**SIMPOSIO INTERNACIONAL DE INDUSTRIA Y ENERGÍA**

**Caracterización de una mezcla de moldeo tipo única con elementos refractarios**

***Characterization of a molding mixture with refractory elements***

**Lázaro H. Suárez Lisca1, Norge I. Coello Machado2, Juan Carlos Cruz Pérez3**

1- Lázaro H. Suárez Lisca. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba. [lazarosl@uclv.edu.cu](mailto:lazarosl@uclv.edu.cu)

2- Norge I. Coello Machado. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba. [norgec@uclv.edu.cu](mailto:norgec@uclv.edu.cu)

3- Juan Carlos Cruz Pérez. Planta Mecánica Santa Clara, Cuba. [juanccruz@plantamec.co.cu](mailto:juanccruz@plantamec.co.cu)

**Resumen:** En la empresa Planta Mecánica la fabricación de piezas como resultado de la fundición ha disminuido notablemente en los últimos años, no sin dejar de ser una de las principales formas de producción. En este proceso se utilizan mezclas que varían en sus propiedades y composición, de acuerdo a la utilización para la cual se tenga prevista, como MC-3 Moldes con terrajas, MCE-4 (Piezas grandes de acero), MR-1 (Mezcla única), esta última mezcla está compuesta por bentonita y melaza, como aglutinantes, acompañando a la arena sílice. La utilización de esta mezcla ha quedado relegada en los últimos tiempos debido al empleo de la melaza como alimento animal. En este trabajo se realiza una caracterización de una mezcla de moldeo tipo única con la utilización de aditivos refractarios, productos de la molienda de ladrillos de chamota, desechados en las reparaciones de los hornos de la empresa. Para su confección se tuvo en cuenta una distribución similar a la mezcla MR-1 sustituyendo la melaza por dicho aditivo. En el diseño de se mantuvo constante la arena sílice y se variaron los porcientos del aditivo refractario y de bentonita, con el objetivo de determinar la mejor relación arena-aditivo-bentonita. Los resultados de los experimentos arrojaron que la mezcla con mejores propiedades es la que tiene una relación refractario-bentonita (1-9). Se realizó una prueba real con esta mezcla, utilizando una aleación de aluminio, donde se apreció un excelente resultado.

***Abstract:*** In Planta Mecanica, the manufacture of parts as a result of casting has decreased notably in recent years, not without ceasing to be one of the main forms of production. In the molding process, mixtures are used that vary in their properties and composition, according to the use for which it is intended, such as MC-3, MCE-4 (Large steel pieces), MR-1 (Unique mixture), this last mixture is composed of bentonite and molasses, as binders, accompanying the silica sand. The use of this mixture has been relegated in recent times due to the use of molasses as animal feed. In this work, a characterization of a unique type molding mixture is carried out with the use of refractory additives, products of the grinding of chamotte bricks, discarded in the repairs of the furnaces. For its preparation, a similar distribution to the MR-1 mixture was taken into account, substituting the molasses for said additive. In the design of the silica sand was kept constant and the percentages of the refractory additive and bentonite were varied, in order to determine the best sand-additive-bentonite ratio. The results of the experiments showed that the mixture with the best properties is the one with a refractory-bentonite relationship (1-9). A real test was carried out with this mixture, using an aluminum alloy, where an excellent result was appreciated.

**Palabras Clave:** Mezcla de moldeo; Material refractario; Bentonita.

***Keywords:*** Molding mixture; Refractory elements; Bentonite.

**1. Introducción**

Existen un gran número de tipos de mezclas de moldeo, la principal diferencia está en su uso, para piezas pequeñas, medianas y grandes, por ejemplo. La mezcla denominada MR1, compuesta por bentonita y melaza como aglutinantes, acompañando a la arena sílice, es una mezcla que se puede denominar única. La utilización de la melaza ha quedado relegada en los últimos tiempos, dado fundamentalmente por su utilización como alimento animal ([COMEL 2010](#_ENREF_1)).

