



Universidad de Holguín
"Oscar Lucero Moya"
Facultad de Ingeniería
Departamento de ingeniería mecánica

El polvo de vidrio como material alternativo en los moldes de fundición de metales ferrosos y no ferrosos

Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero Mecánico

Autor: Leonel Cordero Mendoza

Tutor: Msc. Rigoberto Pastor Sánchez Figueiredo.

2009

AGRADECIMIENTOS

Agradezco la colaboración prestada en su totalidad al entorno humano de la Empresa de Fundiciones Acero-Hierro de Holguín, en especial al Ing. Alexis Ronda Oro que fue el que se ocupó de todo lo que nos hizo falta para la presente tesis, al claustro de profesores y al master en ciencia Rigoberto Pastor Sánchez por su dedicación, paciencia y desinterés durante todo este tiempo. Así como a mi madre por haberme apoyado en los momentos difíciles que pase durante la realización de este trabajo, a mi novia que me ayudo mucho en las noches de desvelos. Le agradezco a mi padrastro Jorge Milán Pérez por su preocupación continua por la realización de este trabajo, y a todos mis compañeros.

“...ciencia y técnica significa preparar a un país, crear un país, no importa de donde partamos hoy, no importan las dificultades de hoy, pero si crear un país que viva de su inteligencia y de su sudor... eso solo la ciencia y la técnica lo pueden hacer, y ustedes lo pueden comprender mejor que nadie...la supervivencia de la revolución y el socialismo, la preservación de la independencia de este país depende hoy fundamentalmente de la ciencia y la técnica...”

Fidel Castro Ruz

RESUMEN

La presente investigación muestra la solución al problema existente en el país sobre la necesidad de la utilización de materiales alternativos en el proceso de manufactura por fundición con un trabajo encaminado a producir a menor costo y con mayor calidad la preparación de las mezclas de moldeo bajo las condiciones actuales en la industria sideromecánica cubana, garantizan productividad, eficacia y competitividad en la producción a escala industrial. La investigación realiza un estudio de los antecedentes, principales características y el estado actual de la utilización de los materiales para la preparación de los moldes de fundidos de metales ferrosos y no ferrosos desarrollada por diferentes autores. Se expone en detalles todos los elementos que componen el tratamiento del vidrio con molinos de bolas y la metodología de preparación de las mezclas de moldeo utilizando el polvo de vidrio como sustituto de la bentonita en la preparación de moldes de fundidos de metales ferrosos y no ferrosos. Se describe la concepción la metodología seguida con el fin de demostrar y comprobar la hipótesis planteada. Se analizan casos reales utilizando el polvo de vidrio como sustituto de la bentonita en la preparación de moldes de fundidos de metales ferrosos y no ferrosos y da una valoración socio económica con un análisis del costo y el tiempo empleado bentonita comparándola con el costo de la mezcla con polvo de vidrio demostrando la competitividad, sostenibilidad y la sustentabilidad con el empleo de este material.

SUMMARY

The present investigation shows the solution to the existent problem in the country which is, the necessity for the use of alternative materials in the factory process for foundry with work guided to incur smaller cost and more quality in the preparation of the mixtures of molding under the current conditions in the Cuban Steel Industry (steel Mechanics), they guarantee productivity, effectiveness and competitiveness in the production to an industrial scale. The investigation carries out a study of the antecedents, main characteristic and the current state of materials used in the preparation of ferrous fused mold and non-ferrous metals developed by different authors. All the elements that comprise in the treatment of glass ball mills and the methodology for preparation of the mixtures are exposed in detail using the glass powder as substitute for the taglorite in the preparation of the molds fused with ferrous and non-ferrous metals. The methodological conception has the purpose of demonstrating and verifying the outlined hypothesis. Real cases are analyzed using the glass powder as substitute of the taglorite in the preparation of molds having being fused with ferrous and non-ferrous metals and it gives an economic valuation with a cost analysis and the time used, Taglorite is compared using as criteria the cost of the mixture with glass powder demonstrating the competitiveness, and the sustainability with the employment of this material.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1: CARACTERÍSTICAS DE LAS ARCILLAS REFRACTARIAS EN LA OBTENCIÓN DE MOLDES DE FUNDICION DE METALES FERROSOS Y NO FERROSOS Y DEL VIDRIO.....	9
1.1 Introducción	9
1.2 . Tipos de moldeos.....	10
1.2.1 Propiedades de las mezclas de moldeo.....	13
1.3 Acción aglutinante de las arcillas de moldeo.	15
1.3.1 Importancia del agua en la mezcla arena-arcilla.	19
1.3.2 Relación agua-arcilla.....	22
1.3.3 Ensayos de laboratorio.....	24
1.3.3 Arcillas de fundición.	29
1.3.4 Clasificación.	29
1.3.5 Características de las arcillas.....	30
1.3.6 Marcado de las arcillas.....	31
1.3.7 Componentes arcillosos de las arenas refractarias.....	32
1.3.8 Aglutinantes.	33
1.4 Características de la producción del vidrio.....	33
1.4.1 Procesos de fabricación	34
1.4.2 Resistencia.....	35
1.4.3 Envases de vidrio y el medio ambiente	35
1.4.4 Utilización actual de los fragmentos de vidrio.	36

CAPÍTULO: 2	38
METODOLOGÍA DE PREPARACION DEL POLVO DE VIDRIO COMO SUSTITUTO DE LAS ARCILLAS REFRACTARIAS.	38
2.1 Características Metodología del tratamiento en molinos de bolas de los fragmentos de vidrio”	39
2.2.1. Instrucción tecnológica para el pulverizado de fragmentos de vidrio. ..	42
2.3 Tecnología de preparación de mezclas de moldeo utilizando polvo de vidrio y ensayos.....	47
2.4 Ensayos de laboratorio.	53
2.5 Resultados del análisis al polvo de vidrio	55
2.6 Discusión de resultados y valoración socio económica.	55
CONCLUSIONES GENERALES.....	58
RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFIA	¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN

Es de vital importancia para el progreso de un país, el desarrollo de la construcción de maquinarias. Dentro de esta rama de la industria, lo que se refiere a la producción de artículos metálicos ocupa un lugar preponderante y por fundición se produce una cantidad significativa de estos artículos.

Los procesos de manufactura por fundición se toman desde dos puntos de vista, técnico funcional y económico, en la mayoría de las veces existe una discordancia entre dichos puntos, pero se debe en lo posible, llegar a un punto de equilibrio para obtener un producto que satisfaga los requerimientos funcionales y no sea demasiado caro. Los procesos de manufactura comprenden entre el veinte y el treinta por ciento del valor de todos los bienes y servicios producidos.

Las mezclas de moldeo juegan un papel determinante en la calidad y costo de las piezas fundidas, producto que los materiales componentes como, arenas y arcillas refractarias, etc. influyen en las propiedades del molde de las cuales depende la calidad de los fundidos en cuanto a la formación de poros sopladuras, inclusiones no metálicas y en la estructura de la pieza, por eso hay que prestar especial cuidado en la selección de los materiales y preparación de las mezclas de moldeo, por eso al preparar mezclas ya sean de cara ,de relleno o únicas se debe tener especial cuidado en que cumplan con las propiedades de:

Refractariedad. Capacidad de las mezclas de resistir la acción a las altas temperaturas sin destruirse ni adherirse a la pieza.

Permeabilidad. Capacidad de permitir el paso de los gases hacia el exterior.

Resistencia mecánica. Capacidad de resistir los esfuerzos del proceso de elaboración del molde, así como la presión metalóstática.

Desmoldeabilidad. Capacidad de disgregarse una vez que se ha enfriado la pieza en el molde y se procede al desmoldeo.

Plasticidad. Capacidad de copiar con exactitud la configuración de la plantilla (modelo), sin destruirse posteriormente.

Fluidez. Capacidad para fluir en el molde hacia todas las partes en función de los esfuerzos de apisonado.

La Empresa Fundición de Hierro y Acero (EFHA), es una de las entidades que tiene dentro de sus planes de desarrollo la implementación de materiales alternativos para la producción de moldes de metales ferrosos y no ferrosos, la misma está ubicada en la carretera de San Germán Km. 3 ½, Holguín, fue fundada en julio de 1980 y redimensionada en el año 2003 y consta de dos talleres fundamentales para su producción.

El taller de producciones ferrosas con un horno de cuba alta discontinuo de 700 mm de diámetro interior. La capacidad calculada del mencionado taller es de 360 toneladas al año. Se producen piezas principalmente para la Industria Mecánica, el MINAZ, el MINTUR, el MINBAS, entre otras. El moldeo se realiza en cajas metálicas de dimensiones 1000 x 800 x 300 mm y 630 x 500 x 250 mm y se utilizan mezclas en verde.

Posee un taller secundario para la elaboración y secado de los machos, estos son elaborados con mezclas de cromita, bentonita, fuel oil y melaza con secados en estufas a temperaturas de 200 – 250° C. Presenta un sistema de moldeo mecanizado con máquinas neumáticas movidas por un compresor que impulsa de forma estable aire comprimido a seis atmósferas.

El taller de fundiciones no ferrosa en su entorno tecnológico cuenta con: horno de crisol para la fusión de bronce, horno Wilkinson para la fusión de cuproaleaciones, horno tambor para la fusión de aleaciones de aluminio y se moldea con pisones neumáticos y mezclas en verde. La empresa tiene un taller

auxiliar de herramental para la construcción de los modelos, accesorios, dispositivos y mantenimiento necesario para la ejecución de la producción.

Sobre el estudio de las arcillas refractarias, su aplicación en la industria mecánica en las mezclas de moldeo y el estudio de los parámetros tecnológicos que se ven afectados por causa de las particularidades de nuestra industria versa esta tesis de pregrado.

La Empresa Vidrios Tunas “Antonio Maceo Grajales”, fue industrialmente cerrada actuando desfavorablemente en el medioambiente, debido a que al no tener mercado para los fragmentos y frascos de vidrio recolectado por las Empresas Recuperadoras de Materias Primas, se han acumulado más de 17 000 Ton de fragmentos de vidrio en los patios de la UERMP debido a sus características no degradables, además las Empresas Geomineras han disminuido la producción de bentonita al perder el mercado con el cierre de las fundiciones del MINAZ, MINBAS, SIME. Por lo que no le es competitiva la producción en correspondencia con la demanda actual, dedicando sus instalaciones a la producción de zeolita, la cual esta siendo muy cotizada en el mercado internacional. La planta de San Andrés de la Empresa Geominera Oriente ha colocado en el mercado un producto caro y de baja calidad por su alta contaminación con la zeolita, lo cual ha generado como **problema**: Cómo generar arcillas refractarias alternativas más competitivas, sostenibles y sustentables para ser utilizadas en las mezclas de moldeo, bajo las condiciones actuales en la industria sideromecánica cubana.

Por ese motivo surge como **objeto de estudio**, los materiales refractarios utilizados en las mezclas de moldes para fundición y como **campo de acción** las arcillas refractarias

La investigación plantea como **hipótesis**: Si se utilizan arcillas refractarias alternativas menos costosas se aumenta la productividad y competitividad en la producción.

A partir de la hipótesis, se plantea como **objetivo general** del trabajo, Demostrar la factibilidad del empleo del polvo de vidrio en los moldes de fundición.

Como **objetivos específicos** de la investigación se plantean:

- Evaluar los procedimientos existentes y la utilización de las arcillas refractarias y el estado actual de aplicación en la tecnología para la producción de fundidos.
- Evaluar las reservas de fragmentos de vidrio que existen en los patios de las Entidades de la UERMP del SIME.
- Determinar la forma de pulverizado y el tipo de molino a utilizar para obtener la granulometría adecuada.

Tareas de Investigación:

-Evaluar las arcillas refractarias que se utilizan en las fundiciones en verde y su estado actual de aplicación en la tecnología para la producción metales ferrosos y no ferrosos.

-Aprovechar el polvo de vidrio en la fundición, con las condiciones cubanas, para la obtención fundidos de metales ferrosos y no ferrosos.

-Asegurar, con el polvo de vidrio una disminución del consumo de la bentonita durante la fundición de metales ferrosos y no ferrosos.

