

# COMPARACIÓN TÉCNICA DE LA MEZCLA DE ARENA PARA EL PROCESO CO<sub>2</sub> Y EL SISTEMA DE ARENAS AUTOFRAGUANTES

## TECHNICAL COMPARISON OF THE MIXTURE OF SAND FOR CO<sub>2</sub> PROCESS AND NO BAKE SYSTEM

*Sandra Patricia Chaparro Ferrucho*<sup>1</sup>

*Fecha de Recepción: 19 de Octubre de 2006*

*Fecha de Aprobación: 24 de Noviembre de 2006*

**RESUMEN:** *En este artículo se presentan los resultados de la comparación técnica entre dos sistemas de arena de moldeo usados para la elaboración de machos y moldes en empresas de fundición. El primero es el proceso CO<sub>2</sub> que es un sistema tradicional de endurecimiento por gasificación, y el segundo es el sistema de Arenas Autofraguantes, una tecnología de moldeo moderna, la cual emplea una mezcla de resinas y catalizador. Los resultados muestran que el sistema de arenas autofraguantes incrementa la productividad del proceso y ofrece un mejor acabado superficial de las piezas.*

**PALABRAS CLAVE:** *Proceso CO<sub>2</sub>, Sistema de Arenas Autofraguantes, Arenas de moldeo.*

**ABSTRACT:** *In this paper are presented the results of the technical comparison between two sand molding systems used for cores and molds elaboration in foundry industries. The first one is the CO<sub>2</sub> process that is a traditional system of hardening by gasification, and the second one is the No Bake System, a modern molding technology, which uses a mixture of resins and catalyser. The results show that the No Bake System increases productivity and offers a better superficial texture of the pieces.*

**KEY WORDS:** *CO<sub>2</sub> Process, No Bake System, Sand molding System.*

<sup>1</sup> Ingeniero Industrial de la Universidad Militar Nueva Granada. Joven Investigador. Autor corresponsal. e-mail: sandra.chaparro@umng.edu.co

## I. INTRODUCCIÓN

El proceso CO<sub>2</sub> creado en 1956 ocupa un lugar importante en la mayoría de industrias de fundición en Colombia, el cual demostró ser un proceso flexible, adaptado a las fundiciones mecanizadas y manuales, para la fabricación de machos pequeños hasta moldes de gran tamaño. Además no solo constituye un método para el hierro fundido, sino que también es aplicable en fundiciones de acero y aleaciones no ferrosas [1].

Aunque el proceso de CO<sub>2</sub> ofrece los resultados esperados por las empresas de fundición, en este artículo se hace una comparación con el sistema de moldeo con arenas autofraguantes, el cual es un sistema moderno que emplea una mezcla de resina y catalizador, 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.

Inicialmente se describen las características de dos sistemas de moldeo, el proceso CO<sub>2</sub> y el sistema de arenas autofraguantes, con las ventajas y desventajas de cada uno. A partir del sistema de arenas autofraguantes se definen las variables involucradas en el proceso como: porcentaje de catalizador, porcentaje de resina I y II, tiempo óptimo de fraguado, tamaño de grano y forma de la arena.

A continuación se presenta la información obtenida de dos proveedores del mercado A y B, teniendo en cuenta el proveedor A para la realización de las pruebas, cuyos resultados previos sugiere un porcentaje de 1% de resina I y II y 3% de catalizador, en el sistema con arenas autofraguantes de acuerdo a las condiciones del macho y el molde.

Para el desarrollo de este estudio se tomó como referencia la empresa Metalúrgica Construcel Colombia METACOL S.A., las pruebas se realizaron en el sistema actual que es el proceso de CO<sub>2</sub> y arena verde, en

contraste con el sistema de arenas autofraguantes. La referencia seleccionada para la comparación es el Codo ByPass, el análisis se hizo con respecto al tiempo inyectando CO<sub>2</sub>, tiempo de espera para retirar caja de machos y modelo, tiempo retirando caja de machos y modelo, tiempo de descorazonado y desmoldeo, minutos hombre requeridos para la elaboración del macho y del molde, y dureza.