Se han realizado numerosas investigaciones acerca del valor energético de la melaza, y tomando como referencia el valor energético del maíz americano, está mayoritariamente aceptado un valor energético para las melazas del 75% del que tiene el maíz. Por lo tanto, y desde un punto de vista exclusivamente económico, cuando el precio de la melaza sea inferior al 75% del precio del maíz, resulta interesante utilizar las melazas como fuente de energía en lugar del maíz ([COMEL 2010](#_ENREF_1)). Por tanto, su eliminación por otros elementos dentro de la fundición se hace necesario en función de lo antes mencionado

En Planta Mecánica se han desarrollado un gran número de investigaciones sobre mezclas de moldeo, cada una con una finalidad distinta, que van desde mezclas de moldeo con arcillas naturales ([Santiesteban Ruiz 2009](#_ENREF_4)) hasta mezclas con resinas furánicas utilizando catalizadores nacionales. Desde la desaparición del grupo de investigaciones propias de la empresa no se realizan estos tipos de trabajos. En aras de continuar con esta línea de trabajo se realiza esta investigación, que trata sobre la utilización en este caso de elementos refractarios en la composición de la mezcla

El objetivo principal de este artículo es determinar las principales propiedades de una mezcla de moldeo de tipo única, que sustituya a las mezclas tradicionales en la producción de aleaciones no ferrosas,

Para lograr el objetivo, se trazaron varias tareas, determinar las bases teóricas para respaldar la propuesta de la mezcla de moldeo, realizar un estudio teórico de las principales mezclas de moldeo utilizadas en Planta Mecánica, diseñar un experimento para determinar la mejor relación arena-aditivo-bentonita, y por ultimo realizar una comparación entre la mezcla propuesta y las utilizadas en Planta Mecánica teniendo en cuenta las propiedades analizadas.

**2. Metodología**

El aditivo es una sustancia que se añade a la mezcla de moldeo diferente a la arcilla ([Salcines 1980](#_ENREF_3)). En el caso de este trabajo se propone un ladrillo refractario de chamota, el cual es ampliamente utilizado en Planta Mecánica como revestimiento de las cazuelas, en este caso es un refractario con un 42% de SiO. La chamota es un material granular obtenido de la pulverización de los ladrillos, piedras refractarias, u otro producto cerámico cocido, tiene un contenido mínimo de: 40 % de alúmina, un 30 % mínimo de sílice, un 4 % máximo de óxido de hierro (III), un 2 % máximo de óxido de calcio y de óxido de magnesio en total. Su punto de fusión es de unos 1780 °C. Absorbe un máximo del 7 % de agua ([Inoriza 2003](#_ENREF_2)).

Los materiales refractarios se podrían clasificar de diversas maneras, un ejemplo de ello se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de los materiales refractarios

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Por su carácter químico | Por su composición química | Por su naturaleza química | Por su presentación | Por su finalidad |
| Ácidos  Neutros  Básicos | Sílice  Sílice-alúmina  Magnesia  Zirconia  Otros | Oxídicos  No Oxídicos | Conformados  No conformados  Otros | Denso  Aislante |

Para el estudio de una mezcla de moldeo es necesario realizar un grupo de ensayos, Granulometría de la arena, Sinterización, Resistencia mecánica a tracción, compresión y cizallamiento (tanto en seco como en verde, Contenido de humedad y Permeabilidad.

En las tablas 2 y 3 se muestran las principales propiedades de los materiales que intervienen en el diseño del experimento.

**Tabla 2.** Principales propiedades de la mezcla patrón

|  |  |
| --- | --- |
| ***Composición de la mezcla MR-1*** | ***Propiedades de la mezcla MR-1*** |
| Arena de retorno ------------94 %  Bentonita de sodio ---------- 3 %  Agua ---------Hasta la humedad requerida  Melaza ------------------------- 3 % | Humedad en verde -------------- 4,0-6,0 %  Permeabilidad en verde -- ≥ 80 cm4/g.min  Resistencia a la compresión en verde ----- 0,50-0,75 Kg/cm2 |