Los **beneficios esperados** utilizando el polvo de vidrio sustituyendo la bentonita como material mas competitivo en la preparación de las mezclas de moldeo para fundidos de metales ferrosos y no ferrosos, adecuado a las condiciones actuales

de la industria en Cuba, garantizando de esta forma el aumento de la competitividad de estas producciones.

Los métodos científicos cumplen una función fundamental en el desarrollo de la ciencia, ya que permiten obtener nuevos conocimientos sobre el fenómeno que se estudia y ejercen un papel importante en la construcción y desarrollo de la teoría científica.

En las ciencias se aplican una variedad de métodos teóricos, dentro de ellos están: el método de análisis y la síntesis, el hipotético-deductivo, el análisis histórico y el lógico, el de tránsito de lo abstracto a lo concreto, la modelación y el enfoque de sistema. Cada uno cumple funciones determinadas, por lo que en el proceso de realización de una investigación científica se complementan entre sí. A continuación se exponen los **métodos** fundamentales utilizados en la investigación:

— Método histórico-lógico: Este se aplica para establecer el estado del arte del tema de investigación, como marco teórico referencial, permitiendo conocer que se ha investigado sobre el tema objeto de estudio y que leyes o aspectos generales se abordan en el fenómeno que se estudia.

— Método de inducción-deducción: A partir del estudio de diferentes casos particulares se llega a establecer aspectos que son generales y leyes empíricas, que constituyen puntos de partida para inferir o confirmar formulaciones teóricas, de las cuales se deducen nuevas conclusiones lógicas que son sometidas a prueba de acuerdo con las generalizaciones empíricas. Se aplicará para la evaluación de los diferentes criterios que intervienen en la tecnología para la utilización del polvo de vidrio en las mezclas de moldeo para moldes de piezas fundidas.

— Método de análisis y síntesis: Se utiliza para identificar los factores principales -y sus características- que influyen en el fenómeno que se estudia, así como su interrelación. Se aplica para identificar las etapas que intervienen en la

tecnología para la utilización del polvo de vidrio en las mezclas de moldeo para moldes de piezas fundidas.

— Método de modelación: Se crea un modelo científico -como instrumento de la investigación- de carácter material o teórico, el cual se utiliza para hacer una reproducción simplificada de la realidad; este cumple una función heurística, ya que permite descubrir y estudiar nuevas relaciones y cualidades del objeto de estudio. Se aplica al modelar el proceso de desarrollo de la tecnología para la utilización del polvo de vidrio en las mezclas de moldeo para moldes de piezas fundidas.

— Método computacional: Se utiliza durante la concepción y desarrollo de la aplicación informática para asistir en el cálculo de los parámetros que intervienen en la tecnología para la utilización del polvo de vidrio en las mezclas de moldeo para moldes de piezas fundidas.

— Método Empíricos (percepción directa, entrevista con especialistas, revisión bibliográfica).

Como **novedad**, la investigación logra por primera vez en las condiciones de la industria Metal-Mecánica en Cuba, la utilización del polvo de vidrio como material alternativo en la manufactura de moldes para fundido de metales ferrosos y no ferrosos logrando el aumento de la competitividad, la sostenibilidad y sustentabilidad de los moldes y la búsqueda de un mercado seguro a los fragmentos de vidrios, actuando positivamente en el medioambiente.

La investigación identifica como **aportes**:

— Genera un nuevo material mas competitivo, sostenible y sustentable en la preparación de moldes para piezas fundidas.

— Lograr una aplicación para los fragmentos de vidrios con una influencia positiva en el medio ambiente.

El informe de tesis se **estructura** en la siguiente forma:

Introducción.

Capítulo 1. CARACTERÍSTICAS DE LAS ARCILLAS REFRACTARIAS EN LA OBTENCIÓN DE MOLDES DE FUNDICION DE METALES FEROSOS Y NO FERROSOS.

En este capítulo se realiza un estudio de los antecedentes y el estado actual de las arcillas refractarias que se emplean en la tecnología de producción de moldes para fundidos de metales ferrosos y no ferrosos y la utilización de los fragmentos de vidrio.

Capítulo 2. METODOLOGÍA DE PREPARACION DEL POLVO DE VIDRIO COMO SUSTITUTO DE LAS ARCILLAS REFRACTARIAS”.

En este capítulo se expone en detalles todos los elementos que componen la metodología de tratamiento del polvo de vidrio en molinos de bolas, obteniendo la granulometría necesaria para ser utilizado como sustituto de las arcillas refractarias. Así como la concepción de la tecnología de preparación de mezclas de moldeo en la manufactura de moldes para piezas fundidas de metales ferrosos y no ferrosos y los ensayos de laboratorios para demostrar que es factible la sustitución del polvo de vidrio por la bentonita .

Conclusiones.

Recomendaciones.

Bibliografía.

Anexos.

CAPITULO 1: CARACTERÍSTICAS DE LAS ARCILLAS REFRACTARIAS EN LA OBTENCIÓN DE MOLDES DE FUNDICION DE METALES FERROSOS Y NO FERROSOS Y DEL VIDRIO.

1.1 Introducción

En el presente capítulo se exponen los antecedentes fundamentales relacionados con el método de moldeo con el objetivo de describir los trabajos previos de la investigación. Se analizan los parámetros que influyen en los moldes de materiales ferrosos y no ferrosos, así como las características de la bentonita y el vidrio con el objetivo de identificar las principales variables que intervienen en el desarrollo de la tecnología para la obtención de estos moldes.

1.2 . Tipos de moldeos

Existen tres tipos de moldeo para la obtención del modelo de la pieza a fabricar:

Moldeo en arena.

Moldeo en arena en verde se hacen de una mezcla de arena, arcilla y agua, el término "verde" se refiere al hecho de que el molde contiene humedad al momento del vaciado. Los moldes de arena verde tienen suficiente resistencia en la mayoría de sus aplicaciones, así como permeabilidad y reutilización, también son los menos costosos. Es el método más empleado en la actualidad, aunque también tienen sus desventajas. La humedad en la arena puede causar defectos en algunas fundiciones, en dependencia del metal y de la forma geométrica de la pieza. No es adecuado para piezas grandes o de geometrías complejas, ni para obtener buenos acabados superficiales o tolerancias reducida.

Moldeo en arena seca se fabrica con aglomerantes orgánicos en lugar de arcilla. Antes de la colada, el molde se seca a elevada temperatura (entre 200 y 300° C). De este modo se incrementa la rigidez del molde, lo que permite fundir piezas de mayor tamaño, geometrías más complejas y con mayor precisión dimensional y mejor acabado superficial. El molde de arena seca es más costoso y la velocidad de producción es reducida debido al tiempo de secado. Sus aplicaciones se limitan generalmente a fundiciones de tamaño medio y grande y en velocidades de producción bajas. [41]

Moldeo mecánico. Consiste en la automatización del moldeo en arena. La generación del molde mediante prensa mecánica o hidráulicas, permite obtener moldes densos y resistentes que subsanan las deficiencias del moldeo tradicional en arena. Estas máquinas eliminan horas de mano de obra, ofrecen fundiciones de alta calidad al mejorar la aplicación y distribución de las fuerzas, manipulan el molde de una manera cuidadosamente controlada e incrementan la velocidad de producción.

Moldeo en cáscara. El procedimiento consiste en la obtención de un molde o coquilla de arena y resina a partir del modelo de la pieza donde se efectuará la colada. Que aprovecha las propiedades que tienen ciertas resinas fenólicas de endurecerse bajo la acción del calor. Estas resinas actúan como aglomerantes de la arena de sílice.

El modelo de la pieza se construye ordinariamente en dos mitades y se fija cada una de ellas a una placa metálica, La placa modelo se calienta a unos 200° y se le aplica una capa antiadherente a base de parafina o silicona. A continuación entra en contacto con la mezcla de moldeo (arena) y forma en pocos segundos un caparazón sólido o cáscara de (5; 7) mm de espesor.

La placa, con la cáscara adherida, es sometida finalmente a un calentamiento a 350° en un horno apropiado durante unos (3 ó 5) minutos. Terminada esta cocción, se separa la cáscara del modelo y se unen los semimoldes obtenidos con cola, tornillos u otros medios. El molde formado se introduce en una caja de moldear, donde se rellena el espacio circundante con tierra vieja y se procede a colar el metal.

Las ventajas principales que se obtienen con este procedimiento son la precisión geométrica y dimensional.

Moldeo a la cera perdida o micro fusión. Es uno de los procedimientos más antiguos de fundición, sirve para obtener gran variedad de piezas de elevada precisión, pequeño tamaño y forma muy complicada, imposible de obtener por otros sistemas de moldear.

En este moldeo, el modelo se fabrica en cera o plástico. Una vez obtenido, se recubre de una serie de dos capas, la primera de un material que garantice un buen acabado superficial, y la segunda de un material refractario que proporcione rigidez al conjunto. Una vez que se ha completado el molde, se calienta para endurecer el recubrimiento y derretir la cera o el plástico para extraerla del molde

en el que se verterá posteriormente el metal fundido. Este método tiene dos ventajas principales, la ausencia de machos y de superficies de junta, con lo que se logran fieles reproducciones del modelo original sin defectos superficiales.

Moldeos en moldes metálicos.

Moldeo por gravedad los moldes metálicos sustituyen con ventaja a los de arena en el moldeo por gravedad cuando hay que fabricar grandes series de piezas. El moldeo a coquilla consiste en sustituir los moldes de arena en la fundición ordinaria por gravedad, por moldes metálicos. Las coquillas se componen de dos partes principales:

- El cuerpo del molde que da forma exterior a la pieza y en todos los casos es siempre metálico.
- Los machos que determinan las cavidades o entrantes de las piezas y que pueden ser metálicos o de arena.

Moldeo centrífugo: La fabricación de tubos o piezas huecas se puede realizar al vaciar el líquido en el molde que gira a gran velocidad. Gracias a la fuerza centrífuga, el metal se pega en los laterales, enfriándose y tomando la forma del molde. Con este método se pueden crear piezas o tubos con capas de distintos materiales. [4]

Moldeo a presión: La fundición a presión se diferencia de los procedimientos ordinarios en que la colada no se realiza por gravedad, sino que se inyecta a presión. Este procedimiento permite fundir piezas complicadas con aristas pronunciadas y espesores mínimos. La superficie de las piezas resulta limpia y sin defectos. El material, debido a la presión, resulta más compacto, sus propiedades mecánicas mejoran respecto a los metales colados por gravedad. Los moldes metálicos utilizados para la fundición a presión reciben el nombre de matrices.

Clasificación de las 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.

Los componentes fundamentales de una mezcla son:

Arena (material básico)

Arcilla (que tiene como función la unión de los granos entre sí)

Agua (agente activante de la aglutinación)

Aditivos (propiedades especiales en condiciones especiales)

1.2.1 Propiedades de las mezclas de moldeo

A continuación se relacionan algunas de las propiedades más importantes de las mezclas de moldeo.

Refractariedad. Capacidad de las mezclas de resistir la acción a las altas temperaturas sin destruirse ni adherirse a la pieza.

Permeabilidad. Capacidad de permitir el paso de los gases hacia el exterior.

Resistencia mecánica. Capacidad de resistir los esfuerzos del proceso de elaboración del molde, así como la presión metalóstática.

Desmoldeabilidad. Capacidad de disgregarse una vez que se ha enfriado la pieza en el molde y se procede al desmoldeo.

Plasticidad. Capacidad de copiar con exactitud la configuración de la plantilla (modelo), sin destruirse posteriormente.

Fluidez. Capacidad para fluir en el molde hacia todas las partes en función de los esfuerzos de apisonado.

Desde el punto de vista tecnológico es necesario conocer cada uno de los elementos que componen la mezcla, sus características y propiedades fundamentales, así como su campo de aplicación.

En dependencia de estos conocimientos el tecnólogo fundidor será capaz en un momento dado de elegir el material adecuado para lograr una producción con calidad

Las mezclas de moldeo pueden ser únicas, de revestimiento, de relleno.

Mezcla única: Cuando todo el molde se elabora de una sola mezcla; se utiliza para el moldeo mecanizado para producciones en serie y generalmente en gran escala. Esta es compuesta por arena de retorno enriquecida con arena fresca, lo cual le confiere buenas propiedades tecnológicas.

