

ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y QUÍMICAS DE LAS ARENAS EN VERDE PARA FUNDICIÓN AL SER SOMETIDAS A CICLOS DE VACIADO DE ALUMINIO FUNDIDO

Germán Gómez^{1}, Daniel Ramírez¹, Ricardo Aristizábal²*

1: Estudiantes de Ingeniería de Materiales, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

2: Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales
Universidad de Antioquia, Grupo GIPIMME, Medellín, Colombia

* Contacto: gd.gomez@hotmail.com

RESUMEN

En este trabajo se estudió el efecto que tiene el vaciado de aluminio fundido sobre las propiedades de una mezcla para la fabricación de moldes de arena en verde para fundición. El análisis se basó en la información obtenida mediante la simulación de los perfiles de temperatura que se generan en el molde durante el vaciado y la solidificación de la aleación y en la información experimental recopilada mediante la caracterización de la mezcla de moldeo después de dos ciclos de vaciado. Mediante ensayo termogravimétrico y ensayo de bentonita activa con azul de metileno se pudo corroborar la degradación que sufre la bentonita en la mezcla de moldeo. Además, esta degradación se relacionó con las propiedades de la arena en verde: resistencia a la compresión en verde (RCV) y permeabilidad. Se encontró que el proceso de deshidroxilación de la bentonita provoca una disminución en la resistencia a la compresión en verde y en la permeabilidad y que se puede utilizar la simulación de los perfiles de temperatura en el molde para estimar la cantidad de bentonita que se degrada durante el proceso.

Palabras clave: *Arena en Verde, Fundición, Degradación de la Bentonita.*

ABSTRACT

In this work, the effect of pouring molten aluminum in green sand molds for casting was investigated. The analysis was based on the information obtained by the simulation of the temperature profiles in the mold and experimental information collected from the green sand mixtures, which were characterized after two casting cycles. Thermogravimetric analysis and methylene blue clay test were used to determine the degradation of the bentonite in the green sand mixtures. Also, the degradation of the bentonite was related with the properties of the green sand mixtures: green compressive strength and permeability. It was found that the dehydroxylation process of the bentonite causes a decrease in the green compressive resistance and permeability. Also, the simulation of the mold temperature profiles can be used to estimate the amount of bentonite that is degraded during the process.

Key words: *Green Sand, Casting, Degradation of Bentonite.*

1 INTRODUCCIÓN

En la producción de piezas fundidas, las propiedades de las arenas de fundición utilizadas para fabricar los moldes son de vital importancia ya que determinan en gran medida la aparición de defectos y por ende la calidad y propiedades de las partes obtenidas. Uno de los procesos más empleados para producir moldes de fundición es el método de moldeo con arena en verde, en el cual se utiliza una mezcla de arena de cuarzo, arcillas bentoníticas, aditivos carbonáceos y agua que provee las propiedades necesarias para garantizar piezas fundidas libres de defectos [1-2]. Las propiedades de la arena en verde dependen, entre otros, de la distribución granulométrica de la arena y de la cantidad relativa de los componentes en la mezcla de moldeo [3]. Al someter las arenas a los ciclos de fundición se modifican sus, entre otro debido a la modificación de la estructura interna de las arcillas bentoníticas [4-7]. Estos cambios repercuten en las propiedades de la arena de moldeo y en los productos finales causando entre otros malos acabados superficiales, atrapamiento de gases y agrietamiento de los moldes [8-9]. Una de las ventajas de la arena en verde es la posibilidad de reutilizar la mezcla de moldeo. Para que el proceso de reutilización sea exitoso y garantice uniformidad en las propiedades de la arena, es necesario ajustar la mezcla después de cada ciclo de vaciado. En particular es fundamental mantener el porcentaje de bentonita en un intervalo óptimo que garantice las propiedades necesarias.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este estudio se fabricaron moldes de arena en verde en los cuales se vaciaron 4.75 kg de aluminio fundido por ciclo a una temperatura de aproximadamente 730°C. En total se realizaron dos ciclos de vaciado, lo que permitió obtener tres mezclas de moldeo que se denominarán Mezclas 1, 2 y 3. La mezcla de moldeo inicial consistió en arena de sílice de referencia comercial 30-100, bentonita, carbonilla y agua en las cantidades listadas en la tabla 1. La composición química semicuantitativa de la bentonita utilizada obtenida mediante fluorescencia de rayos x (FRX) se puede ver en la tabla 2.