**Tabla 3.** Composición química de los elementos que conforman la mezcla

|  |  |
| --- | --- |
| ***Elementos*** | ***Compuestos*** |
| **Arena sílice** | SiO2 = 96 % min.  Fe2O2 = 0,85 % máx.  CaO = 0,10 % máx.  MgO = 0,10 % máx.  Arcilla = 1,0 % |
| **Bentonita** | SiO2 = 54,70 %  AlO3 = 11,78 %  Fe2O3 = 8,63 %  TiO2 = 0.83 %  CaO = 5,27 %  MgO = 1,62 %  Na2O = 1,10 %  K2O = 0,14 % |
| **Ladrillo Refractario** | Alúmina (oxido de aluminio) Al2O3 -- 40 %  Sílice (SiO2) – mínimo 30 %  Óxido de hierro III (Fe2O3) – máximo 4 %  Óxido de calcio (CaO) – máximo 2 %  Óxido de magnesio (MgO) – máximo de 2 %  Absorbe un máximo del 7 % de agua |

2.1 Preparación de las muestras

Se realizaron ocho muestras, cada muestra pesa 150 g aproximadamente, 135 g de la arena sílice y diferentes porcientos de bentonita y chamota, tal y como se muestra en la tabla 4, para determinar así la mejor relación arena-aditivo-bentonita. Se debe destacar que las tres últimas muestras son réplicas, garantizando de esta forma una mejor exactitud a la hora de determinar los resultados y por ende que no se introduzcan errores.

**Tabla 4.** Distribución obtenida a partir del DOE

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Corrida*** | ***Peso Total***  ***de la mezcla*** | ***Arena***  ***(%)*** | ***Arena***  ***(g)*** | ***Refractario***  ***(%)*** | ***Refractario***  ***(g)*** | ***Bentonita***  ***(%)*** | ***Bentonita***  ***(g)*** |
| 1 | 150 | 90 | 135 | 9 | 13.5 | 1 | 1.5 |
| 2 | 150 | 90 | 135 | 7 | 10.5 | 3 | 4.5 |
| 3 | 150 | 90 | 135 | 1 | 1.5 | 9 | 13.5 |
| 4 | 150 | 90 | 135 | 5 | 7.5 | 5 | 7.5 |
| 5 | 150 | 90 | 135 | 3 | 4.5 | 7 | 10.5 |
| 6 | 150 | 90 | 135 | 5 | 7.5 | 5 | 7.5 |
| 7 | 150 | 90 | 135 | 1 | 1.5 | 9 | 13.5 |
| 8 | 150 | 90 | 135 | 5 | 7.5 | 5 | 7.5 |

2.2 Preparación de las probetas.

Las dimensiones y formas de las probetas para los ensayos que se realizan, permeabilidad y resistencia a la compresión en verde y seco, son cilíndricas, con diámetro de 50 mm y una altura de 50 ± 1 mm, el peso de la misma es de aproximadamente 150 g.

**3. Resultados y discusión**

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos de los diferentes ensayos.

Tabla 4: Resultado granulométrico de la arena sílice

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Arena sílice*** | | | | | |
| Tamiz AFS | Apertura malla (mm) | Residuo (g) | % sobre tamiz | % acumulado | Factor K |
| 20 | 0.833 | 1.3 | 2.6 | 2.6 | 10 |
| 30 | 0.589 | 3.8 | 7.6 | 10.2 | 20 |
| 40 | 0.414 | 0 | 0 | 10.2 | 30 |
| 100 | 0.147 | 38.2 | 76.4 | 86.6 | 70 |
| 140 | 0.104 | 4.3 | 8.6 | 95.2 | 100 |
| 200 | 0.074 | 1.1 | 2.2 | 97.4 | 140 |
| fondo |  | 0 | 0 |  |  |
| Total |  | 48.7 | 97.4 |  |  |

Tabla 5: Resultado granulométrico del ladrillo refractario

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Ladrillo Refractario*** | | | | | |
| Tamiz AFS | Apertura malla (mm) | Residuo (g) | % sobre tamiz | % acumulado | Factor K |
| 20 | 0.833 | 11.3 | 22.6 | 22.6 | 10 |
| 30 | 0.589 | 8.2 | 16.4 | 39 | 20 |
| 40 | 0.414 | 0.3 | 0.6 | 39.6 | 30 |
| 100 | 0.147 | 15.3 | 30.6 | 70.2 | 70 |
| 140 | 0.104 | 3.6 | 7.2 | 77.4 | 100 |
| 200 | 0.074 | 2.7 | 5.4 | 82.8 | 140 |
| fondo |  | 7 | 14 | 96.8 |  |
| Total |  | 48.4 | 96.8 |  |  |