Mezclas de revestimiento o de cara: se aplica en el moldeo después que se completa la capa de moldeo, varía de 15 a 100 mm de espesor en dependencia del grosor de la pared de la pieza que entra en contacto con el metal fundido. Esta es compuesta por arena fresca y se utiliza para evitar la penetración o como enfriador. Esta se emplea junto con la mezcla de relleno la cual completa el volumen restante en la caja de moldeo.

Mezcla de relleno: esta es compuesta por un 100 % de arena de retorno enriquecida con aglutinantes y aditivos, se usa como relleno sobre la mezcla de cara o para completar la caja de moldeo.

En dependencia del tipo de mezcla en un análisis muy general podemos decir que después de mezclados los ingredientes, el conjunto debe poseer plasticidad, fluidez y cierto grado de desmenuzamiento. En cambio después de moldeada la plantilla (modelo) o el macho, la mezcla debe ser resistente, poseer cierta dureza y estar en capacidad de contrarrestar el efecto erosivo del metal líquido sobre la superficie. Finalmente es necesario que posea cierta flexibilidad en el proceso de contracción de la pieza fundida y una alta capacidad de disgregación (desarenado) durante el desmoldeo. [4]

Todo ello realizando un intenso proceso de transferencia de calor, evacuando un considerable volumen de gases y en contacto directo con un metal a altas temperaturas.

1.3 Acción aglutinante de las arcillas de moldeo

El comportamiento de las arcillas como material aglutinante de los granos de arena en las mezclas de moldeo ha sido ampliamente estudiado con el uso de rayos X, análisis térmico diferencial, mediante el estudio de su capacidad de cambio iónico y otros métodos. Hoy sabemos que la capacidad aglutinante de una arcilla está dada, fundamentalmente, por la forma y el tamaño de las partículas que la componen, así como de la estructura de la propia arcilla, especialmente en lo relacionado con el tipo de enlace que se forma entre dos láminas adyacentes de la arcilla. Por ejemplo, las bentonitas son arcillas que se caracterizan por su alto poder aglutinante debido al pequeño tamaño de sus partículas y al hecho de que al unirse una capa de montmorillonita con otra, las capas de oxígeno de una quedan adyacentes a las capas de la otra, lo cuál constituye un enlace muy débil que permite la penetración del agua entre capas y, con ello, la exfoliación de la arcilla. Esto representa una alta capacidad de absorción de agua (es capaz de hincharse hasta 16 veces su propio volumen) y su capacidad de aglutinación alcanza hasta 2-7 más que cualquier otra arcilla.

En las caolinitas por el contrario, cuando se unen dos capas, una aporta átomos de oxígeno, pero la otra aporta hidróxidos, formándose así puentes de hidrógeno que dificultan la separación entre capas; por ello, su hinchabilidad es baja, ya que absorbe poca humedad entre capas, y por tanto, sus propiedades plásticas son muy inferiores a las bentonitas. Fenómenos similares ocurren en otros tipos de arcillas.

Un aspecto muy importante en el comportamiento de las arcillas como material aglutinante es su capacidad de intercambio catiónico. Las posibilidades de una

arcilla de efectuar el intercambio catiónico, o sea, la asimilación de un determinado catión en sustitución de otro, viene dado por el hecho de que, en su estructura existen irregularidades o sustituciones dentro de la red cristalina. Una sustitución típica es el cambio del Al en el octaedro de alúmina por Mg. Estos cambios provocan que las partículas no sean eléctricamente neutras, sino que posean un exceso de cargas negativas, a las cuales las compensa la partícula mediante la absorción de cationes, logrando así convertirse en una partícula eléctricamente neutra. Estos cationes entran a formar parte de la capa de difusión que rodea el núcleo de arcilla y juega un papel muy importante en la capacidad aglutinante de las arcillas, ya que ellos pueden aumentar la capacidad de hidratación de la arcilla y con ello sus propiedades tecnológicas.

Los cationes que aumentan la capacidad de hidratación de las arcillas, en orden descendente, son los siguientes: Li, Na, K, Mg, Ca, Al, y Fe. La capacidad de intercambio catiónico de una arcilla se expresa en milis equivalentes por 100g de arcilla. Para las bentonitas, este valor oscila entre 60-100 $\frac{m^* e^* q}{100g}$ y para las demás arcillas oscila de 10-40 $\frac{m^* e^* q}{100g}$. Las arcillas de tipo caolinitas tienen muy

baja capacidad de intercambio iónico, (3-15 $\frac{m^* e^* q}{100g}$). Este proceso de intercambio iónico se conoce como **activación** de las arcillas.

El proceso de activación de una arcilla es bastante complejo y muchos autores consideran que aún no está completamente estudiado. Hasta el momento las investigaciones han demostrado que el aumento de resistencia se corresponde con aquellos elementos de menor radio iónicos que forman carbonatos. Así, por ejemplo, si consideramos que el Li, con un radio iónico de 0.78 Å da una resistencia relativa de 100%, entonces la del Na será 82% (radio iónico de 0.98Å) y la del K será de 60% (radio iónico de 1.33 Å). La práctica ha demostrado que el efecto en el aumento de la resistencia se logra mediante el tratamiento con sales que forman enlaces insolubles en el calcio. En este caso están los carbonatos (Ca

CO₃), los cuales poseen muy baja solubilidad; por ello, la técnica más frecuente es el tratamiento de las bentonitas de calcio con sodio (Na₂ CO₃).

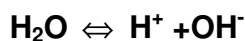
El proceso señalado anteriormente es particularmente importante en las arcillas montmorilloníticas ya que, por ejemplo, entre una bentonita de sodio y una de calcio existen propiedades tecnológicas diferentes. Así, es frecuente tratar bentonitas en soluciones que contienen cationes de sodio, los cuales son intercambiados por los de potasio o calcio, elevándose así las propiedades plásticas y de aglutinación de la bentonita. Una bentonita activada con alto grado de dispersión en sus partículas es el aglutinante arcilloso de mejores cualidades tecnológicas para la preparación de una mezcla de moldeo. Las arcillas adquieren plasticidad y capacidad aglutinante en presencia de humedad. Sin embargo, no se reconoce una teoría general que explique satisfactoriamente el fenómeno mediante el cual la arcilla, debidamente humedecida, desarrolla la acción aglutinante que mantiene unido entre sí los granos de cuarzo que forman la mezcla de moldeo. La cuestión a determinar está en el origen de las fuerzas que mantienen unidas las partículas entre sí. Sobre esto se han elaborado varias teorías entre las cuales se destacan las siguientes:

1. **Teoría de las fuerzas de tensión superficial:** Según esta teoría, las fuerzas de unión tienen su origen en la tensión superficial que desarrolla la película de agua que rodea a la arcilla y que, a su vez, ocupa los espacios capilares de la mezcla. Las fuerzas capilares aumentan al disminuir el radio de curvatura de la superficie capilar, por lo tanto, la superficie de la película de agua que rodea la arcilla actúa como una membrana plástica, estirada, que obliga a las partículas a estar unidas. Esta teoría se sustenta con un experimento en el cual se introduce arcilla seca en un globo plástico que hace la función de membrana y, a continuación, se produce vacío en el mismo. Se observa entonces que cuando el globo, producto del vacío, se adhiere a las sustancias pulverulentas, el conjunto adquiere plasticidad. Se admite entonces que en una mezcla arena-arcilla-agua, este último elemento actúa como una membrana plástica. Se han efectuado ensayos en las bolas de arcillas con resultados en el valor de la tensión superficial

del orden de $61 \frac{kg}{cm^2}$. A medida que la membrana es más delgada, mayores

son las fuerzas de tensión superficial. Tratando de corroborar esta teoría se han efectuado trabajos de investigación en el sentido de añadir sustancias que varían la tensión superficial y comprobar su efecto sobre la plasticidad pero en este punto, diferentes investigadores no han tenido el mismo resultado.

2. Teoría de la aglomeración electrostática y otras: Partiendo de los conceptos de la química coloidal, la teoría electrostática sugerida por Hause y Johnson considera que la molécula de agua sufre una hidrólisis, generando iones de hidróxidos e iones de hidrógeno, según la reacción:



Las partículas de arena absorben iones OH^- (hidróxidos). Fuera de las capas de iones hidróxidos, y atraídos por estos, se crea una segunda capa de iones hidrógeno. La partícula queda entonces rodeada por dos capas de iones, lo que ha recibido el nombre de **doble capa difusa**. La unión de las capas es tan fuerte que su comportamiento se considera similar a la de un sólido. En las miscelas de arcillas ocurre un fenómeno similar al señalado anteriormente.

El resultado final de la formación de la doble capa difusa alrededor de los granos de cuarzo y de las miscelas de arcillas, es un ordenamiento de granos y miscelas y de miscelas entre sí, debido a las cargas electrostáticas originadas por la atracción entre los iones. En conclusión, la teoría sustenta que la función de la película de agua es separar los minerales cuarzo y arcilla, desarrollando un medio de unión (la doble capa difusa) que depende del grado de polarización de los iones absorbidos. Otras investigaciones sobre la materia han sugerido diferentes teorías sobre las causas que desarrollan el efecto aglomerante de las arcillas. Entre otros, podemos citar trabajos donde se señala que las fuerzas de atracción de las partículas de los minerales arcillosos son debidas a fuerzas de enlace de Van der Waals. Otra teoría explica que la plasticidad se basa sobre un alto grado de ordenamiento de las capas de agua en contacto íntimo con las placas de arcillas. Esta teoría, expuesta inicialmente por Grim y ampliada posteriormente en los

trabajos de C. Wenninger, a ganado en aceptación en los últimos años, creando una escuela de pensamiento entre varios investigadores. Resulta también interesante una teoría que propone una configuración hexagonal para el agua que se enlaza con el oxígeno de los planos basales de las capas superficiales de arcillas. En este caso, las fuerzas de unión agua-arcilla se deberían a puentes de hidrógeno. Además de la acción aglomerante de las arcillas, la resistencia de la mezcla se incrementa según el tamaño, forma y distribución de sus ingredientes, principalmente el cuarzo. Las fuerzas de fricción que se originan entre los ingredientes de la mezcla incrementan la resistencia de la misma. Estas fuerzas serán mayores en la medida que varía la geometría de los granos. Este aspecto queda plenamente evidenciado en la práctica cuando vemos como se incrementa la resistencia de una mezcla a medida que se ligan granos de diferentes formas y tamaños. Este comportamiento, que trata de explicar en parte el fenómeno de la aglutinación, ha sido expresado en la llamada **teoría de bloque y cuña**, propuesta por Grim. [48]

1.3.1 Importancia del agua en la mezcla arena-arcilla

El tercer constituyente básico de la mezcla de moldeo es el agua. Su función principal en la misma es activar la arcilla, o sea, transmitirle características plásticas; por eso se dice que el agua es un mal necesario, ya que de la humedad de la mezcla también proviene una gran parte de los defectos en las piezas fundidas, cuando se obtienen en las llamadas mezclas **en verde**. La mezcla de moldeo adquiere resistencia mediante el apisonado, o sea, a través de la acción aglomerante de las arcillas sobre los granos de cuarzo al ser formados unos granos contra otros. Esta acción aglomerante, la arcilla solamente la puede realizar en presencia de humedad. Existirá pues, una estrecha relación entre resistencia, humedad y contenido de arcilla. Además, es evidente que existirá una humedad óptima antes de la cual no estará la arcilla debidamente saturada para desarrollar toda su capacidad de aglutinación, y más allá de la cual el exceso de humedad se interpondrá en los espacios entre granos y en la propia estructura,

debilitando la mezcla en general con la consiguiente pérdida de resistencia. Es importante saber distinguir las diferentes formas en que el agua aparece en la mezcla de moldeo. Puede formar parte de la composición de los minerales arcillosos o no. En el primer caso se conocen tres formas generales:

1. Agua de **constitución**: Se encuentra en el mineral e determinada proporción con los demás elementos y cuando es eliminada (a determinada temperatura, entre 300-700 C°), el mineral experimenta cambios importantes. El ejemplo más importante es el de la caolinita.

2. Agua de **crystalización**: Muy similar a la anterior, pero su eliminación no es un proceso irreversible, aunque afecta la calidad de la arcilla, ejemplo, el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) que pierde su agua de cristalización a 200 C°, pero si se vuelve a humedecer se convierte nuevamente en yeso. Las arcillas pierden su agua de cristalización a menos temperatura que el agua de constitución.

