan durante la solidificación del metal contenido en el molde; de lo contrario se generan grietas o concentraciones de esfuerzos en el pieza solidificada que promueven su falla en uso.

Estos moldes también requieren elevados valores de permeabilidad, entre 90 y 150, que permita evacuar fácilmente (a través él) la gran cantidad de gases que se generan durante su llenado; de lo contrario estos gases se evacuan por el metal líquido, produciendo sopladuras que dañan la pieza.

Los altos relieves que tienen la mayoría de las piezas, hacen necesario disminuir los problemas de erosión y penetración que se generan por valores elevados de friabilidad, por distribuciones granulométricas abiertas y por índices de finura muy elevados. Es necesario que la arena de moldeo utilizada tenga una distribución granulométrica no superior a tres tamices, que su friabilidad no sea mayor a 10% [4] y que su índice de finura oscile entre 50 y 60 [2].

3.1.3 Componentes de la mezcla de arena

El control de las propiedades de la arena de moldeo se realiza a través del control de la calidad y la cantidad de los componentes utilizados en su elaboración. Es necesario utilizar una arena que posea un tamaño de grano intermedio y tenga un mismo origen, con el fin de obtener una distribución granulométrica Gaussiana que no se concentre en más de tres tamices; además los elevados porcentajes de arcilla AFS no son recomendables.

El aglomerante utilizado debe proporcionar propiedades adecuadas a la arena de moldeo tanto en verde como en seco, y no debe ser bueno para unas propiedades y malo o intermedio para otras. La cantidad utilizada del aglomerante va estrechamente ligada a la cantidad de agua que se agrega a la mezcla y no deben tomarse por separado. Por ejemplo, el caolín ofrece buenas propiedades a la arena en caliente pero aumenta el contenido de finos, reduciendo su permeabilidad, por esta razón su uso se limita a los casos en los que las propiedades en caliente de la arena de moldeo no sean las adecuadas.

El carbón usado como aditivo para la arena de moldeo debe tener elevados porcentaje de materia volátil, con el fin que cumpla su función de crear una capa de gases entre el molde y la pieza para evitar la adherencia del primero a la segunda. El adecuado comportamiento global de la arena de moldeo es fundamental para minimizar los rechazos y los defectos en las piezas fundidas.

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1 PRUEBAS DE CONTROL A LA ARENA DE MOLDEO UTILIZADA EN INFUSAN LTDA.

Teniendo en cuenta que en INFUSAN LTDA., utilizan dos arenas de origen distinto para la preparación de la arena de moldeo, se tomaron muestras de cada una de ellas.

4.1.1 Arena Sílico – Arcillosa Natural

Se tomó una muestra de arena de moldeo preparada con arena de mina, proveniente de Lebrija, salida del mezclador de la planta y utilizada por los moldeadores para elaborar moldes.

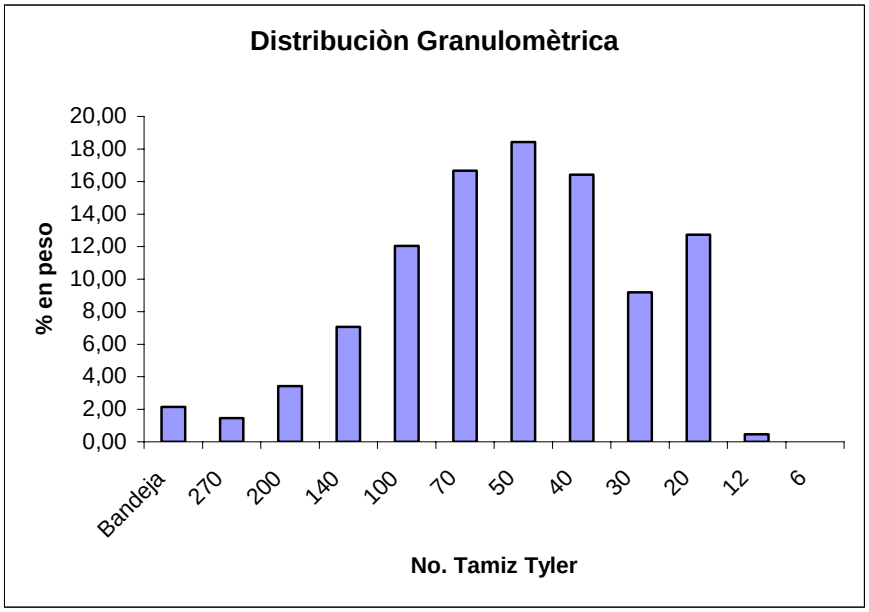
Prueba	Resultado	Calificación
Resistencia a la compresión en verde	11,4 N/cm^2 / (16,2 lb/pulg^2)	Adecuada
Resistencia a la compresión en seco	65,83 N/cm^2 / (93 lb/pulg^2)	Elevada
Resistencia al corte en seco	2,95 N/cm^2 / (4,2 lb/pulg^2)	Adecuada
Resistencia al corte en seco	14,74 N/cm^2 / (21 lb/pulg^2)	Adecuada
Permeabilidad en verde	31	Baja
% humedad	11.8 %	Elevada
% arcilla activa	0%	Nula
% arcilla AFS	4,02%	Adecuada
% Friabilidad	20 %	Elevada
Índice de Finura	53	Adecuado

Tabla No. 6. Resultados de las pruebas aplicada a la arena de moldeo sílico – arcillosa natural utilizada en INFUSAN LTDA.

Las pruebas fueron realizadas bajo norma AFS; exceptuando las pruebas de friabilidad y porcentaje de arcilla AFS, las cuales se describen en los anexos A y B respectivamente. En la Tabla No. 6 y No. 7, se reportan los resultados arrojados por cada prueba.

Tamiz No.	Malla (µm)	Peso (g) retenido	% peso retenido	Factor	Producto (Factor * %)
Bandeja		1,014	2,14	300	643,33
270	53	0,684	1,45	200	289,31
200	75	1,62	3,43	140	479,64
140	100	3,34	7,06	100	706,36
100	150	5,695	12,04	70	843,08
70	212	7,883	16,67	50	833,56
50	300	8,715	18,43	40	737,23
40	425	7,761	16,41	30	492,40
30	600	4,343	9,18	20	183,69
20	850	6,015	12,72	10	127,21
12	1700	0,215	0,45	5	2,27
6	3350	0	0	3	0,00
TOTAL		47,285	100		5338,09

Tabla No. 7. Distribución Granulométrica de la arena de moldeo sílico – arcillosa natural utilizada en INFUSAN LTDA.



Gráfica No. 1. Distribución Granulométrica de la arena de moldeo sílico – arcillosa natural utilizada en INFUSAN LTDA.

Como se había observado en las fotografías de las piezas defectuosas, la arena de moldeo utilizada en la empresa presenta una elevada resistencia en caliente, ocasionada por el uso de caolín; elevado contenido de humedad, ocasionado por un inadecuado control en el proceso de preparación de la arena de moldeo; elevado porcentaje de friabilidad, ocasionado por el contenido nulo de aglomerante (arcilla activa); y baja permeabilidad por la inadecuada distribución granulométrica de la arena de moldeo, observada en la Gráfica No. 1.

4.1.2 Arena Sílico – Arcillosa Sintética

Se tomó una muestra de arena de moldeo preparada con arena sintética proveniente de Sabana de Torres, salida del mezclador de la planta y utilizada por los moldeadores para elaborar moldes.

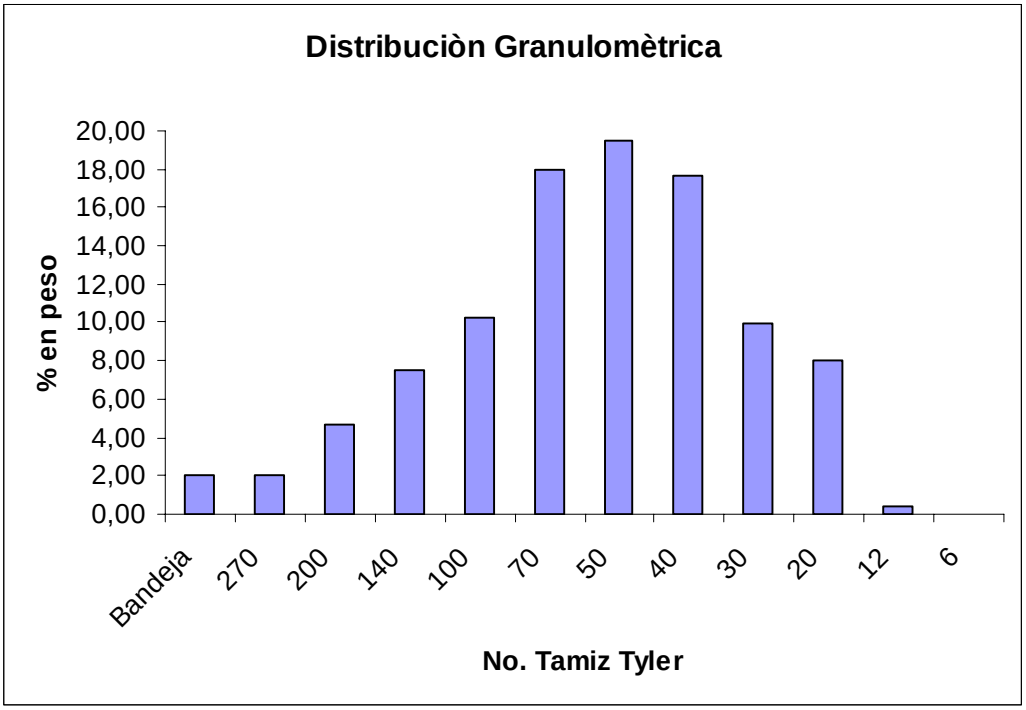
Las pruebas fueron realizadas bajo norma AFS; exceptuando las pruebas de friabilidad y porcentaje de arcilla activa, las cuales se describen en los anexos A y B respectivamente. En la Tabla No. 8 y No. 9, se reportan los resultados arrojados por cada prueba.