Tabla 6: Resultado obtenido en las mediciones.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Corrida*** | ***Arena%*** | ***Arena***  ***g*** | ***Refractario***  ***%*** | ***Refractario***  ***g*** | ***Bentonita***  ***%*** | ***Bentonita***  ***g*** | ***Resistencia Verde (Mpa)*** | ***Resistencia Seco (Mpa)*** | ***Humedad Relativa (%)*** |
|
| 1 | 90 | 135 | 9 | 13,5 | 1 | 1,5 | 0,045 | 0,13 | 22,2 |
| 2 | 90 | 135 | 7 | 10,5 | 3 | 4,5 | 0,082 | 0,11 | 21,4 |
| 3 | 90 | 135 | 1 | 1,5 | 9 | 13,5 | 0,095 | 0,13 | 11,3 |
| 4 | 90 | 135 | 5 | 7,5 | 5 | 7,5 | 0,078 | 0,12 | 13,9 |
| 5 | 90 | 135 | 3 | 4,5 | 7 | 10,5 | 0,07 | 0,125 | 12,5 |
| 6 | 90 | 135 | 5 | 7,5 | 5 | 7,5 | 0,078 | 0,12 | 13,9 |
| 7 | 90 | 135 | 1 | 1,5 | 9 | 13,5 | 0,095 | 0,13 | 11,3 |
| 8 | 90 | 135 | 5 | 7,5 | 5 | 7,5 | 0,078 | 0,12 | 13,9 |

Tabla 7. Mediciones realizadas de la resistencia en verde en el tiempo y vida de banco obtenida

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Mezcla*** | ***Día 0*** | ***24 h*** | ***48 h*** | ***Max*** | ***Vida de Banco*** |
| 1 | 0.045 | 0.067 | 0.049 | 0.067 | 0.047 |
| 2 | 0.082 | 0.104 | 0.086 | 0.104 | 0.073 |
| 3 | 0.095 | 0.117 | 0.099 | 0.117 | 0.082 |
| 4 | 0.078 | 0.100 | 0.082 | 0.100 | 0.070 |
| 5 | 0.070 | 0.092 | 0.074 | 0.092 | 0.064 |
| 6 | 0.078 | 0.100 | 0.082 | 0.100 | 0.070 |
| 7 | 0.095 | 0.117 | 0.099 | 0.117 | 0.082 |
| 8 | 0.078 | 0.100 | 0.082 | 0.100 | 0.070 |

En la figura 1 y 2 se pueden apreciar los valores de resistencia en verde y en seco, obtenidos en los ensayos, el nivel de resistencia en verde que alcanza la muestra 3 es muy marcado. La muestra 7 es la misma que la 3. La resistencia en verde pasadas las 24 h aumenta y luego comienza a disminuir, esto es un comportamiento estándar en las mezclas de moldeo.

Los gráficos de resistencias para cada mezcla contemplan el punto que marca la vida de banco, el cual según (Salcines 1980), es cuando la resistencia se encuentra al 70% de la resistencia máxima.

Figura 1. Gráfico de las resistencias en verde vs tiempo.

Figura 2. Gráfico de las resistencias en seco para cada mezcla.

3.1. Trabajo con las tres variables.

En el tratamiento estadístico se realiza un estudio con las tres principales variables a estudiar, resistencia en seco, resistencia en verde y la humedad, para determinar un punto óptimo, donde el comportamiento deseado debería ser, las resistencias con valores máximos y la humedad con valores mínimos.

En la tabla 8 se muestran los resultados obtenidos y se resalta la mezcla 3 como la que tiene los valores más cercanos al óptimo.