3. Agua **ceolítica**: Es una forma característica en que esta aparece en las montmorillonitas. El agua ceolítica no forma parte de la composición química del mineral.

El agua también está presente sin formar parte de la composición de los minerales arcillosos, sino como ingrediente de la mezcla de moldeo. En este caso se presenta de tres formas:

1. Agua de **adsorción**: Es el agua distribuida sobre la superficie de la partícula de arcilla, eléctricamente unida a ella, absorbida del medio ambiente. Una arcilla puede tomar hasta un 25% de agua de absorción.

2. Agua **capilar**: Es el agua contenida entre partículas y se entiende como tal el agua que no está retenida en la superficie de los granos de arena o de las partículas de arcilla por fuerzas de absorción, y que tampoco son eliminadas de las superficies por fuerzas superiores a la gravedad.

3. Agua **libre** o humedad libre: Es el agua que se elimina por fuerza de gravedad. En la mezcla de moldeo no existe humedad en forma libre.

Por lo tanto, cuando se seca una mezcla de arena-arcilla quiere decir que e elimina la humedad capilar y parte del agua de absorción. Si la temperatura de

secado superior a 300 C° se comienza a eliminar la humedad que forma parte del mineral y esto afecta notablemente la calidad de la mezcla, ya que influye directamente sobre el estado de la arcilla. Evidentemente, como en el proceso de obtención de las piezas fundidas, en especial de hierro fundido y acero, parte de la mezcla de moldeo es calentada a temperaturas muy por encima de 300 C°, es de suponer que un determinado por ciento de la arcilla empleada en la mezcla sufra alteraciones profundas en su estado, con la consiguiente pérdida de propiedades en la mezcla.

Este proceso, que se manifiesta fundamentalmente en una pérdida de capacidad aglutinante de la arcilla, junto con el hecho de que el total de las partículas que forman la arcilla no son sustancias capaces de desarrollar un efecto aglutinante, así como también, la ineficiencia de los equipos de mezclado, a traído como consecuencia la necesidad de reconocer en una mezcla de moldeo arena-arcilla la existencia de cuatro clases diferentes de arcilla. Estas se explican a continuación:

1. **Arcilla total:** Se conoce como tal el conjunto de partículas menores de 22 micrones y que se determina en el ensayo de lixiviación.
2. **Arcilla activa:** Parte de las partículas menores de 22 micrones capaces de desarrollar capacidad aglutinante, en presencia de agua.
3. **Arcilla efectiva:** Parte de la arcilla total que en una mezcla en concreto desarrolla resistencia mecánica. La cantidad de arcilla efectiva dependerá del grado de humedad y de la eficiencia del equipo de mezclado.
4. **Arcilla latente:** Diferencia entre la arcilla activa y la efectiva, que con una mayor humedad o un equipo de mezclado más eficiente (o con mejor mezclado) es capaz de aumentar la resistencia mecánica de la mezcla.
5. Diferencia entre la arcilla activa y la efectiva, que con una mayor humedad o un equipo de mezclado más eficiente (o con mejor mezclado) es capaz de aumentar la resistencia mecánica de la mezcla. [4]

1.3.2 Relación agua-arcilla

Los resultados del trabajo de investigación en el campo de las mezclas de moldeo demuestran que la relación agua-arcilla es un parámetro definitorio en el mecanismo de la aglutinación y, con ello, en el comportamiento y propiedades de las mezclas de moldeo arena-arcilla. En este sentido, han constituido un importante aporte los trabajos de C. Wennimger que han puesto en primer plano la teoría, mencionada anteriormente, que explica el proceso de aglutinación mediante el alto grado de ordenamiento de las capas de agua. Una explicación breve de esta teoría y los resultados de la investigación, permitirá obtener una concepción más clara de la importancia de la relación agua-arcilla en la mezcla de moldeo y del papel tan importante que desempeña el agua dentro de esta.

La teoría, en su forma más abreviada, establece que la molécula de agua, siendo un dipolo, puede tomar una autoalineación ordenada (como ocurre cuando se transforma en hielo). O sea, los extremos negativos de una molécula se unen a los positivos de otra y así sucesivamente. Este ordenamiento es posible a temperaturas por encima de 0 Cº, debido a que el ordenamiento se refuerza con la presencia de fuerzas electroquímicas en la interfase líquido-sólido. Evidentemente que, debido a la diferencia de tamaño, forma, composición y cantidad de cargas por unidad de superficie, la partícula de arcilla tendrá una participación muchísimo más activa que el grano de cuarzo en este proceso.

La película de agua sobre la superficie queda entonces concebida como una serie de capas bipolares superpuestas. A medida que el número de capas aumente, la adhesividad, orientación, el grado de alineamiento y la rigidez de las capas disminuirá, ya que las fuerzas superficiales se hacen menos efectivas. Las primeras capas, fuertemente adheridas a la superficie y con alto grado de ordenamiento, se han denominado **agua rígida** ya que su comportamiento se estima similar a la de un sólido. Las laminillas de arcilla y sus capas de agua rígida adheridas, se comportarán como un conjunto integral en respuesta a las cargas externas. Por lo tanto, la capacidad aglutinante de cada laminilla será una función

del cociente agua-arcilla. La cuestión queda centrada entonces en saber la relación que existe entre el número de capas y las propiedades de la mezcla de moldeo.

Con respecto a la relación agua-arcilla, trabajos de investigación previos habían demostrado que para una relación agua-arcilla de 0.15, ya la primera capa está totalmente formada. La segunda capa se obtiene alrededor de la relación 0.3, la tercera a 0.45 y la cuarta a 0.6. Las capas sucesivas ya no se comportan como agua rígida, debido a la distancia que se encuentran de la superficie del sólido. Como es de suponer, el acomodo de cada capa de agua rígida implica un hinchamiento de la arcilla y del sistema en su conjunto. Así, por ejemplo, se sabe que la celda unitaria de bentonita mide 9.5 \AA , en la dirección en que se expande y que cada capa de agua rígida incrementa este valor en 3 \AA , aproximadamente. Esto es muy importante, ya que convierte el valor de la densidad de la mezcla en un índice capaz de determinar el momento en que la unión entre los ranos de arena y partículas pierde (o gana) una capa. O sea, si esto se cumple, entonces confirma la teoría de que las cargas superficiales que existen en los granos de arena y en las laminillas convierten a los pequeños incrementos (o pérdidas) de humedad en una estructura molecular ordenada (agua rígida) lo cual crea las condiciones para que la mezcla posea un punto de mínima densidad.

En el punto de mínima densidad existirá una relación determinada agua-arcilla. Este corresponderá, necesariamente, con un máximo de agua rígida. De la misma forma quedará establecido que la obtención de un valor de plasticidad que se alcance en determinada arcilla, para un determinado contenido de agua, corresponde a la mínima densidad para ese punto. Los resultados de la comprobación práctica de esta teoría demostraron no solamente de los mínimos de densidad, sino también que cuando se somete la mezcla a un conjunto de ensayos de laboratorios, cada variación en el número de capas corresponde a un comportamiento característico de cada una de las curvas que representan las propiedades de la mezcla. Es así, que si tomamos una mezcla arena-arcilla-agua y la sometemos a un proceso de mezclado continuo, de manera que vaya

perdiendo humedad progresivamente y vamos tomando muestras que se someten a ensayos de resistencia en seco, resistencia en verde (a densidad constante), resistencia al cizallamiento, permeabilidad y densidad de la probeta, obtendremos resultados que nos permitirán establecer que cada variación en las propiedades corresponde un cambio en el número de capas de agua rígida o a su equivalente, la relación agua-arcilla. [48]

1.3.3 Ensayos de laboratorio

A partir de la teoría del agua rígida y de los trabajos desarrollados por Wenninger se alcanzó una concepción más clara sobre los mecanismos de aglutinación en verde de las mezclas de moldeo. Al mismo tiempo, se presta una particular atención a los ensayos de Compactibilidad, resistencia a la compresión en verde y humedad, como índices más representativos de dicho proceso de aglutinación. Se demuestra la relación que existe entre estos ensayos y las consecuencias de los trabajos de Wenninger. Se hace particular énfasis en el ensayo de compactibilidad por considerarlo de aplicación limitada.

Palabras claves: Compactibilidad, compresión en verde, agua rígida, aglutinación. La teoría del agua rígida de forma resumida, puede expresarse así: se sabe que el hecho de que la molécula de agua sea un dipolo, le permite su auto alineación ordenada a temperatura de congelación (los polos negativos de una molécula se unen a los positivos de otras y así sucesivamente). Esto también es posible a temperatura ambiente, debido a que en su estado líquido el ordenamiento del dipolo se refuerza con la presencia de fuerzas electroquímicas similares a las que se originan en la interfase líquido-sólido. Esto quiere decir que una película de agua sobre la superficie de un sólido (grano de arena), puede concebirse como una serie de capas de moléculas de polares superpuestas. Es evidente que a medida que la

distancia desde la superficie aumenta, la orientación, el grado de alineación y la rigidez de las capas disminuyen, ya que las fuerzas superficiales son menos efectivas. A cierta distancia, ya las capas poseen un grado de desorden molecular tal que se comportan como un líquido a temperatura ambiente. En cambio, las primeras capas (4 como máximo) fuertemente adheridas a la superficie y con un elevado grado de ordenamiento, se comportan como un sistema rígido. Por esa razón, se le ha denominado agua rígida. [48]

Ahora bien, de los dos oponentes sólidos de la mezcla convencional en verde, la arcilla posee un grado de dispersión mucho mayor que la arena, lo cual implica una mayor concentración de cargas en la superficie de la laminilla de arcilla. Por lo tanto, en la unión húmeda entre láminas de arcilla y granos de arena, las primeras serán las que determinarán la cantidad y posición del agua rígida. Por ello, muchos investigadores consideran correcto emplear el término de entidades agua-arcilla al referirse al elemento aglutinante en las mezclas de moldeo tradicional en verde. Partiendo de los conceptos anteriores, Wenninger dedujo y demostró que las entidades agua arcilla deberían comportarse como un conjunto integral en respuesta a las cargas externas. Siguiendo el mismo razonamiento, debía esperarse que las variaciones en el contenido de humedad produjeran variaciones correspondientes en la resistencia mecánica de la mezcla en verde y en su densidad. Para ello, propuso la molienda continua de la mezcla a partir de valores altos de humedad. Lo anterior, como es de suponer, debía suceder cuando el contenido de humedad del sistema fuera tal que la aglutinación respondiera a la teoría del agua rígida, o sea, entidades agua-arcilla actuando como un sólido flexible, alrededor de los granos de arena. [21]

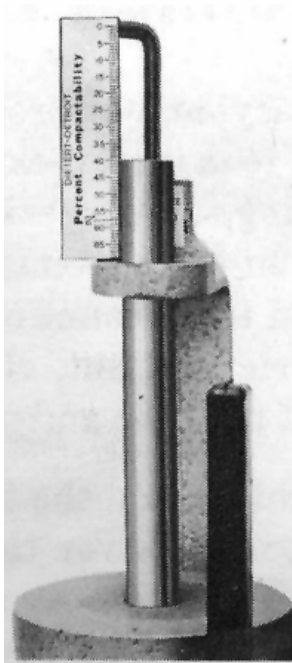


Fig.2 Escala para la lectura directa de Compactibilidad.

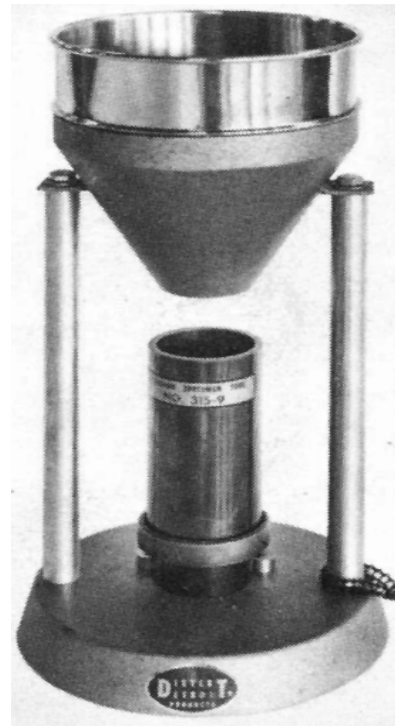


Figura 1. Dispositivo para el llenado del cilindro donde efectúa el ensayo de compactibilidad.