Tabla 1. Cantidad y porcentaje en peso de la mezcla de moldeo inicial.

Componente	Arena de sílice	Bentonita	Carbonilla	Agua	Total
Peso (kg)	37.2	5.018	0.372	1.488	44.078
% peso	84.4	11.4%	0.8	3.4	

Tabla 2. Composición química semicuantitativa de la bentonita.

Elemento	Si	Al	K	Fe	Ti	Ca	Mn	Mg	Na
%Peso	27.11	10	0.615	8.61	0.689	3.29	0.134	1.25	1.31

Nota: V, Zr, Cr, Ni, Zn, P y Cu menores a 0.1%.

Las mezclas de moldeo se prepararon en una mezcladora de muelas verticales con capacidad para 100 kg de arena por bache. Los moldes fueron fabricados en una prensa de moldeo semiautomática utilizando una presión de prensado de 30 psi. Las dimensiones y geometría de los moldes pueden verse en la figura 1(a). El aluminio utilizado para el vaciado fue fundido en un horno de crisol basculante a gas con capacidad para 12 kg de aluminio. El llenado del molde y la solidificación de la aleación se simularon utilizando el programa SolidCast versión 8. La

simulación se realizó con el fin de modelar las temperaturas en la caja de moldeo durante el vaciado y solidificación de la pieza y correlacionar éstas con análisis que se muestran abajo, para este propósito se obtuvieron los perfiles de variación de la temperatura con el tiempo en diferentes posiciones del molde, tal como lo muestra la figura 1(b). Las posiciones evaluadas fueron 4mm (T1), 12mm (T2), 16mm (T3), 32mm (T4) y 48mm (T5).

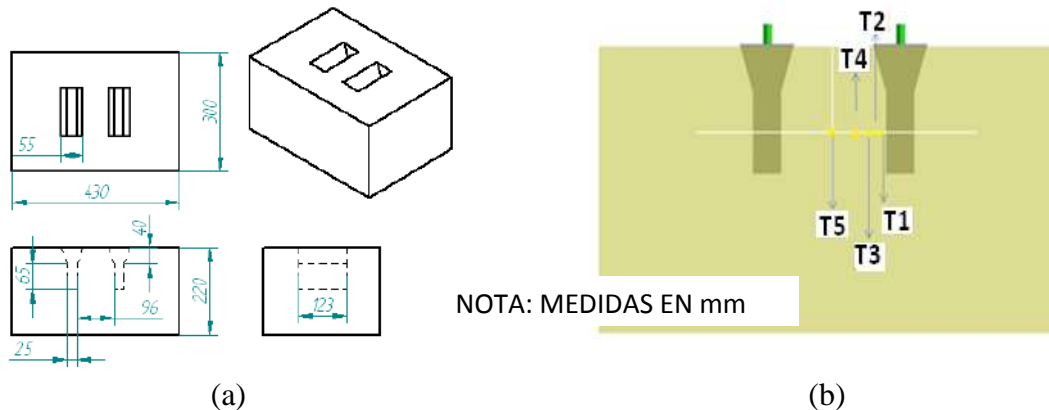


Figura 1. (a) Moldes utilizados para el estudio. (b) Puntos de obtención de la variación de la temperatura con el tiempo durante la simulación.

Se realizó un análisis termogravimétrico (TGA) a la bentonita utilizada para conocer su proceso de degradación. El TGA se realizó en un equipo de referencia TGA Q500 de marca TA Instruments. El rango de temperatura que se utilizó para este ensayo fue desde 28°C hasta 800°C con una rampa de calentamiento de 20°C/min. Los ensayos de caracterización de las mezclas de moldeo utilizados fueron los siguientes:

- Ensayo de azul de metileno, para determinar la cantidad de bentonita activa o capacidad de intercambio catiónico de la arcilla [10].
- Ensayos de resistencia a la compresión en verde y permeabilidad de acuerdo con los procedimientos establecidos para tal fin por la American Foundry Society (AFS) [3].