Tabla # 8: Resultados obtenidos con las tres variables respuestas

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  | Deseabilidad | Deseabilidad |
| Fila | Res. Verde | Res. Seco | Humedad | Prevista | Observada |
| 1 | 0.045 | 0.13 | 22.1 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 0.082 | 0.11 | 21.4 | 0.414 | 0.0 |
| 3 | 0.095 | 0.13 | 11.3 | 0.973 | 1.0 |
| 4 | 0.078 | 0.12 | 14.0 | 0.57 | 0.628 |
| 5 | 0.07 | 0.125 | 12.5 | 0.766 | 0.693 |
| 6 | 0.078 | 0.12 | 14.0 | 0.57 | 0.628 |
| 7 | 0.095 | 0.13 | 11.3 | 0.973 | 1.0 |
| 8 | 0.078 | 0.12 | 14.0 | 0.57 | 0.628 |

En la tabla 9 se muestra el resumen de la mezcla marcada como óptima.

Tabla # 9: Composición y propiedades de la mezcla seleccionada

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Muestra | Arena % | Arena g | Refracta-rio % | Refracta-  rio g | Bentoni-  ta % | Bentoni-  ta g | Res. Verde MPa | Res. Seco  MPa | Humedad % |
| 3 | 90 | 135 | 1 | 1,5 | 9 | 13,5 | 0,095 | 0,13 | 11,3 |

En la tabla 10 se aprecia una comparación entre la mezcla patrón, MR1, y la mezcla obtenida en el estudio como la óptima. Luego de realizada la tabla podemos observar que ambas mezclas poseen características similares, solo discrepan en el aspecto de la humedad. Esta diferencia se debe debido a que la mezcla propuesta no presenta melaza, la cual juega un papel fundamental en la aglutinación de la mezcla, y por tanto fue necesario aumentar el nivel de humedad para lograr una mayor compactación.

**Tabla # 10:** Comparación realizada a ambas mezclas

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Mezcla con aditivo refractario | Mezcla denominada MR-1 |
| Humedad % | 11,3 | 4,0-6,0 |
| Resistencia Verde Kg/cm2 | 0,96 | 0,5-0,75 |
| Permeabilidad cm4/g.min | 154 | ≥ 80 |

Para llevar a la práctica los resultados obtenidos de la mezcla propuesta se realizó la fundición de una pieza de aluminio, figura 4, utilizando las proporciones recomendadas en aras de tener una idea real del comportamiento de la mezcla.



Figura 3. Probeta con mezcla en verde.



Figura 4 Pieza obtenida utilizando la mezcla propuesta.

**4. Conclusiones**

1. Como resultado del estudio de las principales características de las mezclas de moldeo utilizadas en Planta Mecánica, se tomó como referencia la denominada MR1, una mezcla de amplio espectro y donde se puede sustituir uno de sus elementos componentes.
2. Como resultado de los experimentos hechos a partir del DOE propuesto, se obtiene que la relación Componente refractario-Bentonita que mejores propiedades tiene, de las medidas, es la relación 1 a 9.
3. Las propiedades obtenidas en la relación 1 a 9 presentan números mucho mejores que los que proporciona la MR1 que sirve de patrón a la mezcla propuesta.
4. Con los resultados obtenidos en la tabla # 8 de la vida de banco podemos decir que la misma en todas las mezclas propuestas sobrepasa las 48 h de elaboración, es decir, la mezcla mantiene sus propiedades y no pierde su utilidad en dicho tiempo.
5. La prueba realizada con la mezcla propuesta, se obtuvo una pieza de aluminio, muestra un excelente desempeño de la misma ante las condiciones de temperatura de la aleación vertida.

**5. Referencias bibliográficas**

1. COMEL (2010). "Uso de melazas en alimentación animal." from <http://www.ciademelazas.com/usumelazaanimal2.asp>.
2. Inoriza, R. (2003). "Introducción a los materiales refractarios." Técnica Industrial **248**: 54.
3. Salcines, C. M. (1980). Tecnología de fundición
4. Santiesteban Ruiz, J. M. (2009). Evaluación de las mezclas de moldeo autofraguantes con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina, Departamento Metalurgia-Química.