Presentes en la mezcla de moldes capaces de absorber humedad, aunque no posean capacidad aglutinante. Lo anterior abarca aditivos, arcilla quemada (en arenas de retorno), arcilla viva, etc. Por ejemplo, la arcilla quemada (Muerta) no aglutina, o sea, no participa en la resistencia, pero es capaz de absorber humedad. Por esa razón algunos prefieren denominar a la arcilla activa como arcilla disponible, aunque aquí el término arcilla tiene más bien un carácter general. Así pues, el gráfico de Volkmar para determinar arcilla activa se refiere al conjunto de sustancias que de una forma u otra pueden desarrollar capacidad aglutinante en dependencia, sobre todo, de la calidad del proceso de mezclado. Ahora bien, de ese conjunto aquella porción que después del mezclado y de la

correspondiente adición de agua desarrolla capacidad aglutinante es la que se conoce como arcilla efectiva. Por ese motivo, se reconoce como un índice de la eficiencia del proceso de mezclado el resultado de dividir el valor de la arcilla efectiva entre la arcilla activa, multiplicado por 100. O sea, mientras más eficiente y enérgico sea el mezclado menor será la diferencia entre ambos contenidos de arcilla. Naturalmente, en el proceso de mezclado influyen otros factores que actúan sobre la eficiencia (estado técnico de la mezcladora, temperatura, fenómenos de segregación, etc.). Por ejemplo, se considera que por encima de 45-50°C de temperatura en la arena la aglutinación se dificulta y a más de 70°C, prácticamente no se produce. Por esa razón adquiere cada vez mayor importancia el valor del cociente arena/metal con el que se obtiene una determinada pieza fundida (Pickrell, K. C. et al., 1999). Todo lo anterior tuvo una influencia considerable en el diseño y construcción de nuevos modelos de equipos de mezclado.

Sobre el ensayo de compactibilidad es conocido que el índice de compactibilidad está directamente relacionado con el consumo de energía necesario para producir un molde o un macho. O sea, está relacionado con el comportamiento de la mezcla de moldeo en la operación de producir el llamado molde de arena. Esto Equivale a decir que, en cierta medida, de esta propiedad depende la productividad de moldeadores y macheros.

Conceptualmente, la compactibilidad de una mezcla de moldeo es la propiedad que mide la deformación que ésta experimenta, en verde, cuando por efecto de cargas externas sufre una deformación de tipo plástico. El objetivo del ensayo de desmoldeabilidad es medir la magnitud, expresada en porcentaje, de dicha deformación.

El ensayo más universalmente aceptado de compactibilidad consiste en llenar un tubo normalizado (4,75 pulgadas de altura y 2 pulgadas de diámetro interior, según la norma AFS), con mezcla de moldeo desmenuzada (cribada). Con ese fin, la mezcla que ha de llenar el tubo primero se hace pasar por un tamiz (0,07

pulgadas de luz) montado a una altura constante sobre el tubo. A este fin, y según se muestra en la Figura 1, se recomienda construir un dispositivo compuesto de un embudo con un fondo de igual diámetro que el tubo de ensayo colocado debajo de él. La parte superior del embudo lo constituye un tamiz de 0,075 pulgadas de luz. Luego de llenado el tubo con la mezcla de moldeo suelta (tamizada) se debe enrasar el borde superior del mismo para eliminar el exceso de mezcla. Posteriormente, se compacta la mezcla contenida en el tubo mediante 3 golpes del pisón adon de probetas. La distancia desde el borde superior del tubo hasta la superficie de la mezcla compactada, expresada en porcentaje de la altura del tubo, es la medida de compactibilidad de dicha mezcla. Se puede colocar una regla graduada en la parte superior del pisonador, con la cual se determina la distancia a la superficie de la mezcla compactada (Fig. 2) y obtener directamente el porcentaje de compactibilidad. Como hemos señalado antes, este ensayo posee un significado práctico portante. En primer lugar, como el ensayo es independiente de la gravedad específica de la arena (tipo de arena), resulta más representativo que el ensayo de densidad a granel para medir el requerimiento de humedad en una mezcla, de moldeo. Por otra parte, su sensibilidad está dada por el hecho de que al variar el contenido de humedad de la mezcla el espesor del recubrimiento de agua-arcilla variará consecuentemente y con ello la respuesta a las cargas externas del sistema en su conjunto. La correlación demostrada entre la resistencia a compresión en verde y la compactibilidad para definir el aglutinante que realmente trabaja en la mezcla de moldeo (arcilla efectiva), ha llevado a algunos investigadores a proponer un valor o índice de aglutinación expresado por el producto de la resistencia a compresión en verde y la compactibilidad. Este índice se considera un parámetro útil para el control de las mezclas de moldeo en la planta procesadora. [21]

Sobre la resistencia en verde y la humedad se ha visto que el ensayo de compactibilidad reproduce la forma en que un volumen fijo de mezcla de moldeo reacciona ante una entrada fija de energía, lo cual con bastante aproximación reproduce la acción que una máquina de moldear realiza sobre un volumen de

mezcla colocado dentro de una caja de moldeo. A su vez, esta entrada de energía es lo que confiere a la mezcla de moldeo resistencia en verde, lo que está directamente relacionado con la relación agua/arcilla existente en la misma. Esta relación es íntima en tanto sólo en presencia de agua es que la arcilla (o bentonita) desarrolla su capacidad plástica (aglutinante). Además de esto, en el sistema pieza fundida-molde la humedad de la mezclas constituye en el principal agente regulador del enfriamiento y la extracción del calor. A partir de esto último, no es difícil comprender que para un área determinada de moldeo-colada el consumo de agua se relaciona directamente con la producción anual de piezas fundidas de dicha área. El contenido de humedad debe ser rigurosamente controlado mediante el ensayo correspondiente, por cuanto el agua presente en la mezcla es una de las principales fuentes de defectos en las piezas fundidas. Se estima que con excepción de la granulometría de la arena, la humedad de la mezcla tiene influencia, directa o indirecta, en el resto de las propiedades de las mezclas de moldeo. [21]

1.3.3 Arcillas de fundición

Es un mineral formado por partículas muy finas del orden de micrones que se introduce a la mezcla y en unión del agua adquiere plasticidad y determinada capacidad aglutinante, y con cierta estabilidad termoquímica permite al mezclarla con los granos de arena formar un material de moldeo capaz de resistir las exigencias tecnológicas que requiere el proceso.

El componente principal es el silbato de alúmina hidratado.

1.3.4 Clasificación

Según la composición mineralógica (las más usadas):

Arcillas cuyo mineral básico es el caolín (se representa K)

Arcillas cuyo material básico es la montmorillonita (bentonita) se representa M.

Caolinitas su forma aproximada es $(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O)$ con temperatura de fusión (1750-1787°C).

A (350-580°C) la metacaolinita se transforma en una sustancia amorfa y la alúmina se separa del cuarzo.

(1200-1280°C) se descompone y pierde su capacidad aglutinante.

Su hinchabilidad es baja (en comparación con la bentonita) esto se debe a que al ponerse en contacto con el agua y unirse dos capas de arcilla una aporta átomos de oxígeno pero la otra átomos de hidróxidos OH^- formándose entre si fuentes de hidrogeno que dificultan el paso del agua entre estas.

Por su alta refractariedad se usan para piezas de hierro y acero con alto punto de fusión y generalmente acompañado de otro aglutinante (melaza, aceite de linaza, vidrio líquido). [48]

1.3.5 Características de las arcillas

Como arcilla principal tenemos a La Bentonitas. $(Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O \cdot NH_2O)$.

Desde el punto de vista de su capacidad aglutinante estas son las más usadas.

Temperatura de fusión (1250-1300°C)

A 100°C pierde el 18% de su agua constitucional restante.

Entre (100-500°C) pierde el 4% de su agua constitucional restante.

A 750°C se destruye la redícula y pierde totalmente su capacidad aglutinante.

Sus partículas son muy pequeñas.

En presencia del agua las capas de bentonita se unen por medio de iones de oxígeno lo que constituye un enlace muy débil la entrada de agua con la cual desarrolla un alto poder aglutinante y excelentes propiedades plásticas.

Su contenido en la mezcla, por lo general, es más bajo que el de las demás arcillas lo que las hace más económicas. Es capaz de hincharse hasta 16 veces su volumen inicial. Su capacidad de aglutinación alcanza de 2-7 veces más que cualquier otra arcilla.

Aplicación.

Es la arcilla por excelencia y se puede usar para todo tipo de mezcla. Para cada tipo de arcilla existirá una cantidad de humedad óptima con la cual se logrará el máximo de adhesividad arcilla-agua y esta a su vez recubrirá los granos de arena. [48]

1.3.6 Mercado de las arcillas

Las arcillas se representan mediante cifras y letras. El conjunto constituye la marca de la arcilla. Estas cifras y letras designan el género (por el índice de resistencia a compresión en verde), la clase (por el índice de resistencia a compresión en seco) y la variedad (por la composición mineralógica y el poder refractario).

Tabla 1.1 Clasificación de las arcillas.

	Capacidad aglutinante	Género (Resistencia en Verde)	Clase (Resistencia en seco)
1	Fuerte	I	1
2	Media	II	2
3	Débil	III	3

Por el poder refractario se dividen en: TI-elevado, TII-medio, TIII-bajo

Ejemplo:

Una arcilla de moldeo que se designa por la letra K III/2 T2 posee las características siguientes: pertenece a la variedad de arcillas caoliniticas (K); con una refractariedad media (T), pertenece al genero III, lo que indica poca capacidad aglutinante en verde (entre 0.5 y 0.8 kg/cm²) y pertenece a la clase 2, que representa una capacidad aglutinante media en seco (3.5 y 5.5 Kg./cm²).[48]

1.3.7 Componentes arcillosos de las arenas refractarias

Las arenas refractarias mas utilizadas son la sílice, cromita, etc, En la composición de la arena existen impurezas que afectan sus propiedades disminuyendo la refractariedad y formando elementos de fácil fusión que provocan la penetración, estos conforman el componente arcilloso son:

Feldespatos: son silicatos doble de alúmina ($\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3$) ligados con un material alcalino; poseen menos dureza y refractariedad que el cuarzo (1170-1550 °C).

Micas: silicatos doble hidrato de alúmina con cierta cantidad de Fe, Mn ($\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}\cdot \text{K}_2\text{O}$) y su punto de fusión es inferior al del cuarzo.

Óxidos de hierro: Magnetita ($\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$), hematina (Fe_2O_3) al ponerse en contacto con el metal liquido y calentarse estos se descomponen dando lugar a compuesto de bajo punto de fusión que pueden provocar la penetración haciendo que aumente la rugosidad superficial de las piezas hasta rechazarlas.

Carbonatos: al descomponerse a (500-900°C) provocan una notable disminución de la refractariedad de la arena provocando grandes defectos en las piezas fundidas.

1.3.8 Aglutinantes

Además de las arcillas, en las mezclas de moldeo, se emplean una serie de sustancias de origen orgánico e inorgánico, que tienen la función de unir los granos de arena entre sí, con mayor efectividad que la arcilla, para darle mayor resistencia mecánica a la mezcla tanto en verde como en seco; estas sustancias se conocen con el nombre de aglutinantes.

Para que una sustancia se considere como un material aglutinante satisfactorio, debe cumplir las siguientes exigencias:

Distribuirse uniformemente por toda la superficie de los granos de arena y adherirse fuertemente a los mismos.

Conferirle a la mezcla alta resistencia, tanto en verde como en seco.