Prueba	Resultado	Calificación
Resistencia a la compresión en verde	10,4 N/cm^2 / (14,8 lb/pulg^2)	Adecuada
Resistencia a la compresión en seco	70,5 N/cm^2 / (100 lb/pulg^2)	Elevada
Resistencia al corte en seco	2,7 N/cm^2 / (38,4 lb/pulg^2)	Adecuada
Resistencia al corte en seco	19,8 N/cm^2 / (28,1 lb/pulg^2)	Elevada
Permeabilidad en verde	98	Adecuada
% humedad	9.85 %	Elevada
% arcilla activa	1 %	Muy bajo
% arcilla AFS	2.2 %	Adecuada
% Friabilidad	15 %	Elevada
Índice de Finura	56	Adecuado

Tabla No.8. Resultados de las pruebas aplicada a la arena de moldeo sílico – arcillosa sintética utilizada en INFUSAN LTDA.

Tamiz No.	Malla (µm)	Peso (g) retenido	% peso retenido	Factor	Producto (Factor * %)
Bandeja		1,014	2,08	300	622,99
270	53	0,985	2,02	200	403,45
200	75	2,258	4,62	140	647,40
140	100	3,658	7,49	100	749,14
100	150	5,023	10,29	70	720,08
70	212	8,764	17,95	50	897,42
50	300	9,524	19,50	40	780,19
40	425	8,635	17,68	30	530,52
30	600	4,856	9,94	20	198,90
20	850	3,897	7,98	10	79,81
12	1700	0,215	0,44	5	2,20
6	3350	0	0	3	0,00
TOTAL		48,829	100		5632,11

Tabla No. 9. Distribución Granulométrica de la arena de moldeo sílico – arcillosa sintética utilizada en INFUSAN LTDA.



Gráfica No. 2. Distribución Granulométrica de la arena de molde utilizada en INFUSAN LTDA.

La arena sílico – arcillosa sintética presente una leve mejora en la permeabilidad, por su adecuada distribución granulométrica, observada en la Gráfica No. 2; y en

el porcentaje de friabilidad. Persiste la elevada resistencia en caliente, el elevado contenido de humedad y el bajo contenido de aglomerante (arcilla activa).

Los resultados obtenidos para las dos muestras de arena de moldeo tomadas de INFUSAN LTDA., especialmente la arena sílico – arcillosa natural, muestran que su comportamiento global no es el adecuado para una arena de moldeo y que el control en su preparación no es tan riguroso como debería. Se hizo necesario preparar nuevas mezclas en el laboratorio, para encontrar las cantidades necesarias de cada aditivo con las que se obtiene una arena de moldeo con propiedades adecuadas.

4.2 ELABORACION DE MEZCLAS DE ARENA

Se elaboraron distintas mezclas de arena de moldeo en el laboratorio, tomando como base los dos tipos de arena de moldeo utilizados en INFUSAN LTDA., los resultados obtenidos en las propiedades de la arena utilizada en la empresa, los porcentajes de los componentes utilizados en ella, y los recomendados por la literatura. En esta elaboración se utilizaron los insumos adquiridos por la empresa.

4.2.1 Mezclas con base en arena sílico – arcillosa sintética

La empresa adquirió un lote de arena sintética proveniente de Virolín. De este lote se tomó una muestra que fue llevada al laboratorio, con base en la que se realizaron las siguientes mezclas:

Mezcla No. 1. Se elaboró con base en los porcentajes utilizados en INFUSAN LTDA. , para prepara arenas de moldeo de este origen.

Componente	Peso (g)	Porcentaje (%)
Arena sílico – arcillosa sintética	5000	-
Caolín	300	6
Bentonita	0	0
Carbón molido	200	4
Agua	300	6

Tabla No. 10. Cantidades utilizadas en la elaboración de la Mezcla No. 1

Mezcla No. 2. Se elaboró con base en los porcentajes recomendados en la literatura para preparar una arena de moldeo de este origen y variando la cantidad de agua para encontrar el contenido de agua óptimo en el que la arena de moldeo presenta las mejores propiedades.

Componente	Peso (g)	Porcentaje (%)
Arena sílico – arcillosa sintética	5000	-
Caolín	100	2
Bentonita	450	9
Carbón molido	200	4
Agua	Variable	1.5 – 4.4

Tabla No. 11. Cantidades utilizadas en la elaboración de la Mezcla No. 2

Mezcla No. 3. Se elaboró aumentando el contenido de bentonita para evaluar la respuesta de la arena de moldeo a este aumento y variando la cantidad de agua para encontrar el contenido de agua óptimo en el que la arena de moldeo presenta las mejores propiedades.

Componente	Peso (g)	Porcentaje (%)
Arena sílico – arcillosa sintética	5000	-
Caolín	100	2
Bentonita	350	7
Carbón molido	200	4
Agua	Variable	0.9 – 4.5

Tabla No. 12. Cantidades utilizadas en la elaboración de la Mezcla No. 3

Mezcla No. 4. Se elaboró aumentando el contenido de bentonita para evaluar la respuesta de la arena de moldeo a este aumento y variando la cantidad de agua para encontrar el contenido de agua óptimo en el que la arena de moldeo presenta las mejores propiedades.

Componente	Peso (g)	Porcentaje (%)
Arena sílico – arcillosa sintética	5000	-
Caolín	100	2
Bentonita	550	11
Carbón molido	200	4
Agua	Variable	0.9 – 4.5

Tabla No. 13. Cantidades utilizadas en la elaboración de la Mezcla No. 4

4.2.2 Mezclas con base en arena sílico – arcillosa natural

La empresa adquirió un lote de arena natural proveniente de Lebrija, del cual se tomó una muestra que fue llevada al laboratorio. A esta muestra se le calculó el contenido de arcilla activa según el procedimiento descrito en el ANEXO A, dando como resultado un contenido de arcilla activa de 2%.

Con este resultado, se realizaron mezclas de arena natural descritas a continuación. Se eliminó el contenido de caolín, debido a que la mejora en las propiedades de la arena de moldeo logradas con su utilización no justifica la disminución en la permeabilidad que ocasiona; además esta arena tiene un contenido natural de arcilla que eleva el contenido de finos y el caolín actuaría en esta dirección.

Mezcla No. 5. Se elaboró con base en los porcentajes recomendados en la literatura para preparar una arena de moldeo de este origen y variando la cantidad de agua para encontrar el contenido de agua óptimo en el que la arena de moldeo presenta las mejores propiedades.

Componente	Peso (g)	Porcentaje (%)
Arena silico – arcillosa Natural	5000	-
Bentonita	150	5
Carbón molido	200	4
Agua	Variable	1.16 – 5.54

Tabla No. 14. Cantidades utilizadas en la elaboración de la Mezcla No. 5

Mezcla No. 6. Se elaboró aumentando el contenido de bentonita para evaluar la respuesta de la arena de moldeo a este aumento y variando la cantidad de agua para encontrar el contenido de agua óptimo en el que la arena de moldeo presenta las mejores propiedades.

Componente	Peso (g)	Porcentaje (%)
Arena silico – arcillosa Natural	5000	-
Bentonita	250	7
Carbón molido	200	4
Agua	Variable	1.2 – 4.25

Tabla No. 15. Cantidades utilizadas en la elaboración de la Mezcla No. 6

Mezcla No. 7. Se elaboró aumentando el contenido de bentonita para evaluar la respuesta de la arena de moldeo a este aumento y variando la cantidad de agua para encontrar el contenido de agua óptimo en el que la arena de moldeo presenta las mejores propiedades.

Componente	Peso (g)	Porcentaje (%)
Arena silico – arcillosa Natural	6000	-
Bentonita	420	7
Carbón molido	240	4
Agua	Variable	1.1 – 4.39

Tabla No. 16. Cantidades utilizadas en la elaboración de la Mezcla No. 7

4.3 PRUEBAS DE CONTROL A LAS MEZCLAS ARENA ELABORADAS EN EL LABORATORIO

4.3.1 Mezclas de arena sílico – arcillosa sintética

Mezcla No. 1

Al realizar la probeta bajo norma AFS se rompía antes de ubicarla en la máquina de ensayos. Esto muestra que no tenía la cohesión necesaria exigida para una arena de moldeo, por lo cual fue descartada.