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Degradación de la bentonita

Los resultados del TGA realizado a la bentonita (figura 2(a)) mostraron dos zonas de pérdida de masa, la primera de 7.91% en peso desde que inicia el ensayo a temperatura ambiente, hasta alrededor de los 350°C, donde la mayor pérdida se presenta hasta los 100°C aproximadamente. Este primer cambio es atribuido a la deshidratación de la bentonita por causa de la eliminación del agua interlamilar y del agua absorbida. La segunda zona de pérdida de masa comienza a los 350°C y finaliza a los 750°C, con una pérdida de masa del 6.09% en peso. Esta segunda zona se atribuye al proceso de deshidroxilación de la arcilla, que se reporta ampliamente en la literatura[8-9], que comúnmente se conoce como degradación de la bentonita, lo cual produce una pérdida permanente de su poder aglutinante en la mezcla de moldeo [3,5,11].

El ensayo de bentonita activa realizado con azul de metileno a la bentonita pura y a la Mezcla 1, cuyo porcentaje en peso de bentonita era conocido (11.4%), permitió realizar una curva de calibración (figura 2(b)) que relaciona la cantidad de bentonita en la mezcla con los mililitros de

azul de metileno utilizados para la titulación (Tabla 3). Los resultados indicaron, como era de esperarse, una disminución en la cantidad de bentonita activa a medida que la arena en verde era reutilizada.

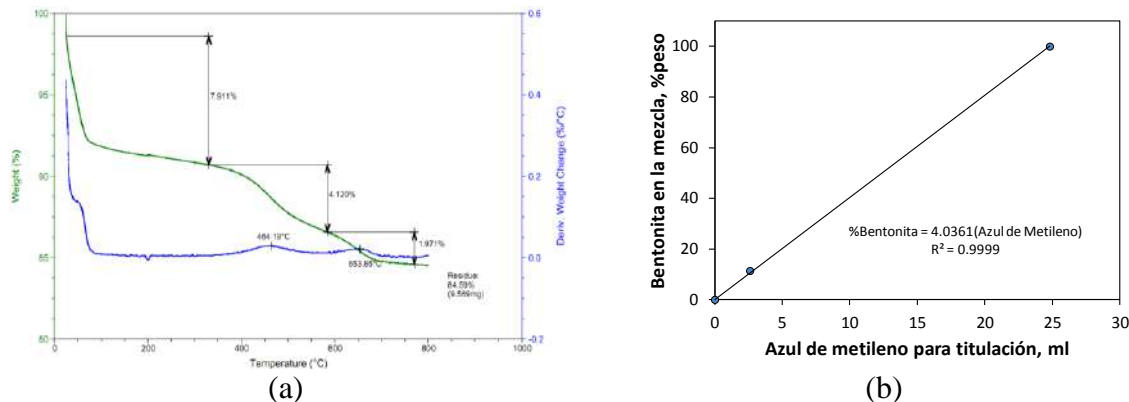


Figura 2. Análisis de degradación de la bentonita

Tabla 3. Porcentaje de bentonita activa obtenido mediante ensayo de azul de metileno.

Mezcla	Bentonita Pura	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Volumen de titulante (ml)	24.8	2.6	2.55	2.45
Bentonita activa (% peso)	100	11.4	10.4	10

3.2 Perfiles de temperatura en el molde y estimación de la cantidad de bentonita degradada mediante simulación

Por medio de la simulación se logra establecer que a 4 mm de la intercara molde-metal se evidencia un rápido aumento de la temperatura hasta alcanzar un máximo de 730°C igual a la temperatura de vaciado, tras el cual la temperatura empieza a descender debido a la transferencia de calor desde la intercara metal-molde hacia la cara externa del molde. A 12 mm de la intercara molde-metal la temperatura aumenta con el tiempo hasta llegar a un máximo de 480°C en 8 minutos, en este punto la temperatura se mantiene hasta los 15 minutos, tras lo cual descende. Los perfiles de temperatura obtenidos a mayores distancias de la intercara molde-metal muestran una tendencia similar al perfil obtenido a 12 mm con máximos que se mantienen durante mayor tiempo (Figura 3(a)). Con el fin de determinar con mayor precisión el espesor de la zona del molde que alcanza las temperaturas de degradación, se construyó una gráfica de temperatura máxima vs distancia (Figura 3(b)), lo que permitió estimar que el espesor de la mezcla de moldeo que alcanzó temperaturas iguales o superiores a la temperatura de inicio de degradación de la bentonita (350°C) fue de 18mm.