La mezcla preparada con el aglutinante debe poseer propiedades plásticas y no debe adherirse a la plantilla o caja de macho. Poseer baja higroscopicidad. Generar la menor capacidad posible de gases y brindarle colapsabilidad a la mezcla durante la solidificación. La mezcla debe ser desmoldeable. Producir piezas limpias, sin penetración y sin refractitos. [4]

1.4 Características de la producción del vidrio

El vidrio fue líder sólido, sin rival, para los alimentos y productos químicos y para almacenaje en general, hasta el siglo XVIII cuando se inventó el bote de hojalata. Se han encontrado restos de vidrio desde 7000 a.C. y la primera fábrica en el 1500 a.C. en Egipto. La razón porque los antiguos podían hacer fácilmente el vidrio residía en que los materiales que necesitaban (caliza, carbonato sódico y sílice o arena) los tenían en abundancia. Juntándolos se lograba un vidrio claro, fácil de moldear en caliente.

Es ideal para ser reutilizado pues resiste temperaturas de hasta 150^o C, lo que facilita el lavado y la esterilización. Justamente el grosor de las botellas

retornables de vidrio se justifica por la necesidad de que resista mejor el lavado, el rellenado, y el retapado, alargando la vida útil del envase.

Es 100 % reciclable, no perdiéndose material ni propiedades en este proceso y posibilitando un importante ahorro de energía con relación a la producción. Cada tonelada de vidrio reciclado deja de usar aproximadamente 1,2 toneladas de materia prima virgen.

Hoy en día es uno de los materiales más costosos dentro de los usados para envases. Se ha tornado caro tanto en su producción, distribución y recuperación. En el proceso de producción los envases de vidrio utilizan mucha energía. En la fase de distribución los envases de vidrio tiene un alto costo energético de transporte, pues estos envases son de los más pesados, demandando una importante fuerza motriz, en general muy contaminante al usar combustibles derivados del petróleo.

Su manipulación acarrea cierta peligrosidad porque se corren riesgos de rotura que pueden generar cortes y lastimaduras a distintas personas a lo largo del ciclo del vida del envase. En particular los funcionarios municipales encargados de la recolección de basura padecen estos accidentes cotidianamente, generando además del problema sanitario un importante incremento en el costo laboral de las intendencias.

Se estima que una botella de vidrio demora cientos de años en ser depurada por la naturaleza. En la medida que los envases de vidrio eran casi todos retornables, su inalterabilidad al paso del tiempo era una virtud. Pero si el envase es descartable, y además no se recupera, entonces esto sí es un problema.

1.4.1 Procesos de fabricación

Materia Prima: arena, sosa, caliza, componentes secundarios y, cada vez en mayor medida, casco de vidrio procedente de los envases de vidrio reciclados.

Se funden a 1700C^o. El vidrio obtenido, aún en estado fluido y a una temperatura de unos 900C^o, es distribuido a los moldes donde obtienen su forma definitiva. Posteriormente, se traslada a un arca de recocido en la que, mediante un tratamiento térmico, se eliminan tensiones internas y el envase de vidrio adquiere su grado definitivo de resistencia.

1.4.2 Resistencia

La resistencia de los envases de vidrio es realmente sorprendente en algunos casos. Está determinada por los siguientes puntos: forma del envase, distribución de vidrio y grado de recocido. Al tener algún defecto en su resistencia, pueden ocurrir distintos tipos de fractura: por impacto, por choque térmico o por presión interna; todas ellas originadas por una descompensación en las fuerzas de tensión interna.

Las imperfecciones en los envases de vidrio no sólo provocan rupturas, sino muchas otras consecuencias, como defectos en las máquinas que las manejan, defectos de apariencia o reacción en el contenido.

1.4.3 Envases de vidrio y el medio ambiente

A lo largo de su historia, el vidrio ha demostrado ser uno de los envases más respetuosos con el medio ambiente. No sólo por el hecho de ser 100% reciclable un número indeterminado de veces. Surge de materias primas abundantes en la naturaleza, mediante un proceso de extracción sencillo y no contaminante.

Posee unas características físico-químicas que le hacen no interferir con las propiedades de los productos que contiene. Por otra parte, su degradación química y su erosión física son muy lentas, no liberando sustancia alguna que pueda resultar perjudicial para el entorno. Además, para su fusión, se puede emplear cualquier tipo de energía. Por todo ello, el vidrio es el envase ecológico por naturaleza.

Reciclaje: en esta industria del reciclaje cuenta mucho, puede reducir en forma espectacular su factura energética y la preocupación por el medio ambiente que le da competencia sobre el ambiente del embalaje de plástico. Actualmente el uso de envases retornables hace considerar su aplicación ecológica, pues éstos deben ser capaces de soportar el repetido uso sin dañarse. Así el costo por viaje tienda-hogar debe ser poco estos se pueden usar hasta 30 veces teniendo un costo muy pequeño, la alternativa es reducir el peso y resistencia de la botella al mínimo requerido para un viaje. Por lo tanto, los envases no retornables tienen dos tercios de la resistencia del retornable.

1.4.4 Utilización actual de los fragmentos de vidrio

El destino fundamental de los fragmentos de vidrios reciclados por las Entidades de la UERMP de las provincias orientales era como materia prima en la producción de artículos de vidrio en la Fabrica Antonio Maceo Grajales de la Provincia de las Tunas. Debido al redimensionamiento de esta industria en Cuba se decidió en cierre de esta empresa, lo que ha provocado una acumulación de fragmentos de vidrios superior a las 4 500 ton, las cuales se encuentran ocupando los patios de recuperación de las bases de las entidades de la UERMP, entorpeciendo de esta manera la recuperación de otras materias primas y materiales con una influencia negativa al medioambiente, sin haber encontrado aun la explotación en la industria de estos desechos.

Conclusiones

Las búsquedas bibliográficas realizadas han demostrado que el polvo de vidrio como sustituto de las arcillas refractarias no ha sido utilizado con anterioridad en ningún método de moldeo utilizado en los procesos de fundición de metales ferrosos y no ferrosos.

CAPÍTULO: 2

METODOLOGÍA DE PREPARACION DEL POLVO DE VIDRIO COMO SUSTITUTO DE LAS ARCILLAS REFRACTARIAS.

Introducción

En este capítulo se expone en detalles todos los elementos que componen la metodología de tratamiento del polvo de vidrio en molinos de bolas, obteniendo la granulometría necesaria para ser utilizado como sustituto de las arcillas refractarias, así como la tecnología de preparación de mezclas de moldeo utilizando el polvo de vidrio y los análisis de laboratorio para demostrar que el polvo de vidrio es factible para sustituir la bentonita.

La utilización del polvo de vidrio en el proceso de fundición de metales ferrosos y no ferrosos como sustituto de la Bentonita. Al mezclar con polvo de vidrio la mezcla obtenida posee mayor refractariedad por ser obtenido de un material ya fundido y por esta misma causa se obtiene una mezcla mas funcional con mejores resultados al preparar los moldes, siendo además un material mucho más barato, lo que implica la obtención de fundidos más competitivos, sostenibles y sustentables. Para demostrar esto es necesario hacer varios ensayos de laboratorio como es la resistencia a compresión y la humedad.

Desarrollamos una metodología que utiliza por primera vez el polvo de vidrio como componentes alternativos en la mezcla de moldeo para artículos de metales ferrosos y no ferrosos

Para la utilización de los fragmentos de vidrio como componentes de las mezclas de moldeo, éste se tritura previamente en un molino de bolas, para obtener una granulometría adecuada. La granulometría obtenida del vidrio garantiza la sustitución de la Bentonita en la mezcla de moldeo. Los fundidos obtenidos con esta mezcla son más competitivos, sostenibles y sustentables.

Los objetivos de la presente invención es la obtención de fundidos más competitivos, sostenibles y sustentables, a partir de la utilización de el polvo de vidrio como componentes alternativos en la mezcla de moldeo para artículos de metales ferrosos y no ferrosos e influir positivamente en el medioambiente al darle un destino industrial a la gran cantidad de fragmentos de vidrios que se acumula por día en los patios de las entidades de la UERMP.

2.1 Características Metodología del tratamiento en molinos de bolas de los fragmentos de vidrio

El Molino de bolas es una herramienta eficiente para la pulverización de muchos materiales en polvo fino. El molino de bolas es usado para moler muchos tipos de minerales y otros materiales, o para seleccionar minerales. Es ampliamente usado para materiales de construcción, industria química, etc. Cuenta con dos tipos de pulverización: el proceso seco el proceso húmedo. Puede ser dividido en tipo tubular y tipo fluido de acuerdo con las diferentes formas de descarga de material.

Aplicación

El Molino de bolas es un equipo clave para la repulverización. Es ampliamente usado para cemento, productos de silicato, nuevos tipos de materiales de construcción, materiales a prueba de fuego, fertilizantes químicos, metales negros y no ferrosos, vidrio, cerámicas, entre otros. Nuestro molino de bolas puede moler minerales u otros materiales que pueden ser molidos tanto por proceso húmedo como por proceso seco.

Principio de trabajo

Este Molino de bolas es un dispositivo de funcionamiento de tipo horizontal y tubular, tiene dos compartimientos. Esta máquina es de estilo de molienda y su exterior funciona a través de un engranaje. El material ingresa espiral y uniformemente al primer compartimiento de la máquina de molienda a través del eje del espacio de salida de materiales por medio del dispositivo de entrada de materiales. En el compartimiento, hay un tablero de escala o tablero de onda, y según las diferentes especificaciones se pueden instalar bolas de acero en el tablero de escala. Cuando el cuerpo del barril gira y luego produce fuerza centrífuga, en ese momento, las bolas de acero son llevadas hasta cierta altura y caen para moler y golpear los materiales. Después de ser molidos de forma gruesa en el primer compartimiento, los materiales entran en el segundo compartimiento para ser remolidos con las bolas de acero y el tablero de escala. Al final, el polvo es descargado por el tablero de salida de materiales y el producto final está terminado.

Características y beneficios.

Esta máquina consta de una parte de alimentación, parte de descarga, parte de transmisión, (desacelerador, pequeño engranaje de transmisión, generador, control eléctrico) entre otros. El espacio del eje adopta acero fundido y el forro puede ser reemplazado, el engranaje grande rotatorio es procesado desde el engranaje fundido giratorio. El cuerpo del barril es bien usado y soporta tableros de escala. Esta máquina funciona continuamente y trabaja confiablemente.


Tabla: 2.1 Especificaciones del molino de bolas.

Modelo	Velocidad Giratoria (r/min.)	Peso	Tamaño de grano alimentación máximo (mm)	Tamaño de grano de material salido (mm)	de Capacidad (t/h)	Potencia (Kw.)	Peso (T)
$\Phi 1830 \times 3000$	24	11	≤ 25	0.075-0,001	4-10	180	28
$\Phi 1830 \times 6400$	24	23	≤ 25	0.075-0.4	6.5-15	210	34
$\Phi 1830 \times 7000$	24	25	≤ 25	0.075-0.4	7.5-17	245	36
$\Phi 2200 \times 5500$	21	30	≤ 25	0.075-0.4	10-22	370	48.5
$\Phi 2200 \times 6500$	21	30	≤ 25	0.075-0.4	14-26	280	52.8
$\Phi 2200 \times 7500$	21	33	≤ 25	0.075-0.4	16-29	475	56
$\Phi 2400 \times 3000$	21.6	25.8	≤ 25	0.075-0.4	7.8-18	245	59.2

2.2. Selección del molino y pulverización del vidrio

Teniendo en cuenta que estadísticamente se ha demostrado que se generan mas de 1600 ton mensuales de fragmentos de vidrios y envases pequeños no reciclables con un tamaño promedio de ≤ 25 mm, en el país y que con un grano de 0,001 mm se alcanza la máxima colapsibilidad de la arcilla refractaria, seleccionamos el molino de bolas modelo $\Phi 1830 \times 3000$ con una velocidad giratoria de 24r/min., un tamaño de grano de alimentación máximo ≤ 25 mm, tamaño de grano de material salido 0.075-0,001 mm y una de capacidad 4-10 t/h. (Tabla:2.1).

2.2.1. Instrucción tecnológica para el pulverizado de fragmentos de vidrio

	INSTRUCCIÓN	Código: IT 4.5.1-12
	PULVERIZADO DE FRAGMENTO DE VIDRIOS.	Revisión: 00 Fecha: 01/03/2009 Página: 1 de 6

INDICE

- 1.0 Objetivo.
- 2.0 Alcance.
- 3.0 Definiciones.
- 4.0 Responsabilidades.
- 5.0 Referencias.
- 6.0 Desarrollo.
 - 6.1 Materiales y equipos a utilizar.
 - 6.2 Preparación para comenzar la actividad.
 - 6.3 Secuencia ordenada de las operaciones a realizar.
 - 6.4 Frecuencia de ejecución.
- 7.0 Registros

OBJETIVO

Establecer las principales operaciones en el proceso de pulverizado de fragmentos de vidrios.