Mezcla No. 2

% humedad	1.05	1.52	2	2.5	2.9	3.6	4	4.4
Resistencia a la compresión en verde (N/cm²)	5.3	8.2	9.6	10.3	11	10.3	8.7	6.9
Resistencia a la compresión en seco (N/cm²)	33	49	55	59	66	61	53	46
Resistencia al corte en verde (N/cm²)	1.2	2.1	2.5	2.7	3	2.8	2.5	2.1
Resistencia al corte en seco (N/cm²)	6.4	11.3	13.4	14.5	16	13	12	9.6
Permeabilidad en verde	100	109	116	126	136	135	127	114
% Friabilidad	17.6	16.02	14.42	11.61	10.01	8.01	6.09	4.2

Tabla No. 17. Variación de las propiedades de la Mezcla No. 2, con el contenido de humedad

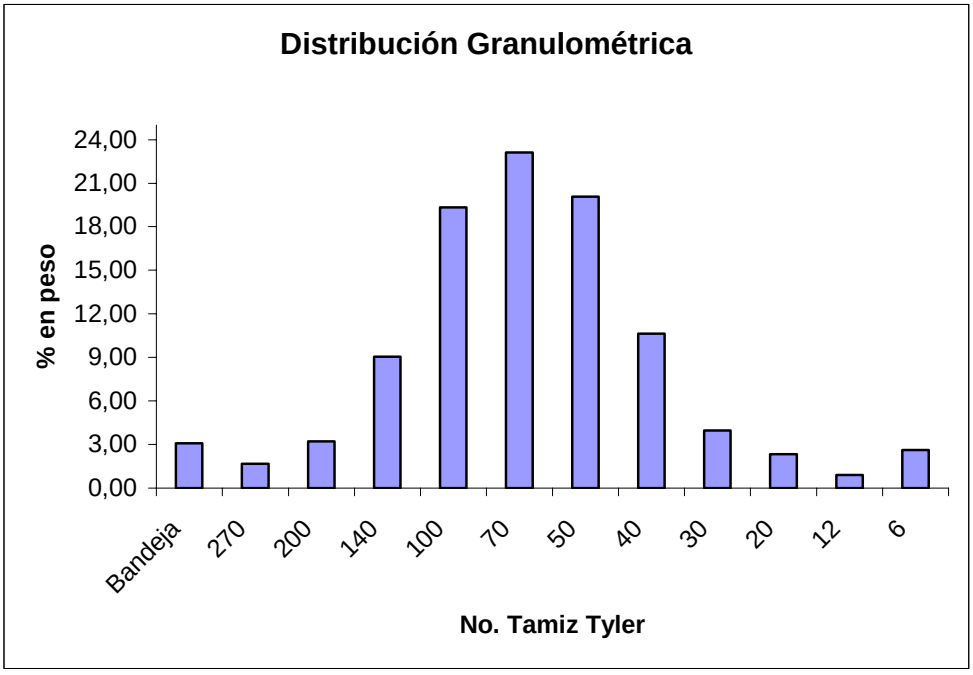
% Arcilla Activa: 8.2%

% arcilla AFS: 3.15 %

Índice de Finura: 63

Tamiz No.	Malla (µm)	Peso (g) retenido	% peso retenido	Factor	Producto (Factor * %)
Bandeja		1,44	3,09	300	927,28
270	53	0,779	1,67	200	334,42
200	75	1,499	3,22	140	450,46
140	100	4,216	9,05	100	904,95
100	150	9,01	19,34	70	1353,78
70	212	10,772	23,12	50	1156,09
50	300	9,345	20,06	40	802,35
40	425	4,95	10,63	30	318,75
30	600	1,843	3,96	20	79,12
20	850	1,092	2,34	10	23,44
12	1700	0,422	0,91	5	4,53
6	3350	1,22	2,62	3	7,86
TOTAL		46,588	100		6363,03

Tabla No. 18. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 2



Gráfica No. 3. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 2

Mezcla No. 3

% humedad	0.9	1.52	1.99	2.5	3.1	3.6	3.95	4.5
Resistencia a la compresión en verde (N/cm²)	2.4	3.6	4.8	5.8	5.2	4.6	4	3.2
Resistencia a la compresión en seco (N/cm²)	24	30	37	42	49	34	30	26
Resistencia al corte en verde (N/cm²)	0.9	1.2	1.3	1.6	1.4	1.2	1.1	0.9
Resistencia al corte en seco (N/cm²)	5	6.4	7	8.6	7.5	6.4	5	4
Permeabilidad en verde	110	121	130	135	142	135	131	122
% Friabilidad	25.4	20.2	17.5	15.5	13.2	11.9	10.5	9.2

Tabla No. 19. Variación de las propiedades de la Mezcla No. 3, con el contenido de humedad

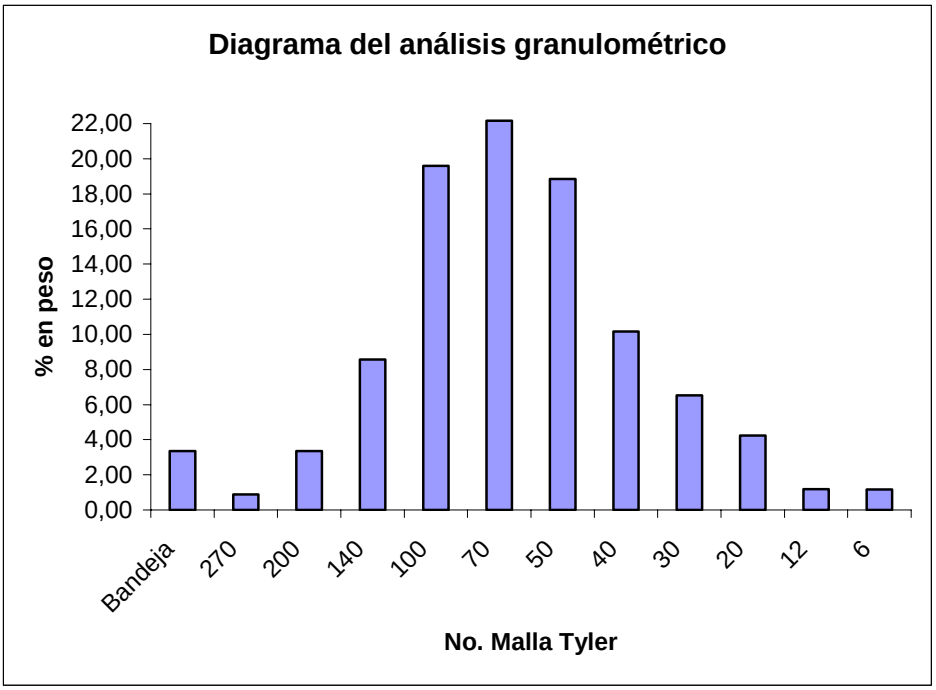
% Arcilla Activa: 6.7%

% arcilla AFS: 4.83 %

Índice de Finura: 62

Tamiz No.	Malla (µm)	Peso (g) retenido	% peso retenido	Factor	Producto (Factor * %)
Bandeja		1,603	3,35	300	1004,53
270	53	0,421	0,88	200	175,88
200	75	1,604	3,35	140	469,07
140	100	4,101	8,57	100	856,64
100	150	9,382	19,60	70	1371,84
70	212	10,608	22,16	50	1107,93
50	300	9,021	18,84	40	753,74
40	425	4,86	10,15	30	304,56
30	600	3,12	6,52	20	130,34
20	850	2,025	4,23	10	42,30
12	1700	0,568	1,19	5	5,93
6	3350	0,56	1,17	3	3,51
TOTAL		47,873	100		6226,29

Tabla No. 20. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 3



Gráfica No. 4. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 3

Mezcla No. 4

% humedad	1.6	2	2.5	3	3.6	4.1	4.5	5
Resistencia a la compresión en verde (N/cm²)	7,1	8,3	9,3	11	11,8	11,2	10,1	9,2
Resistencia a la compresión en seco (N/cm²)	46	54	58	69	71	69	61	59
Resistencia al corte en verde (N/cm²)	1.8	2.3	2.6	3.1	3.4	3.3	2.9	2.7
Resistencia al corte en seco (N/cm²)	9.6	12	14	16.6	18	16	15	13.4
Permeabilidad en verde	92	99	104	115	125	117	114	111
% Friabilidad	14.1	12.5	11	9.4	8.1	5.5	5	4.4

Tabla No. 21. Variación de las propiedades de la Mezcla No. 4, con el contenido de humedad

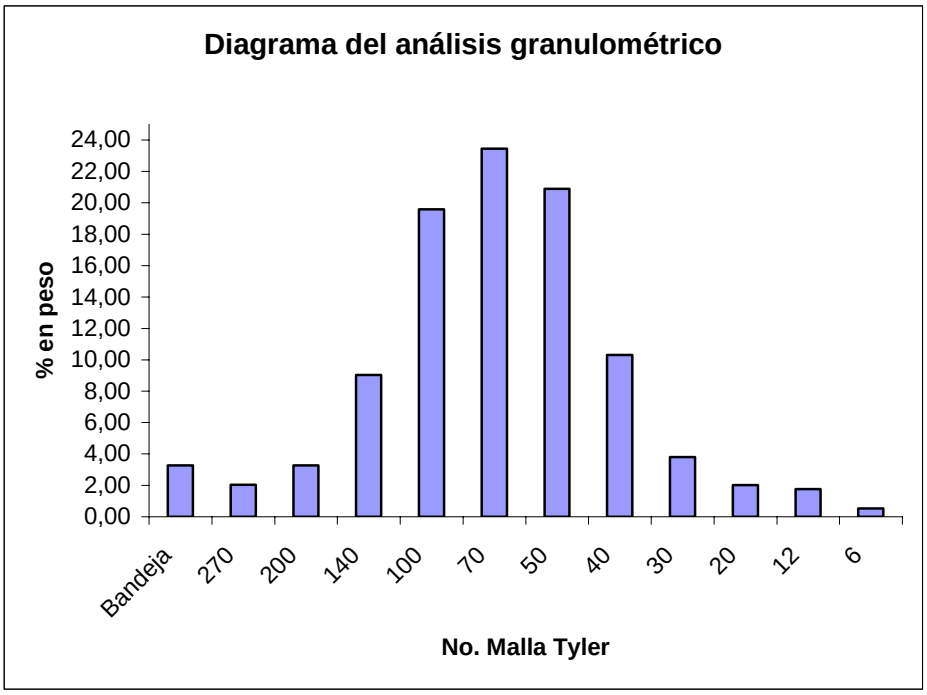
% Arcilla Activa: 10.5%

% arcilla AFS: 5.88 %

Índice de Finura: 65

Tamiz No.	Malla (µm)	Peso (g) retenido	% peso retenido	Factor	Producto (Factor * %)
Bandeja		1,525	3,26	300	979,24
270	53	0,952	2,04	200	407,53
200	75	1,526	3,27	140	457,28
140	100	4,22	9,03	100	903,25
100	150	9,152	19,59	70	1371,23
70	212	10,962	23,46	50	1173,16
50	300	9,765	20,90	40	836,04
40	425	4,82	10,32	30	309,50
30	600	1,78	3,81	20	76,20
20	850	0,946	2,02	10	20,25
12	1700	0,822	1,76	5	8,80
6	3350	0,25	0,54	3	1,61
TOTAL		46,72	100		6544,09