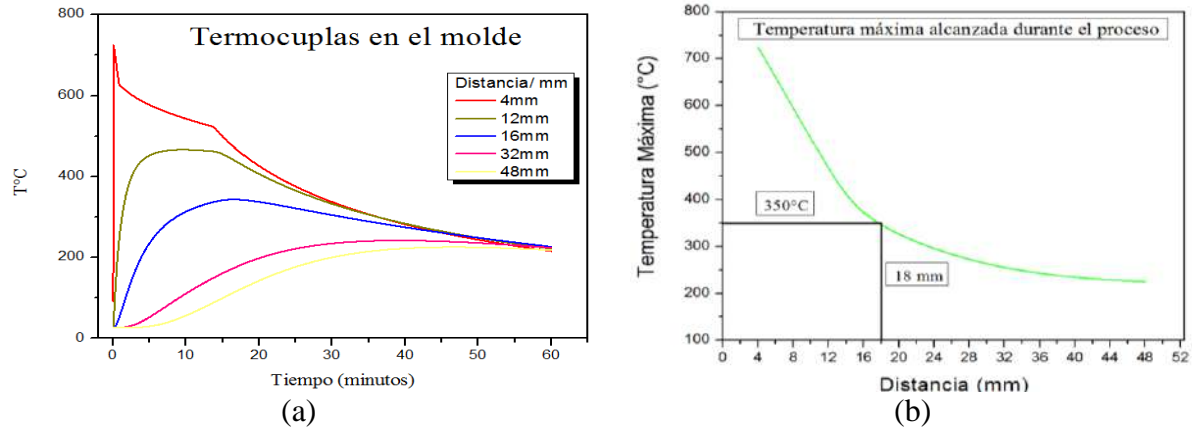


Figura 3. (a) Distribución de temperatura con respecto al tiempo a diferentes distancias de la intercara molde-metal. (b) Temperaturas máximas alcanzadas vs distancia desde la intercara molde-metal.

Al conocer el área superficial de las piezas moldeadas ($6.537 \times 10^{-2} \text{ m}^2$) y la distancia donde se presenta degradación (0.018m), se puede obtener el volumen de arena afectada térmicamente y teniendo la densidad de la arena de moldeo (1521.71 Kg /m^3), se puede estimar la masa de la mezcla en donde la bentonita se degrada después de cada ciclo de vaciado (Tabla 4). Los resultados obtenidos mediante la simulación son comparables con los experimentales con una diferencia de 0.4% en peso. Esta diferencia puede atribuirse a factores experimentales tales como ligeras variaciones en la temperatura de vaciado o pequeñas diferencias en la concentración de bentonita en diferentes partes del molde.

Tabla 4. Porcentaje de bentonita activa obtenido mediante simulación.

Mezcla	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Bentonita activa (% peso)	11.4	10.8	10.4

3.3 Efecto de los ciclos de vaciado en la resistencia a la compresión y la permeabilidad de las mezclas de arena en verde

Los resultados obtenidos indican que tras cada ciclo de vaciado la resistencia a la compresión en verde y la permeabilidad disminuyen (Figura 4).

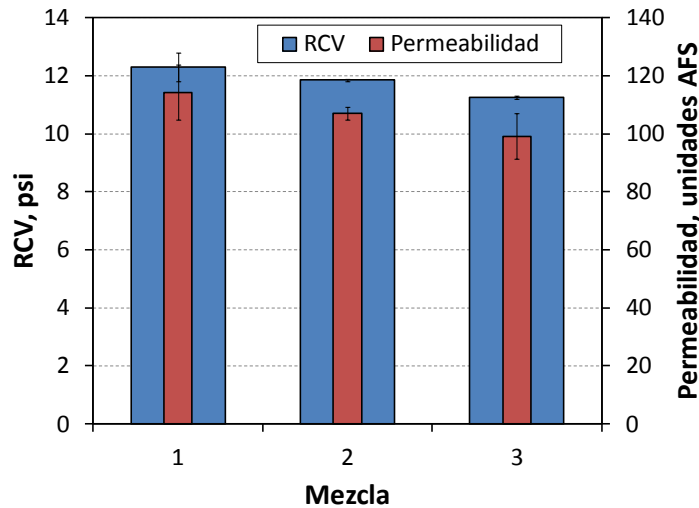


Figura 4. Propiedades de las arenas: permeabilidad, resistencia a la compresión.