Finalmente se concluye que el sistema de moldeo con arenas autofraguantes facilita el desmoldeo y descorazonado, y aumenta la productividad porque el tiempo requerido para la elaboración de un macho y un molde es menor con respecto al proceso CO<sub>2</sub>.

## II. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Las empresas colombianas registradas oficialmente en el Sector de Industrias Metálicas Básicas son 81 de acuerdo a la Superintendencia de Sociedades [2], de las cuales las más representativas del sector, en su mayoría utilizan dos sistemas tradicionales de moldeo para la fabricación de moldes y machos, el sistema de arena verde (sistema cold box) y el sistema de silicato conocido también como CO<sub>2</sub>.

El moldeo en arena verde consiste en la elaboración del molde con arena húmeda, es empleado con todo tipo de metales y para piezas de tamaño pequeño y mediano, pero no es adecuado para piezas grandes o de geometrías complejas, ni para obtener buenos acabados superficiales o tolerancias reducidas [3].

El moldeo con CO<sub>2</sub> emplea silicato, óxido de hierro y colapsil, este proceso permite obtener machos de arena de dimensiones precisas, alta resistencia y fundir piezas de mayor tamaño [4],[5].

Este estudio va dirigido a la elaboración de moldes y machos para piezas mayores de 12", y piezas menores de 12" que tienen una geometría complicada, las cuales son moldeadas en el área de piso por su

difícil manejo. Los moldes para este tipo de piezas se elaboran en arena verde o en CO<sub>2</sub>, y los machos en el proceso de CO<sub>2</sub>.

Aunque el proceso de CO<sub>2</sub> ofrece los resultados esperados por las empresas de fundición, a continuación se hace una comparación entre las ventajas y desventajas que presenta este, frente a un sistema moderno para la fabricación de moldes y machos, como es el de arenas autofraguantes.

El sistema de moldeo con arenas autofraguantes emplea una mezcla de resina y catalizador, 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.

Las ventajas del proceso CO<sub>2</sub> [1] son:

Es un proceso en frío, las reacciones de endurecimiento se procesan a temperatura ambiente.

Ausencia de calor y humo.

El silicato de sodio y el CO<sub>2</sub> son relativamente económicos y de abundante disponibilidad.

Sin embargo, presenta las siguientes desventajas:

Con el sistema de CO<sub>2</sub> se obtiene la dureza deseada, pero después de verter la colada y con el posterior enfriamiento de la pieza, la arena se incinera generando una dureza tal que dificulta el descorazonado y desmoldeo [6] de las piezas. Esto repercute en altos tiempos debido a personal asignado exclusivamente para esta actividad, tiempos por recolección de la arena para relleno sanitario, compra de arena nueva, ocupación de espacio físico, e impacto ambiental negativo por erosión del terreno [7].

Los machos elaborados con arena CO<sub>2</sub> tienen me-

nor tiempo de vida, puesto que las condiciones ambientales como la humedad o las altas temperaturas pueden afectar gravemente el macho, impidiendo su almacenamiento por largos periodos de tiempo.

Para mezclas que requieran resistencias mayores el contenido de silicato debe ser alto con largos periodos de gaseado, es decir que necesitará mayor cantidad de CO<sub>2</sub> para obtener la resistencia deseada y el desmoldeo se torna más difícil [1].

El endurecimiento del macho y el molde se hace por gasificación.



*Figura 1. Impacto negativo por la dificultad para reutilizar la arena con CO<sub>2</sub>.*

Las ventajas del sistema de moldeo con arenas autofraguantes son:

El sistema de moldeo con arenas autofraguantes como su nombre lo indica, endurece el molde sin necesidad de estufado, ni por gasificación (como el proceso CO<sub>2</sub>), sino mediante la transformación química de la resina por acción del catalizador, ofreciendo ahorro de energía.