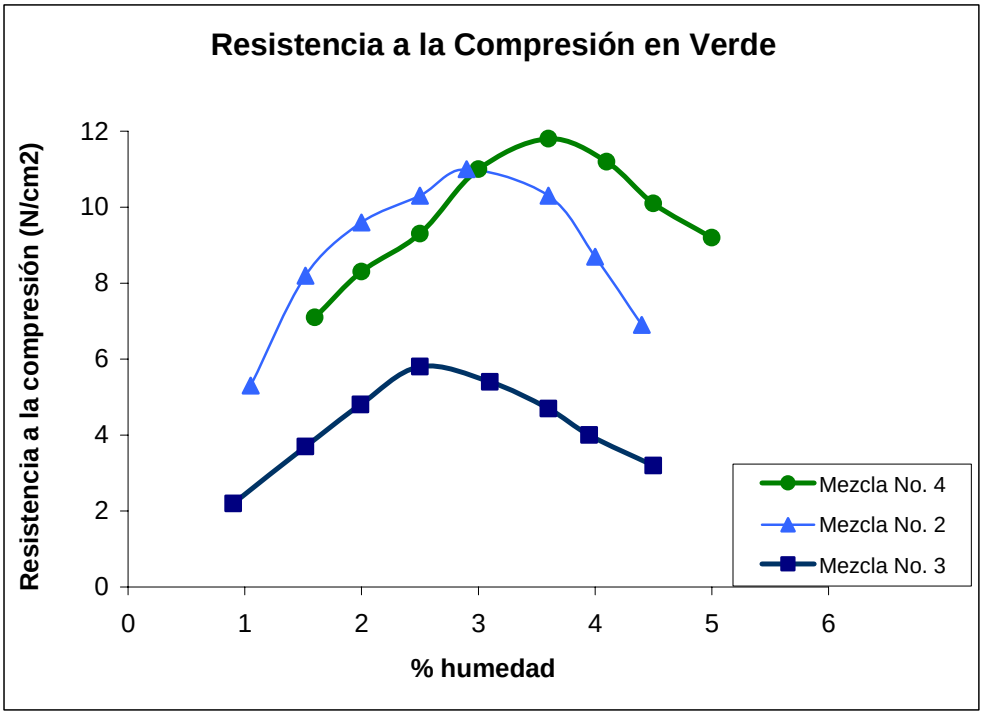
Tabla No. 22. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 4



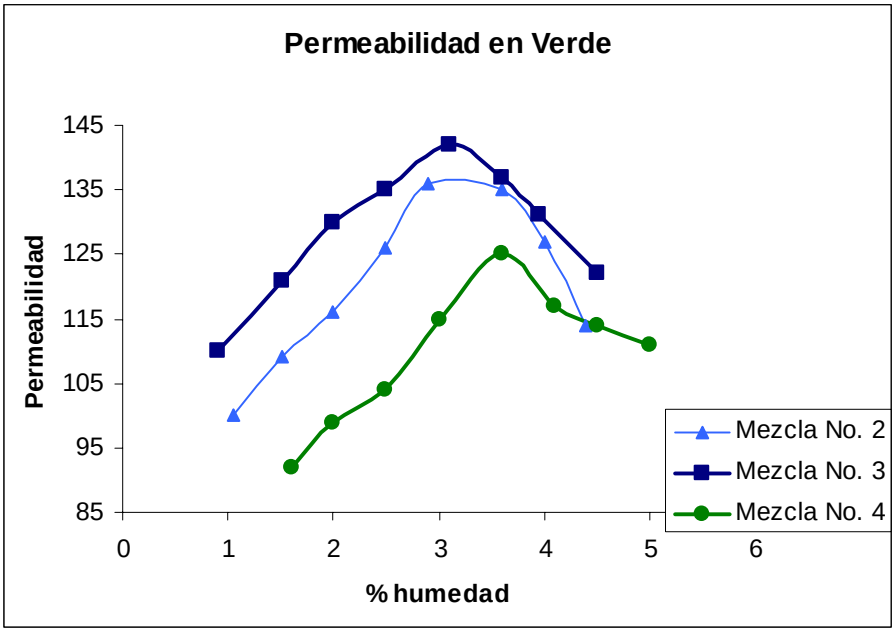
Gráfica No. 5. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 4

En la Gráfica No. 6, se observa la variación de la resistencia a la compresión en verde con la humedad para cada una de las mezclas de arena de moldeo sílico – arcillosas sintéticas. La Mezcla No. 4 es la que presenta el valor más elevado de resistencia a la compresión en verde, aunque la Mezcla No. 2 también presenta valores aceptables para esta propiedad; mientras los valores de resistencia a la compresión en verde, obtenidos para la Mezcla No. 3 son muy bajos.

En la Gráfica No. 7 se observa la variación de la permeabilidad en verde con la humedad para cada una de las mezclas de arena de moldeo sílico – arcillosas sintéticas. La Mezcla No. 3 es la que presenta el valor más elevado de permeabilidad en verde, aunque la Mezcla No. 2 presenta valores cercanos; mientras los valores de permeabilidad en verde, disminuye considerablemente para la Mezcla No. 4.



Gráfica No. 6. Variación de la resistencia a la compresión en verde con la humedad para mezclas de arena sílico – arcillosas sintéticas.



Gráfica No. 7. Variación de la permeabilidad en verde con la humedad para mezclas de arena sílico – arcillosas sintéticas.

4.3.2 Mezclas de arena sílico – arcillosas naturales

Mezcla No. 5

% humedad	1.2	1.59	2.01	2.55	2.99	3.15	4.25
Resistencia a la compresión en verde (N/cm²)	4.1	4.3	4.6	5.9	6.7	8.1	7.3
Resistencia a la compresión en seco (N/cm²)	3.45	4.48	5.17	6.9	9.66	14.49	20
Resistencia al corte en verde (N/cm²)	0.55	1	1.1	1.4	1.6	2	2.1
Resistencia al corte en seco (N/cm²)	3.5	4.2	5	5.9	6.5	6.9	7.4
Permeabilidad en verde	0	0	0	0	10	15	5
% Friabilidad	52.6	50.4	45.2	40.3	28.6	23.2	20.8

Tabla No. 23. Variación de las propiedades de la Mezcla No. 5, con el contenido de humedad

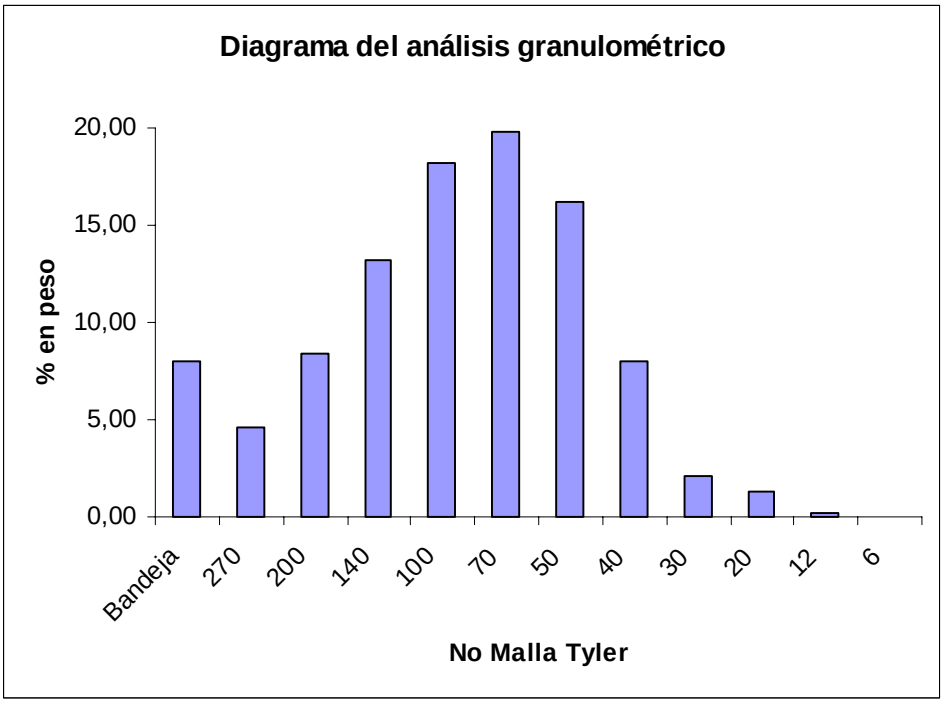
Arcilla Activa: 5.4%

% arcilla AFS: 21.26 %

Índice de Finura: 90

Tamiz No.	Malla (µm)	Peso (g) retenido	% peso retenido	Factor	Producto (Factor * %)
Bandeja		3,03	7,98	300	2392,73
270	53	1,76	4,63	200	926,56
200	75	3,2	8,42	140	1179,26
140	100	5,03	13,24	100	1324,03
100	150	6,91	18,19	70	1273,23
70	212	7,52	19,79	50	989,73
50	300	6,14	16,16	40	646,49
40	425	3,03	7,98	30	239,27
30	600	0,81	2,13	20	42,64
20	850	0,5	1,32	10	13,16
12	1700	0,06	0,16	5	0,79
6	3350	0	0,00	3	0,00
TOTAL		37,99	100		9027,90