ALCANCE

Abarca el proceso de de pulverizado de fragmentos de vidrios.

DEFINICIONES

No se aplica.

RESPONSABILIDADES

4.1 El jefe de brigada de preparación de mezcla es el responsable de hacer cumplir lo establecido en esta instrucción.

REFERENCIAS

5.1 PG 1.2.4-04 "Control de los Registros".

DESARROLLO

6.1 Materiales y equipos a utilizar.

6.1.1 Materiales.


➤ Bolas de acero al Mn.

6.1.2 Equipos.

➤ Grúa de puente 3.2 ton.

➤ Molino de Bolas Modelo $\Phi 1830 \times 3000$.

➤ Carretilla.

	INSTRUCCIÓN	Código: IT 4.5.1-12
	PULVERIZADO DE FRAGMENTOS DE VIDRIOS	Revisión: 00 Fecha: 01/03/2009 Página: 3 de 6

6.1.3 Instrumentos.

- Mandarina.
- Martillo.

Preparación para comenzar la actividad.


Romper los fragmentos grandes a golpe de mandarina o martillo según corresponda.

Seleccionar los fragmentos y llenar las cajas.

6.2.3 Trasladar las cajas del área de almacenamiento de los fragmentos de vidrio al área del molino de bolas Modelo $\Phi 1830 \times 3000$.

6.2.4 Carga del molino de acuerdo a la documentación tecnológica.

Secuencia ordenada de las operaciones a realizar.

	INSTRUCCIÓN	Código: IT 4.5.1-12
	PULVERIZADO DE FRAGMENTOS DE VIDRIOS	Revisión: 00 Fecha: 01/03/2009 Página: 4 de 6

6.3.1 El molino de bolas Modelo $\Phi 1830 \times 3000$ se carga con fragmentos de vidrios de un tamaño de grano de alimentación máximo ≤ 25 mm

6.3.2 Las piezas se colocaran en el cesto del molino de bolas y la carga introducida no podrá exceder en su totalidad de 400 Kg.

6.3.3 Introducir 100-200 bolas de en el cesto del tambor.

6.3.4 Adicionar la carga poniendo en funcionamiento el cesto del molino.

6.3.5 Cerrar la puerta del molino.

6.3.6 Poner en funcionamiento el extractor de polvos.

6.3.8 Poner en funcionamiento el molino.

6.3.9 Mantenerlo funcionando por espacio de (10 a 15) minutos y luego apagar todos los equipos y mecanismos.

6.3.10 Colocar la carretilla con el parle debajo de la puerta de descarga del molino.

6.3.11 Abrir la puerta de descarga del molino.

6.3.13 Extraer el polvo poniendo en funcionamiento el molino de forma tal que estas caigan dentro del parle.

6.3.14 Trasladar la carretilla con el parle hasta el área de la mezcladora.

Frecuencia de ejecución


La presente actividad tiene una frecuencia diaria.

REGISTROS

Estos registros se controlan según lo establecido en el PG 1.2.4-04 “Control de los Registros”

7.1 R 5.2.4-xx


2.3 Tecnología de preparación de mezclas de moldeo utilizando polvo de vidrio y ensayos

	INSTRUCCIÓN	Código: IT 4.5.1-18
	ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE MOLDEO	Revisión: 00 Fecha: 01/03/2009 Página: 1 de 5

INDICE

- 1.0 Objetivo.
- 2.0 Alcance.
- 3.0 Definiciones.
- 4.0 Responsabilidades.
- 5.0 Referencias.
- 6.0 Desarrollo.
 - 6.1 Materiales y Equipos a utilizar.
 - 6.2 Preparación para Comenzar la Actividad.
 - 6.3 Secuencia Ordenada de las Operaciones a Realizar.
 - 6.4 Frecuencia de Ejecución.
- 7.0 Registros

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Leonel Cordero Mendoza. Diplomante Fundición.	Rigoberto Pastor Sanchez Tutor	Antonio Mateo Rodríguez. Director de Ingeniería.

	INSTRUCCIÓN	Código: IT 4.5.1-18
	ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE MOLDEO	Revisión: 00 Fecha: 01/03/2009 Página: 2 de 5

OBJETIVO.

Establecer los pasos a seguir para la elaboración de las mezclas de cara con el empleo de polvo de vidrio y melaza como aglutinante.

ALCANCE.

Abarca el proceso de elaboración de mezcla de cara para el proceso de moldeo en verde.

DEFINICIONES.

No se aplica.

RESPONSABILIDADES.

4.1 El Jefe de brigada es el responsable de hacer cumplir esta instrucción.

4.1 El mezclador tiene la responsabilidad de cumplir estrictamente con lo establecido en esta instrucción.

4.2 El controlador de la calidad tiene la responsabilidad de velar por que se cumpla lo establecido en esta instrucción.


REFERENCIAS.

DESARROLLO.

6.1 MATERIALES Y EQUIPOS A UTILIZAR

6.1.1 Materiales.

- Polvo de vidrio nuevo.
- Polvo de vidrio utilizado.
- Arena sílice.
- Melaza.
- Agua.

	INSTRUCCIÓN	Código: IT 4.5.1-18
	ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE MOLDEO	Revisión: 00 Fecha: 01/03/2009 Página: 3 de 5

6.1.2 Equipos.

- Grúa polipasto.
- Mecanismos de alimentación de arena a la mezcladora.
- Mezcladora de rodillos.

6.1.3 Instrumentos.

- Cubeta.
- Pala para tomar muestras.

6.2 Preparación para comenzar la actividad.

6.2.1 Todos los materiales sólidos deben estar secos.

6.2.2 Limpiar la mezcladora de los residuos de la mezcla anterior.

6.2.3 La arena para la preparación de la mezcla debe estar a temperatura ambiente.

6.2.4 Cargar la arena utilizada a la mezcladora.

6.2.5 Preparar solución de agua y melaza con la siguiente composición:

- Melaza ~ 92%.
- Agua ~ 8%.

Nota: Si la melaza contiene baja viscosidad, ésta se adicionará a la mezcla sin adicionar el agua y al final del mezclado se alcanzará la humedad requerida con la inclusión del agua.

6.3 Secuencia ordenada de las operaciones a realizar.

6.3.1 Elaboración de la mezcla de cara para el moldeo en verde.

6.3.1.1 Poner en funcionamiento el mecanismo de alimentación de arena y descargar los componentes sólidos de la mezcla a la mezcladora polvo de vidrio. Y el polvo de vidrio Utilizado).


6.3.1.2 Adicionar Arena sílice.

6.3.1.3 Poner en funcionamiento la mezcladora y mezclar durante (2 a 3) minutos.

6.3.1.4 Añadir la solución de melaza y agua hasta lograr la humedad requerida.

6.3.1.5 Mezclar por espacio de 5 minutos.

6.3.1.6 Tomar muestra y enviarla al laboratorio de arena.

	INSTRUCCIÓN	Código: IT 4.5.1-18
	ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE MOLDEO	Revisión: 00 Fecha: 01/03/2009 Página: 4 de 5

6.3.1.7 Descargar la mezcla de moldeo de la mezcladora.

6.3.1.8 Transportar la mezcla de moldeo preparada mediante las cintas a los puestos de trabajo de acuerdo con la documentación tecnológica.

6.3.1.9 Las mezclas de cara de moldeo en verde deben corresponderse con:

Tabla: 2.3 Especificaciones

Designación	Componentes	Contenido, %	Aplicación
Mezcla de cara	Polvo de vidrio Utilizado.	53.4	Moldeo manual de piezas con paredes finas de hierro gris y aluminio para producciones artísticas y otras.
	Polvo de vidrio Nuevo.	35.6	
	Arena Sílice.	6.0	
	Melaza.	4.2	
	Agua.	0.8	

6.3.1.10 Las propiedades de las mezclas de cara de moldeo en verde deben corresponderse con:

- Humedad: (3,0 a 4,5)%
- Permeabilidad: Mayor de 70 U.
- Resistencia en verde: Mayor de 0,05 Kg. /cm².

6.4 Frecuencia de ejecución.

La presente actividad tiene una frecuencia diaria.

REGISTROS.

2.4 Ensayos de laboratorio

Humedad

La humedad de una arcilla de moldeo se entiende al contenido en ella de la humedad higroscópica. Para ello, una muestra de 20g se somete a secado, a temperaturas de 105-110 Cº, hasta alcanzar el peso constante en la muestra. La humedad se determina mediante la fórmula:

$$h = \frac{G - G1}{G} \cdot 100\%$$

Donde:

G= peso inicial de la muestra, g.

G1= peso de la muestra seca,g.

La muestra se considera seca a peso constante cuando la diferencia en el resultado de dos pesadas (en las cuales la muestra se seco durante 15 min) no es superior a 0,02g

Capacidad aglutinante

La capacidad aglutinante de una arcilla viene expresada por el valor de la resistencia a compresión de una mezcla de moldeo aglutinada con dicha arcilla. El valor de la resistencia a compresión se determina en verde. La capacidad aglutinante se expresa en Kg. /cm².

Para determinar la capacidad aglutinante ,en verde , se toman 1800 g de polvo de vidrio seco,200 g de arena seca, ,y agua hasta el contenido optimo de humedad ,para el cual la resistencia es máxima (se estima que la humedad ,para máxima resistencia ,es el 27-30 % de la arcilla). Como orientación se ofrecen los valores de humedad siguiente:

Para arcilla de moldeo, 2,5 3,0 3,5 %

Para arcillas tipo bentonitas, 3,0 3,5 4,0%.

La arcilla y la arena se introducen en una mezcladota de laboratorio durante 2 min. A continuación, se añade el agua y se mezcla durante 8 min. La mezcla elaborada se coloca en una probeta e inmediatamente se procede a determinar el valor de la resistencia a compresión en verde con la escala para la lectura directa de Compactibilidad. [48]

2.5 Resultados del análisis al polvo de vidrio

Tabla: 2.5 Resultados de laboratorio

No.	FECHA	TIPO DE MEZCLA	Resist. Comp. Kg. /cm ²	% Humedad
104	22/3/09	Polvo de vidrio	0,066	3,6
106	22/3/09	Polvo de vidrio	0.071	3.1
109	22/3/09	Polvo de vidrio	0,070	3,0
113	23/3/09	Polvo de vidrio	0,068	3,3
119	23/3/09	Polvo de vidrio	0.074	3.0

El polvo de vidrio obtenido al ser tratados en los molinos de bolas presenta más de un 95% de partículas menores de 0.001 mm, con un grado de coloidalidad novedoso, al igual que la homogeneidad, con una pérdida por calcinación menor al 3.2% y una refractariedad avalada por una temperatura de fusión superior a 1700 grados Celsius. (Estos datos se reflejan en la Tabla 1 de los anexos.)

2.6 Discusión de resultados y valoración socio económica

El análisis desarrollado sobre el polvo de vidrio puede permitir llegar a índices de eficiencia competitivos que favorecen la producción, bajo las condiciones de la industria siderúrgica cubana actual, como es disminuir el costo de producción en 21,57 unidades.

Esto permitirá desarrollar de forma real los planes de sustitución de la bentonita por polvo de vidrio.

Tomando como base comparativa el comportamiento del Rendimiento Tecnológico General (Rtg) con la utilización de la metodología manual y los resultados obtenidos utilizando el polvo de vidrio, nos permite hacer medibles la eficacia y la eficiencia por separado de los factores que determinan el costo de la producción, la productividad y competitividad del semiproducto fundido con polvo de vidrio. (Tabla 2.6).