Al degradarse la bentonita después de cada ciclo de vaciado la cantidad de mezcla bentonita-agua disminuye lo cual repercute de manera negativa en la resistencia mecánica. Además la bentonita degradada que no actúa como aglomerante se convierte en material fino que queda atrapado entre los espacios de los granos de arena disminuyendo la permeabilidad. Todos estos fenómenos descritos anteriormente se relacionan directamente con el proceso de deshidroxilación de la bentonita debido a su degradación térmica e indican que después de cada ciclo de vaciado es necesario reponer la bentonita degradada con el fin de conservar las propiedades de la mezcla de moldeo.

4 CONCLUSIONES

La degradación térmica de la bentonita en las mezclas de moldeo con arena en verde tiene un efecto marcado en su resistencia mecánica y permeabilidad. Es posible estimar la cantidad de bentonita que se degrada por ciclo mediante la simulación de los perfiles de temperatura en el molde y una caracterización de la bentonita utilizada mediante un ensayo termogravimétrico, lo cual posibilita un mejor control de la mezcla de arena en verde y puede garantizar uniformidad en sus propiedades durante su reutilización en una planta de fundición.

5 AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la empresa Arenas Industriales S.A. por proporcionar la arena de sílice utilizada en este estudio, al laboratorio de fundición de la universidad de Antioquia y al grupo GIPIMME por permitir el uso de sus laboratorios para realizar los experimentos, al grupo CIDEMAT por permitir el uso del TGA, a la profesora Paula Andrea Pérez Espitia y al estudiante Julián Lenis por su ayuda con la simulación del ciclo de vaciado y solidificación de la aleación. Los autores quieren también agradecer al CODI (proyecto MDC10-1-02) por el apoyo al presente proyecto.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Saikaew C, Wiengwiset S. "Optimization of molding sand composition for quality improvement of iron castings". *Applied Clay Science*, 67–68:26, 2012.
2. Mae H, Teng X, Bai Y, "Wierzbicki T. Comparison of ductile fracture properties of aluminum castings: Sand mold vs. metal mold". *International Journal of Solids and Structures*, 45:1430, 2012.
3. American foundrymen's society, inc, *Manual de arenas para fundición*. 1963.
4. Dungan RS, Reeves Iii JB. "Pyrolysis of carbonaceous foundry sand additives: Seacoal and gilsonite". *Thermochimica Acta*, 460:60, 2007.
5. Park C-L, Kim B-G, Yu Y. "The regeneration of waste foundry sand and residue stabilization using coal refuse". *Journal of Hazardous Materials*, 203–204:176, 2012.
6. Dungan RS, Dees NH. "The characterization of total and leachable metals in foundry molding sands". *Journal of Environmental Management*, 90:539, 2012.
7. Kumar S, Satsangi PS, Prajapati DR. "Optimization of green sand casting process parameters of a foundry by using Taguchi's method". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 55:23, 2012.
8. Holtzer M, Bobrowski A, Żymankowska-Kumon S. "Temperature influence on structural changes of foundry bentonites". *Journal of Molecular Structure*, 1004:102, 2012.
9. Alabarse FG, Conceição RV, Balzaretto NM, Schenato F, Xavier AM. In-situ FTIR "analyses of bentonite under high-pressure". *Applied Clay Science*, 51:202, 2012.
10. *Mold and core test handbook*. "American Foundrymen's Society, Inc, 2nd Edition", pp: 105, 133, 137, 169, 1989.
11. Suárez J, Sertucha J. "Materiales inorgánicos aplicados en la fabricación de piezas de fundición". *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, 17, 2012.