Tabla No. 24. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 5



Gráfica No. 8. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 5

Mezcla No. 6

% humedad	1.1	1.52	2	2.52	3.01	3.42	4.15
Resistencia a la compresión en verde (N/cm²)	6.8	7.7	9	10.3	11	10.5	6.5
Resistencia a la compresión en seco (N/cm²)	4.12	4.83	6.21	7.59	11.72	19.31	24.14
Resistencia al corte en verde (N/cm²)	0.8	1.1	1.3	1.5	1.7	1.8	1.6
Resistencia al corte en seco (N/cm²)	4.8	6.1	6.8	8.3	7.2	6.2	6
Permeabilidad en verde	0	0	0	0	0	5	10
% Friabilidad	25.7	22	21.6	19.6	17.8	16.8	12.7

Tabla No. 25. Variación de las propiedades de la Mezcla No. 6, con el contenido de humedad

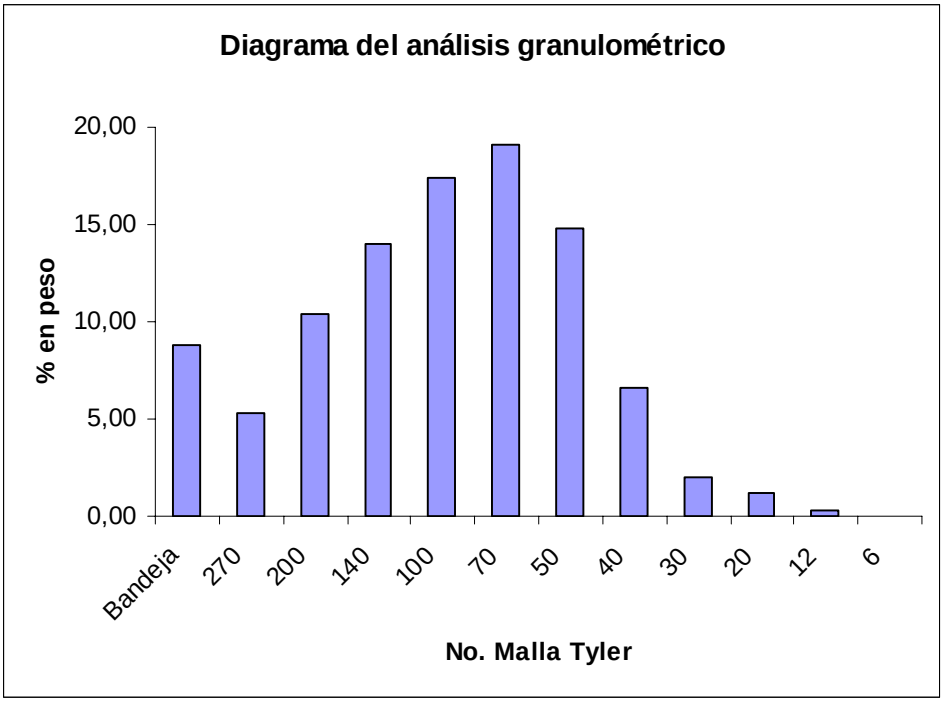
% Arcilla Activa: 6.5%

% arcilla AFS: 26.01 %

Índice de Finura: 96

Tamiz No.	Malla (µm)	Peso (g) retenido	% peso retenido	Factor	Producto (Factor * %)
Bandeja		3,16	8,83	300	2648,78
270	53	1,9	5,31	200	1061,75
200	75	3,71	10,37	140	1451,24
140	100	5,02	14,03	100	1402,63
100	150	6,23	17,41	70	1218,50
70	212	6,85	19,14	50	956,97
50	300	5,3	14,81	40	592,34
40	425	2,38	6,65	30	199,50
30	600	0,72	2,01	20	40,23
20	850	0,42	1,17	10	11,74
12	1700	0,1	0,28	5	1,40
6	3350	0	0,00	3	0,00
TOTAL		35,79	100		9585,08

Tabla No. 26. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 6



Gráfica No. 9. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 6

Mezcla No. 7

% humedad	1.1	1.53	2.1	2.42	2.95	3.48	4.02	4.39
Resistencia a la compresión en verde (N/cm²)	4.2	5.1	6.6	8.3	11.3	13.8	12.8	11.9
Resistencia a la compresión en seco (N/cm²)	2.76	3.79	4.14	4.83	11.72	20.69	30.34	36.55
Resistencia al corte en verde (N/cm²)	1.3	2	2.45	2.65	2.9	3	2.7	2.4
Resistencia al corte en seco (N/cm²)	6.2	11	13.2	14.2	15.8	12.7	11.8	9.3
Permeabilidad en verde	0	0	0	0	0	0	5	5
% Friabilidad	14.6	13.1	11.07	9.04	7	5.8	3.6	1.9

Tabla No. 27. Variación de las propiedades de la Mezcla No. 7, con el contenido de humedad

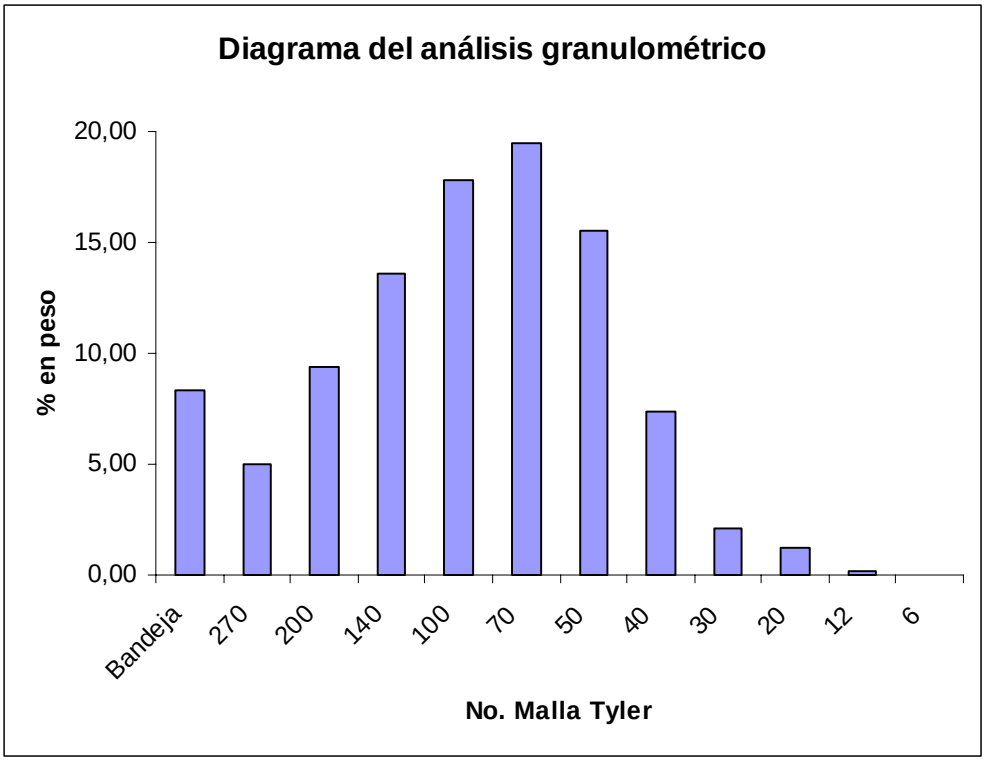
% Arcilla Activa: 8 %

% arcilla AFS: 24.58 %

Índice de Finura: 93

Tamiz No.	Malla (µm)	Peso (g) retenido	% peso retenido	Factor	Producto (Factor * %)
Bandeja		3,09	8,37	300	2511,51
270	53	1,83	4,96	200	991,60
200	75	3,46	9,37	140	1312,38
140	100	5,03	13,63	100	1362,77
100	150	6,57	17,80	70	1246,00
70	212	7,19	19,48	50	973,99
50	300	5,72	15,50	40	619,89
40	425	2,71	7,34	30	220,27
30	600	0,77	2,09	20	41,72
20	850	0,46	1,25	10	12,46
12	1700	0,08	0,22	5	1,08
6	3350	0	0,00	3	0,00
TOTAL		36,91	100		9293,67

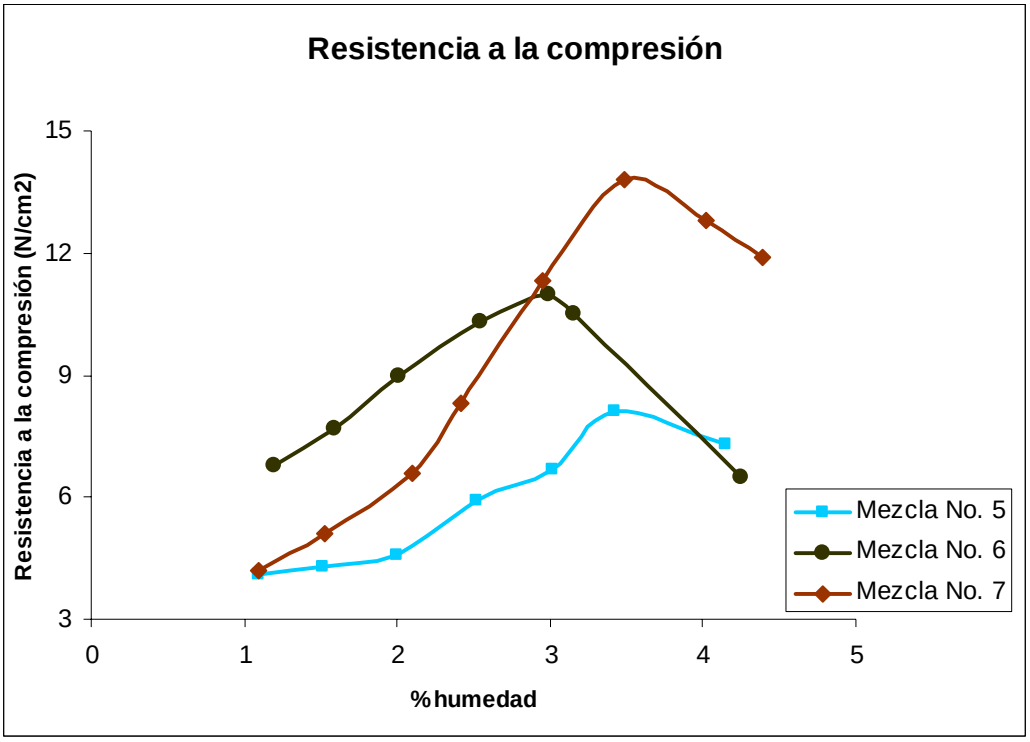
Tabla No. 28. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 7