Tabla 2.6 Comparación del comportamiento de los Índices Tecnológicos

No	Parámetros	Tipo de arcilla refractaria		Eficiencia	
		Bentonita	Polvo de vidrio	unidades	(%)
4	Rendimiento Metálico (%)	85	85	-	-
5	Índice de Rechazo (%)	3	3	-	-
6	Perdida Metálica (Kg.)	85	85	-	-
7	Rendimiento Tecnológico General I (%)	72,25	72,25	-	-
8	Productividad (Kg./C.)	850	850	-	-
9	Costo (\$/Ton)	2071,688	2050,11	21,57	98.95
10	Precio (\$/Ton)	2274,41	2 252,84	21,57	99.05

El comportamiento del rendimiento metálico o la relación entre el metal neto y el metal bruto medido en por ciento es de 85, el índice de rechazo de las piezas modificadas se mantiene en 3 y la Pérdida Metálica hasta 85 Kg., obteniéndose un Rendimiento Tecnológico General de 72,25%, que unido a una productividad 850 Kg./C de metal modificado a un costo de producción de 2050,11 (\$/Ton) y comercializado al precio de 2 252,84 (\$/Ton). Demostrando que hay eficiencia en los costos de 21,57 unidades.

CONCLUSIONES

- La metodología expuesta permite la obtención del polvo de vidrio con la granulometría necesaria para ser utilizado en sustitución de la bentonita en la preparación de las mezclas de moldeo, para las condiciones cubanas.

CONCLUSIONES GENERALES

A partir de los resultados obtenidos se arriba a las siguientes conclusiones:

- La metodología alternativa expuesta permite la utilización del polvo de vidrio como sustituto de la bentonita en la preparación de las mezclas de moldeo de metales ferroso y no ferroso, para las condiciones cubanas.
- La bentonita ofertada actualmente no satisface las necesidades tecnológicas necesarias para la producción de moldes de metales ferrosos y no ferrosos.
- El molino seleccionado modelo $\phi 1830 \times 3000$ de 100 - 200 bolas satisface el pulverizado del vidrio con las exigencias tecnológicas necesarias para obtener las características y propiedades que permiten sustituir la bentonita en la manufactura de moldes de fundición de metales ferrosos y no ferrosos.

- Debido a que el polvo es de vidrio, tienen el mismo coeficiente de dilatación y contracción, permitiendo una resistencia térmica del molde homogénea con mayor resistencia y estanqueidad.

- La homogeneidad de los componentes de la mezcla permiten un calentamiento rápido por la similar conductividad térmica de sus componentes y un enfriamiento más lento, provocando una mejor estructura del fundido al obtener granos más finos.

RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos, se arriba a las siguientes recomendaciones:

- Generalizar esta metodología en el resto de las Fundiciones del País, con el objetivo de acometer a escala industrial, la utilización del polvo de vidrio en la producción de moldes para metales ferrosos y no ferrosos, como sustituto de la bentonita.

BIBLIOGRAFÍA

1. [Abramov, 1983] Abramov. A. "Manual del joven fundidor". Editorial Alta Escuela. Moscú.1983. 203 p.
2. [Alexandor, 1998] Alexandor, N. H. Control del estado del metal Líquido para la obtención de hierro con grafito esferoidal. *Liteinoe Proistbostba*. N. 3. 1998.
3. [Bakkerus, 1995] Bakkerus and Van der Holst. The T-Nock Process for Making Ductil iron. *Modern Casting Tech*. N. 711, July 1995.
4. [Malishev, 1986] A. Malishev, g. Nikolaiev, Yu. Shuvalov. Tecnología de los Metales. Moldeo especiales.

5. [Batista, 1994] Batista Cabrera, A.; *et al.* "Propiedades de Fundición de los Metales y Aleaciones". Monografía, Universidad de Holguín.1994
6. [Batista, 1999] Batista Cabrera, A. "Tecnología de desulfuración en Cazuela con el fin de obtener Hierro con grafito Esferoidal". *Ingeniería Mecánica*. N. 3. 1999.
7. [Batista^b, 1999] Batista Cabrera. A. "Utilización del Magnesio como Desulfurante y su influencia en las propiedades del HGE obtenida por el método "In-mold". *Mundo Mecánico*. N. 2. 1999.
8. [Batista^c, 1999] Batista Cabrera. A. "Influencia del Azufre en el rendimiento de las piezas de hierro nodular obtenida por el método "Ind- Mold"". *Mundo Mecánico* N. 6. 2000.
9. [Batista^a, 2003] Batista Cabrera. A; Ordóñez, U. "Selección de un nodulizante y forma y posición de una cámara de reacción para su aplicación para la obtención de hierro con grafito esferoidal por el método

- “In-mold””. *Ingeniería Mecánica*. N. 3. 2003.
10. [Batista^b, 2003] Batista Cabrera, A; Ordóñez, U. “Determinación de la granulometría del NODULANT II y el parámetro de la cámara más adecuados para la obtención del hierro con grafito esferoidal por el método “In-mold””. *Ingeniería Mecánica*. N. 3. 2003.
11. [Batista^c, 2003] Batista Cabrera, A. “Análisis y procedimientos para la obtención de hierro con grafito esferoidal por el método “In Mold” bajo las condiciones específicas de la Industria en Cuba”. *Tesis Doctoral*, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Holguín. 2003.
12. [Boletín, 2001] Boletín Técnico MI SR - ÑMI SR-2. 2001.
13. [Calcosoft, 2007] Calcosoft. Base de Datos en Línea, 2004, 2 de Marzo del 2007, <http://www.calcosoft.com>
14. [Castledine, 1998] Castledine, T. J. “Experiences in the Application of the INMOLD Process to the vertically Jointed DISAMATIC Moulding System”. DISA Convention. 1998.
15. [Cenkebich, 1999] Cenkebich, I. “Optimización de la obtención de piezas de Hierro Nodular por el método ind-mould”. *Liteinoe. Proistbostba*. N. 12. 1999. pp. 13-14. (en ruso).
16. [Chaikin, 1994] Chaikin A. A. Refinado del HGE modificado en el molde por medio De filtros Cerámicos. *Liteinoe Proistbosta*. N. 4 Año 1994.
17. [Davis, 1990] Davis, K. G. Dissolution of MgFeSi Alloy During Indmold Treatment. *British Foundryman*. N. 457. 1990.
18. [DELCAM, 2007] DELCAM. Base de Datos en Línea, 2004, 4 de Marzo del 2007, <http://www.delcam.com>

19. [Dijon, 1999] Dijon, R. H. The disolution factors for the Ind-Mould Process. *British Foundryman*. N. 8. 1999.
20. [Dunks, 1976] Dunks, C.M. "Mold Nodulizing and Continuos Stream Treatment Techniques as Operated in Europe". *Foundry Trade Journal*. 1976. N. 234.
21. [ISSN0258 5979, 2000] ISSN 0258 5979 Revista Minería y Geología Vol. XVI I, No. 3-4, 2000.
22. [Girchovib, 1982] Girchovib, N. G. Método de investigación para determinar la formación del hierro con grafito esferoidal y su valoración. Edit. Masgish. 1982. 45p.
23. [Gorshkob, 1978] Gorshkob, A. A. Acerca del formación del grafito esferoidal en las Burbujas Microscópicas durante la cristalización. Edit. Bishaia Scuola.1978.123 p.
24. [Genderevich, 1999] Genderevich N. A. "Elección del modificador para la obtención de piezas de hierro de alta resistencia modificado en el molde". *Liteinoe Proistbostba*. N. 2. 1999. pág16-17.
25. [Gibbs, 2007] Gibbs. Base de Datos en Línea, 2004, 4 de Marzo del 2007, <http://www.gibbs.com>
26. [Goyos, 1991] Goyos Pérez, L.; Martínez Reina, Elio. "Tecnología de fundición II". Editorial ISPJAE. Ciudad de la Habana.1991. 243 p.
27. [Gynsey, 2001] Gynsey. J. Co CQ (Controlled Quality Inoculation).Un proceso de alta Productividad. www.carpenterfortuna.com.mx/n-hierro.htm.Consult.2001
28. [Hughes, 1993] Hughes. S. Foundry Trade Journal. 1993. N. 487.
29. [Hity, 1998] Hity D. Electr.Furnace Proc. AIME 1998.V.27 pág 52-56.

30. [Iron, 2002] Iron Casting with Spheroidal or Nodular Graphite Specification 3rd reun. [http:// www.clickafoundry.com / specification.1](http://www.clickafoundry.com/specification.1). Consultado.2002
31. [LINCE, 2004] LINCE FUNDICION. Base de Datos en Línea, 2004, 14 de Marzo del 2004, <http://www.lince-fundición.com>
32. [Luffe, 1994] Luffe, A. "Modificación del hierro con grafito esferoidal en el molde". Liteinoe Proistbostba. N. 12. 1994. (en ruso).
33. [Karsay, 1992] Karsay, S. Producción de Hierro Nodular, 2da Edición. Edit. Titanic Inc. Comp. 1992.
34. [Kobalevich, 1999] Kobalevich, E. B. Nueva tecnología de obtención de hierro Nodular. Liteinoe Proistbostba. N. 3. 1999. p. 10. (En ruso).
35. [Mannion, 1994] Mannion, G. "Experiencias with the production of meehanite Nodular iron casting with the in-mold process. Foundry Trade Journal. Vol 137. pp. 139-147. Aug. 1994.
36. [Material, 1995] Material Didáctico sin valor comercial. FES-CAUTIPLAN. UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MEXICO. 1995
37. [Machikin, 1981] Machikin. B. I Aumento de la calidad de las aleaciones no ferrosas Edit.Kiev.1981
38. [Malishev, 1991] Malishev. A. Influencia del Silicio sobre las propiedades del HGE. Liteinoe Proistbostba No 9 Año 1991
39. [May, 1998] Mayk. C .N .Sistema de Alimentación para modificación en el molde. Liteinoe Proistbostba No 11 Año1998
40. [McCaulay, 1991] McCaulay. J. M. "Production of nodular graphite iron Casting In the In-mold Process". Foundry Trade Journal. Vol. 130. pp. 327-335. Apr. 1991.
41. [Moro. V.1983] Moro. V. M. Tecnología de materiales Correo:

- narodnaia@gmail.com. Web: <http://narodnaia.googlepages.com>
42. [Navas, 1996] Navas. E. Batista. A. Métodos de Cálculo en Fundición .Folleto Editado por la Uho. Año 1996.
43. [ProCAST, 2007] ProCAST. Base de Datos en Línea, 2007, 12 de Febrero del 2007, <http://www.procast.com>
44. [ProEngineer, 2007] ProEngineer. Base de Datos en Línea, 2004, 2 de Marzo del 2007, <http://www.proengineer.com>
45. [Sánchez R.P. 2006] El Rendimiento Tecnológico General de la producción de hierro con grafito esferoidal para el método In Mold XII Congreso Metalúrgico.
46. [Sánchez R.P. 2002] Perfil de la Empresa de Fundiciones Acero y Hierro de Holguín. Convención Internacional de los Industrias Metalúrgicas,
47. [Sánchez R.P. 2007] Mecánicas y del Reciclaje Metánica.2002. CD-ISSN 16076261. \
48. [Salcines, Díaz1973.] Salcines, Díaz, y Hernández: Tecnología de fundición, 1973.
49. [SYSWELD, 2007] SYSWELD. Base de Datos en Línea, 2004, 4 de abril del 2007, <http://www.sysweld.com>
50. [Tartera, 2002] Tartera. J. Joining and Fabrication of Nodular Iron Casting by welding. Base de Datos en Línea, 2004, 24 de Noviembre del 2002, <http://www.implog.com/foundry/books.htm>
51. [Unigraphics, 2007] Unigraphics. Base de Datos en Línea, 2004, 2 de Marzo del

2007, <http://www.unigraphics.com>

ANEXO

Tabla 1. Composición química de las arcillas de moldeo.

Nº	Tipo de arcilla	Composición química							Pérdida por calcinación	Temperatura de fusión
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O+NaO ₂		
1	Bentonita	61.5	22.1	4.2	1.74	2.27	0.22	1.56	5.8	1330
2	Caolín	55.9	29.6	1.25	1.10	0.61	1.5	1.80	9.1	1500
3	Arcilla refractaria	45.1	33.4	2.50	1.20	0.94	1.55	0.83	14.5	1500
4	Polvo de vidrio	92.8	2,2	0,8	1,30	0,90	1,50	0.50	3.2	1700



Fig. 1 Vista general de Molinos de bolas para el pulverizado del vidrio.



Fig.4 Laboratorio con reactivos



Llenando un molde



Seis moldes a la vez



Llenando un molde con arena