Gráfica No. 10. Distribución Granulométrica de la mezcla No. 7

En la Gráfica No. 11, se observa la variación de la resistencia a la compresión en verde con la humedad para cada una de las mezclas de arena de moldeo sílico – arcillosas naturales. La Mezcla No. 7 es la que presenta el valor más elevado de resistencia a la compresión en verde, y a pesar en la Mezcla No. 6 se reducen considerablemente los valores de resistencia a la compresión en verde, continúan siendo aceptables para esta propiedad; mientras los valores de resistencia a la compresión en verde, obtenidos para la Mezcla No. 5 son muy bajos.

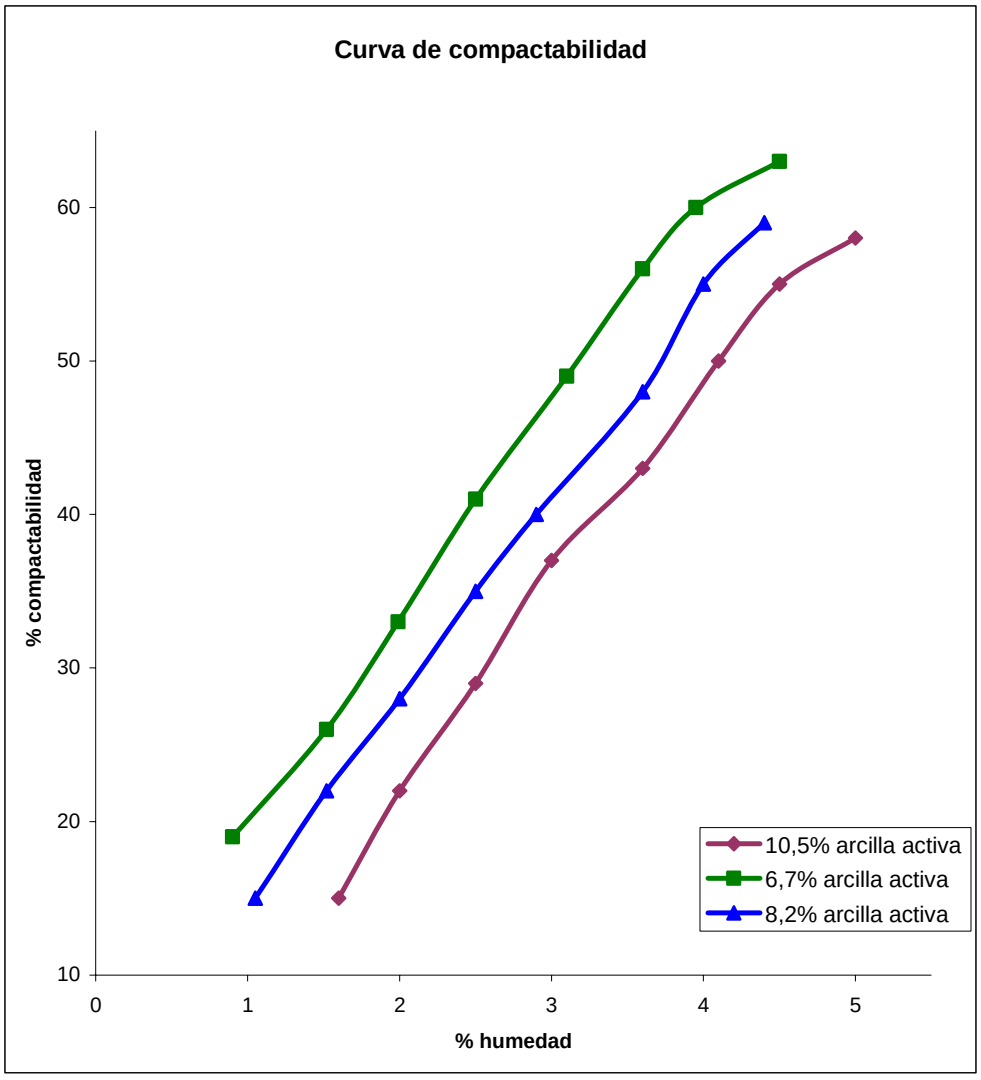
Los valores obtenidos, en las mezclas de arena de moldeo sílico – arcillosas naturales, de permeabilidad y % arcilla AFS son inaceptables para una arena de moldeo. Esto se corrobora en las Gráficas No. 9, No. 10 y No. 11, donde se observan distribuciones granulométricas de cinco (5) tamices.



Gráfica No. 11. Variación de la resistencia a la compresión con la humedad para mezclas de arena sílico – arcillosos naturales.

4.3.2 Variación de la compactabilidad con la humedad

La importancia de medir la compactabilidad de una arena de moldeo, radica en que esta es una medida de la aptitud al moldeo de una arena de moldeo y está fuertemente influenciada por el contenido de humedad de la mezcla; además, su graficación permite tener un método de control sencillo a través del cual evaluar la calidad de la arena de moldeo utilizada.



Gráfica No. 12. Variación de la compactibilidad para las Mezcla No. 2, 3 y 4

Para determinar la aplicación del ensayo de compactabilidad a las mezclas de arena de moldeo sílico – arcillosas naturales, se analizaron los resultados obtenidos en las pruebas realizadas. De los valores de permeabilidad y porcentaje de arcilla AFS, y la distribución granulométrica, obtenidos para las Mezclas No. 5, No. 6 y No. 7, se decidió descartarlos y no se aplicó el ensayo de compactabilidad.

Por esta razón sólo se evaluó la variación de la compactabilidad con la humedad a las mezclas de ***arena sílico – arcillosas sintéticas***, correspondientes a las Mezclas No. 2, No. 3 y No. 4, la cual se reporta en la Gráfica No. 12.

4.4 PRUEBAS DE CONTROL AL CARBON MOLIDO UTILIZADO EN INFUSAN LTDA.

Para que carbón molido agregado a la mezcla de arena de moldeo cumpla las funciones establecidas para tal fin, sus propiedades deben estar dentro de unos rangos establecidos.

Estas propiedades se evaluaron bajo norma sobre una muestra de carbón tomada del carbón molido utilizado en INFUSAN TLDA., que fue molido hasta que pasara de la malla Tyler No. 100.

Propiedad	Porcentaje (%)
Materia Volátil	8.2
Cenizas	7.1
Humedad	0.7
Azufre	5.6

Tabla No. 29. Propiedades del carbón molido utilizado en INFUSAN TLDA.

5. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 SELECCIÓN DE LAS MEZCLAS DE ARENA PARA IMPLEMENTAR EN INFUSAN LTDA.

Los resultados obtenidos para cada una de las mezclas de ***arena sílico – arcillosas sintéticas*** elaboradas en el laboratorio, y las Gráficas No. 6 y No. 7, arrojaron que la mezcla que presentó propiedades apropiadas para una arena de moldeo fue la Mezcla No. 2, cuyos componentes se especifican en la Tabla No. 30. Se decidió eliminar el contenido de caolín de la arena de moldeo, por la elevada resistencia en caliente reportada por la arena de moldeo y para mejorar su permeabilidad.

Asimismo, en la Tabla No. 17 se observa que en los contenidos de humedad correspondientes al 2.9 % y 3.6 %, se obtienen las mejores propiedades para la arena de moldeo. Teniendo en cuenta que el 90 % de los moldes son fabricados manualmente, y que en este proceso se evapora parte del agua de la arena de moldeo, se deben establecer contenidos de agua ligeramente superiores.

Componente	Porcentaje (%)
Arena sílico – arcillosa sintética	-
Bentonita	9
Carbón molido	4
Agua	3.5 – 4.5

Tabla No. 30. Mezcla de arena de moldeo que presenta propiedades optimas

Por otra parte, como se mencionó anteriormente, los valores de permeabilidad, el análisis granulométrico, el índice de finura y el contenido de arcilla AFS encontrado en cada una de las mezclas de ***arena sílico – arcillosas naturales***,

mostraron que estas mezclas de arena no deben ser utilizadas como arena de moldeo. Por esta razón se descartó su utilización como arena de moldeo en INFUSAN LTDA., teniendo en cuenta las propiedades las características de las piezas allí producidas y las necesarias propiedades de la arena de moldeo para satisfacerlas.

5.2 CONSTRUCCION DEL PARALELEPÍPEDO DE CALIDAD PARA LA MEZCLA DE ARENA SELECCIONADA

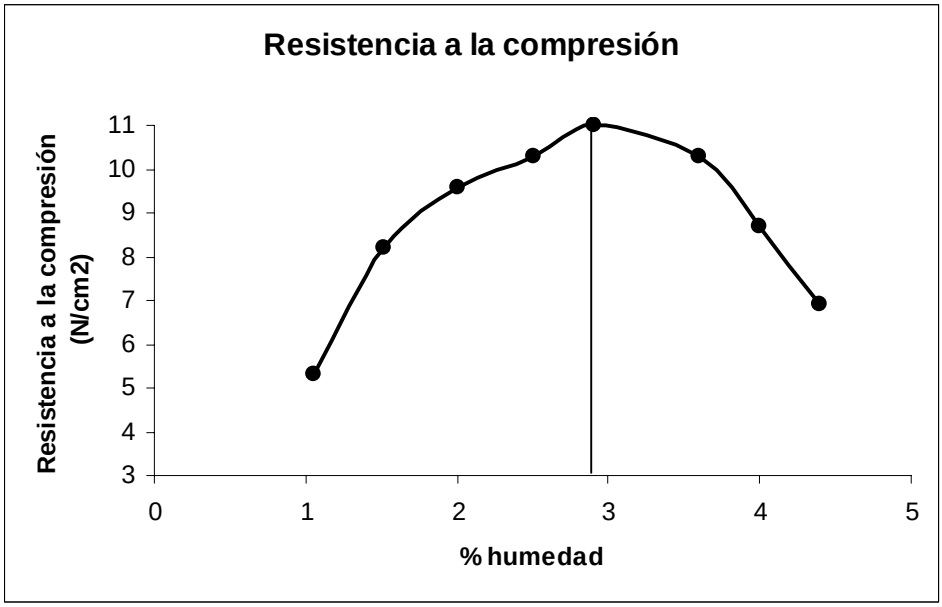
Para construir el paralelepípedo de calidad de una arena de moldeo se debe seleccionar el contenido de humedad óptimo de esta arena, debido a la marcada influencia que tiene sobre otras propiedades de la arena.

El método para determinar este contenido óptimo de humedad ha sido ampliamente discutido, pero un concepto generalmente aceptado para hallarlo es situarlo en el contenido de humedad al que se alcanza el valor máximo de resistencia a la compresión en verde.

5.2.1 Variación de la resistencia a la compresión en verde con la humedad

En la Gráfica No. 13, se ve claramente que a un contenido de humedad de 2,9% se encuentra el valor más elevado de Resistencia a la Compresión en verde y en la Tabla No. 17 se observa a este contenido de humedad se tiene un porcentaje de friabilidad aceptable.

Teniendo en cuenta lo anterior, la Gráfica No. 12, y los criterios establecidos en la Tabla No. 5, la mezcla seleccionada no presentará problemas de moldeo.

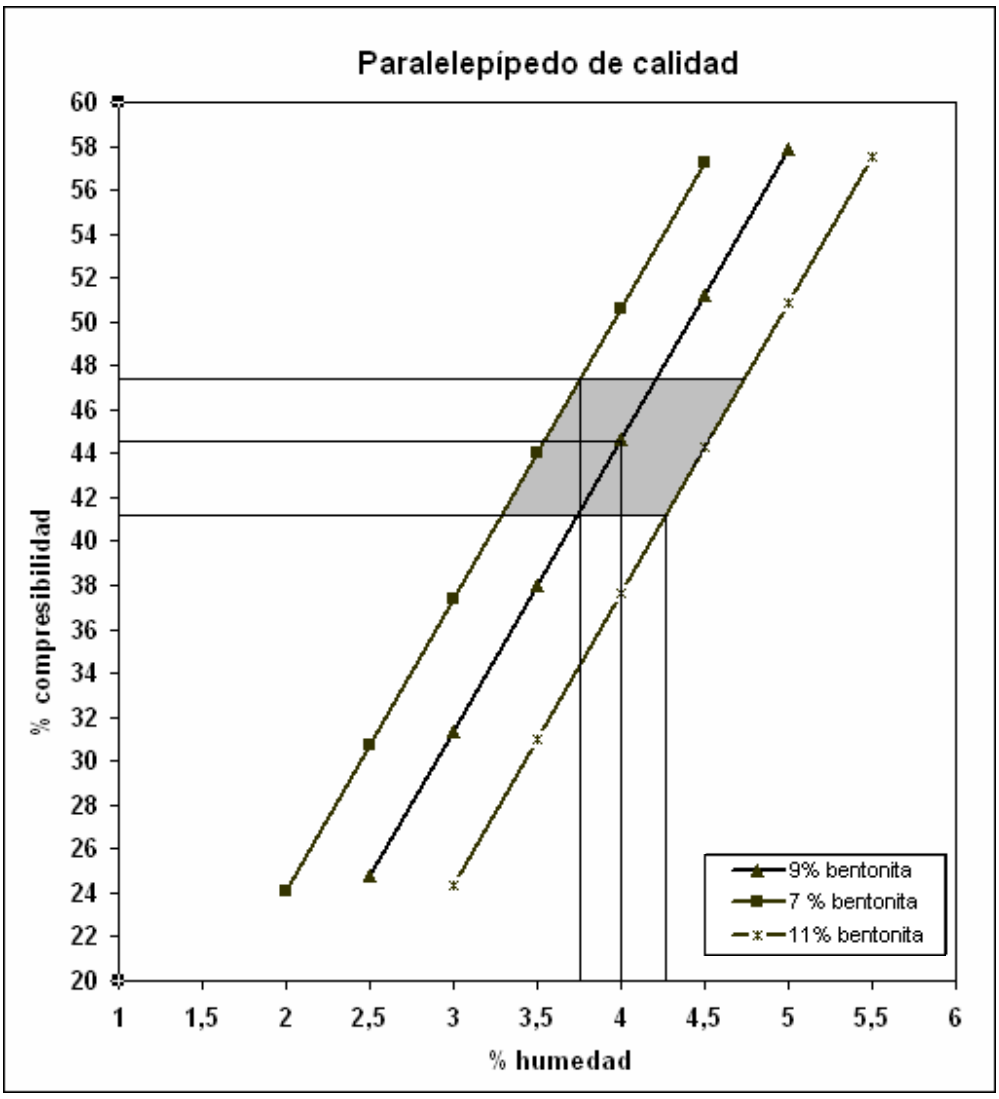


Gráfica No. 13. Variación de la resistencia a la compresión con la humedad, para la Mezcla No. 2

5.2.2 Paralelepípedo de Calidad

Para construir el paralelepípedo de calidad se debe establecer el contenido de arcilla activa y humedad del que se debe partir. Previamente se había establecido tomar la arena de moldeo establecida en la Tabla No. 30, correspondiente a 8,2% de arcilla activa y con un contenido de humedad de 2,9 %; es necesario considerar el moldeo manual y establecer este contenido de humedad en 4% y tolerar una variación de humedad de 0.25%.

En la Gráfica No. 14 se observa que a los contenidos de humedad seleccionados se obtienen los valores de compactabilidad recomendados para una arena de moldeo, que deben estar cercanos a 45%. [1]



Gráfica No. 14. Paralelepípedo de calidad para mezclas de arena silícea aglomeradas con bentonita

La zona sombreada obtenida en la Gráfica No. 14 indica los porcentajes de agua y arcilla activa, entre los cuales puede variar la mezcla de arena sintética. Para un valor determinado de arcilla activa, entre los límites establecidos por esta gráfica, es posible determinar si la humedad es adecuada aplicando la prueba de compactibilidad.

Si al aplicar la prueba de compactabilidad, esta resulta entre 41% y 47%, como indica la gráfica, la humedad se encuentra en los valores establecidos. Si la compactibilidad es menor a estos valores, la humedad es inferior a la requerida; y si la compactibilidad es mayor a estos valores, la humedad es superior a la requerida.

5.3 IMPLEMENTACION DE LA MEZCLA DE ARENA SELECCIONADA EN INFUSAN LTDA.

Los porcentajes establecidos para la mezcla de arena seleccionada fueron llevados a INFUSAN LTDA., para su implementación en la preparación de la arena de moldeo utilizada en la elaboración de moldes.

5.3.1 Variación de los defectos encontrados

El tipo de defectos encontrados en las piezas, disminuyeron en cantidad y gravedad con la implementación de la mezcla de arena recomendada en la elaboración de los moldes.

Figura No 19. Aro 060 obtenido con molde de mezcla de arena recomendada

La pieza de la Figura No. 19 Muestra disminución en el tamaño de las burbujas formadas durante el vaciado del molde por exceso de humedad en el mismo; defecto que puede eliminarse con un estricto control sobre la preparación de la mezcla de arena.

Figura No 20. Pasamuro obtenido con molde de mezcla de arena recomendada

Las piezas de las Figuras No. 20 y No. 21 muestran que estas tienen un mínimo de rebabas y en general, buen acabado superficial.

Figura No 21. Te 10X10 obtenida con molde de mezcla de arena recomendada

En la pieza de la Figura No. 22, se observa una mejora considerable en su acabado superficial.

Figura No 22. Tapa 030 obtenido con molde de mezcla de arena recomendada

En la Figura No. 23 se observa que la arena de moldeo continúa teniendo baja colapsabilidad, a pesar de eliminar el contenido de caolín de su preparación, lo que indica que el carbón utilizado como aditivo, aún no cumple con los requerimientos necesarios.

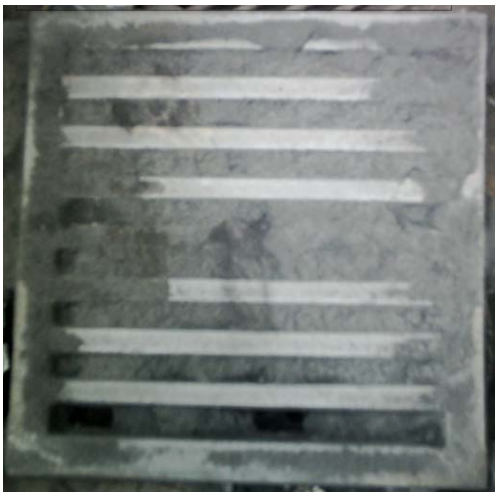


Figura No 23. Rejilla obtenida con moldeo de mezcla de arena recomendada

5.3.2 Variación de los rechazos por defectos

En la Tabla No. 31 se observa la disminución presentada en la cantidad de piezas defectuosas a partir de la fundida No. 3, donde se implementó la mezcla de arena

de arena recomendada.

Se ve claramente, que en la fundida No. 3 se obtuvo el porcentaje de rechazo más pequeño durante el seguimiento realizado a la mezcla de arena; esto se explica porque en esta fundida la arena utilizada para elaborar la mezcla era totalmente nueva. El aumento subsiguiente en el porcentaje de rechazos se explica por la utilización en arena usada en la elaboración de la mezcla, lo que disminuye su calidad.

Fundida No.	Fecha	Kilos rechazados	No. Piezas rechazadas	% rechazos
1	08/08/07	423	28	5.47
2	21/09/07	666	68	7.58
3	05/10/07	156	17	1.86
4	22/10/07	199	17	2.45
5	03/11/07	325	18	3.63
6	14/11/07	393	26	3.98
7	10/12/07	221	12	2.3
8	26/12/07	340	34	3.18

Tabla No. 31. Variación de la cantidad de piezas defectuosas con la implementación de la mezcla de arena seleccionada

6. CONCLUSIONES

- La arena natural proveniente de Lebrija no puede ser utilizada como arena de moldeo, debido a su elevado contenido de arcilla AFS, que se traduce índices de finura excesivamente altos y valores de permeabilidad inadmisibles para una arena de moldeo.

- La arena sintética proveniente de Virolín presenta propiedades adecuadas para ser utilizada como arena de moldeo, pero estos análisis iniciales no son suficientes. Se requiere un control continuo sobre la arena utilizada con el fin de evaluar la degradación que sufre al estar sometida a elevadas temperaturas y la influencia de esta degradación sobre sus propiedades.

- El uso de caolín debe limitarse a casos en los que las propiedades en caliente de la arena de moldeo sean deficientes, para evitar los problemas que ocasiona de baja permeabilidad y de adherencia de la arena al moldeo.

- A pesar que la arena sintética presenta un porcentaje de arcilla AFS superior al establecido por la literatura [8], los valores de permeabilidad son adecuados para una arena de moldeo

- El contenido de humedad y de arcilla activa en la mezcla de arena de moldeo deben ser controlados rigurosamente, debido al marcado efecto que ejercen sobre sus propiedades más importantes.

- El debido control de la resistencia a la compresión, la friabilidad y la compactabilidad de una mezcla de arena de moldeo, ofrecen una alternativa

económica y sencilla para minimizar los defectos y rechazos en las piezas fundidas.

- La influencia del contenido de humedad y de arcilla activa sobre las propiedades de la arena de moldeo no deben ser analizados por separado, debido a la relación mutua que existe entre estos.

- La gran cantidad de arena que queda adherida a las piezas fundidas muestra que el carbón molido utilizado como aditivo de la arena de moldeo en INFUSAN LTDA., no cumple con la función requerida por él; este análisis se refuerza con la diferencia encontrada entre la caracterización obtenida del análisis realizado a este carbón y la requerida para el carbón utilizado como aditivo de la arena de moldeo.

7. RECOMENDACIONES

- Implementar la mezcla de arena referenciada en la Tabla No. 21, como arena de contacto en la elaboración de moldes.

- Eliminar el uso de caolín como aditivo en la arena de moldeo, para reducir los problemas de permeabilidad y adherencia de la arena al molde.

- Realizar un estudio de la degradación de la arena de contacto utilizada, partiendo de arena nueva, con el fin de determinar la cantidad de fundidas que puede ser utilizada como tal antes de pasar a emplearse como arena de relleno.

- Construir el dispositivo que mide la compactabilidad de la arena de moldeo, para implementar el paralelepípedo elaborado para la arena sintética y tener un método de control sencillo y eficaz sobre su aptitud al moldeo.

- Cambiar el carbón molido utilizado como insumo de la arena de moldeo. Según caracterización de carbones realizada por un proyecto anterior [3], existen 4 carbones en la región que cumplen con las especificaciones requeridas: Mina Cerrito, Caño Pescao, Caño Cascajales y Mina Santa Isabel.

- Solicitar a los proveedores una caracterización del insumo entregado, para tener certeza de su calidad y su cumplimiento con las funciones requeridas por su uso. Además, esto permite introducir los cambios requeridos según la respuesta observada durante el proceso, basándose en análisis de las propiedades reales de cada insumo.

8. BIBLIOGRAFIA

[1] ALONSO, B. Arnaldo. Nuevos métodos de control de la calidad de las arenas de moldeo sílico-arcillosas naturales o sintéticas en circuito. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 1990.

[2] CAPELLO, E. Tecnología de la Fundición.

[3] CASTELLANOS, O. NUÑEZ, C. Estudio de carbones de Santander y Norte de Santander y su posible utilización como aditivo en las arenas de moldeo. Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 1999.

[4] GRAHAM, A. PRASKI, R. EDWARDS, D. DIETERT, H. Measuring Friability of Molding Sands With Present Sand Testing Equipmet. Revista Modern Casting, Technology for Progress. Detroit. 1969.

[5] HOWARD, E. Tratado Práctico de Fundición. Segunda Edición. Editorial Aguilar. Madrid. 1962.

[6] SCHÜTZE, A. Oscar. Tratado Práctico de Moldeo y Fundición. Segunda Edición. Editorial Gustavo Gili. Barcelona. 1961.

[7] TAYLOR, H. FLEMMINGS, C. WULFF, J. Fundición para Ingenieros. Compañía Editorial Continental. Nueva York. 1961.

[8] FEDEMETAL, SENA. Actualización Tecnológica en Fundición. Documento ampliado del I Congreso Nacional de Fundición. Medellín. 1995.

[9] Fundición Guía Básica. Bentocol. Colombia. 2000.

[10] AFS. Manual de Arenas para fundición. Illinois, Estados Unidos. 1967

[11] http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_UC/AVAILABLE/TDR-1026105-175129//1de6.ACFintroduccion.pdf

[12] Norma ASTM D – 3173 – 03. Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke.

[13] Norma ASTM D – 3174 – 04. Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke form Coal.

[14] Norma ASTM D – 3175 – 07. Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke.

[15] Norma ASTM D – 3177 – 07. Standard Test Method for Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke.

ANEXO A. Procedimiento para determinar la arcilla activa de mezclas de arena

Tomar 5 gr. de una muestra de arena secada previamente como lo indica la norma AFS.

Introducir la muestra pesada, en un erlenmeyer de 250 mL, teniendo el cuidado de no perder nada de muestra. Luego agregar 50 mL de agua destilada y agitar con el dispositivo magnético dentro del erlenmeyer durante 15 minutos.

Adicionar 2 mL de la solución de ácido sulfúrico y reanudar la agitación por 1 minuto más.

Con la bureta llena de azul de metileno, se procede a adicionar 1 mL de azul de metileno; cada vez que se adicione 1 mL de azul de metileno se agitará la solución por 30 segundos y se introducirá la barra agitadora de vidrio en la solución, sacarla y dejar caer una gota de la solución muestra sobre el papel filtro.

Se espera obtener una mancha azul y alrededor de esta un halo azul verdoso, que inicialmente desaparece. Desde el momento que aparece este halo, se empezará a adicionar de 0.1 a 0.2 ml de azul de metileno y se agitará la solución por 2 minutos luego de cada adición, esto para asegurar que el azul de metileno haya sido bien adsorbido por la arcilla activa. A partir de ese momento los papeles filtros deberán ser identificados con la cantidad de azul de metileno adicionado para evaluar posteriormente.

Dejar secar los papeles filtro y observar en donde se empezó a mantenerse el halo visible, tomar el dato de cantidad de mililitros de azul de metileno adicionados cuando se mantuvo por primera vez el halo bien visible.

Con el valor en mL de solución de azul de metileno adicionados hasta cuando se mantuvo visible el halo azul verdoso, se va a la grafica de "*mL de solución de azul de metileno vs % de arcilla activa*" previamente calibrada por mL de solución de Azul de Metileno vs. % de Arcilla Activa y se interpola o extrapola, según sea el caso para la obtención del porcentaje de arcilla viva o activa presente en la muestra inicial (5 gr.). Si la muestra fue arcilla entonces el valor de % leído en la gráfica se multiplicará por 10 para dar el porcentaje real de arcilla activa.

ANEXO B. Procedimiento para determinar la friabilidad de mezclas de arena [4]

Con la mezcla de arena a ensayar, fabricar dos (2) probetas bajo norma (2 pulgadas de diámetro y dos pulgadas de altura), pesarlas en una balanza con sensibilidad de 0,001 g, y registrar la suma de los dos pesos, que corresponderá al 100%.

Ubicar las dos probetas sobre la malla cilíndrica con una de sus caras planas contra el disco de apoyo, de tal manera que su contacto sea longitudinal; y colocar una bandeja debajo del disco, donde se depositará el material desprendido del as probetas.

Encender el equipo y apagarlo después de transcurridos un (1) minuto. Pesar todo el material desprendido que se deposite sobre la bandeja; calcular el porcentaje de friabilidad de la mezcla de arena multiplicando esta pérdida por cien (100) y dividiéndola por el peso registrado como 100%.