Permite la fabricación de piezas de mayor tamaño, geometrías más complejas y con mayor precisión dimensional y mejor acabado superficial.

Facilita la reutilización de la arena por la evaporación

del elemento aglutinante durante la colada.

El sistema presenta como desventajas:

Altos recursos financieros para invertir en las máquinas y equipos del sistema de moldeo con arenas autofraguantes.

Generalmente las resinas empleadas tienen características tóxicas, ya que se generan pequeñas cantidades de vapores originados por los productos químicos utilizados, lo que obliga a que los operarios estén protegidos con tapabocas y guantes especiales para evitar el contacto con estas sustancias.

**A. Definición de variables**

Las variables del sistema de moldeo con arenas autofraguantes a considerar, por su implicación directa con las condiciones del proceso son:

El porcentaje de catalizador.

Porcentaje de resina I y II.

El tiempo óptimo de fraguado corresponde aquel que sea suficiente para elaborar un macho o un molde antes del endurecimiento de la mezcla.

Forma del grano de la arena, tiene influencia sobre la movilidad y sobre la resistencia de las arenas enlazadas; las partículas de arena de forma angular reducen la movilidad. Los granos redondeados producen una mayor resistencia a menores densidades de apisonado; sin embargo, los granos angulares producen una mayor resistencia cuando la densidad de apisonado es elevada [8]. En el caso de este estudio la forma del grano es semiangular como se observa en el Figura 2.

Tamaño del grano, la arena del estudio tiene un conjunto formado por granos de arena de diferentes tamaños lo cual ofrece resistencia a la división de los planos de deslizamiento a consecuencia de la no si-

metría, y una estructura interconectada [9] Figura 2. La arena cumple con el tamaño de 45 – 120 según Norma DIN y un porcentaje de arcillas AFS Máximo de 0.5.

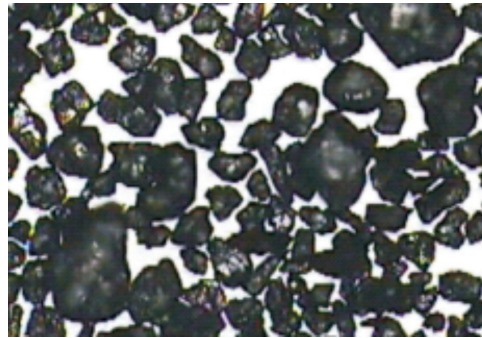


Figura 2. Forma y tamaño del grano de arena

**B. Proveedores del Mercado**

Se tuvo acceso a información de dos proveedores de resinas, uno nacional "A" y el otro importador de resinas de Brasil "B", a continuación se presentan los datos del cada proveedor:

Tabla 1. Proveedores de Resinas y catalizador

	Proveedores de Resinas y Catalizador	
	A [10]	B [11]
AFS	45/50	45/50
Forma del grano	redonda	redonda
Olor de resinas parte I y parte II	fuerte	muy fuerte
Olor de L catalizador	muy fuerte	fuerte
Posibilidad de reutilizar la arena	si	si
% de Arena nueva	hasta el 5%	relación inicial de 60%
% de Arena reacondicionada	hasta el 95%	relación inicial de 40%

En la Tabla 2, se observa los porcentajes de las resinas con los cuales aconsejan trabajar los proveedores, y datos de costos donde se aprecia que las resinas y catalizador nacional A son más económicos con respecto a los productos importados por B, ya que no requiere costos por importación.

Tabla 2. Proveedores de Resinas y catalizador

	Proveedores de Resinas y Catalizador	
	A	B
Relación resina 1 y Resina 2	50:50; 55:45	50:50; 60:40
Rango de utilización de Resina 1	0,5% al 1%	0,5% al 0,8%
Rango de utilización de Resina 2	0,5% al 1%	0,5% al 0,8%
Rango de utilización de Catalizador	3% al 8%	2% al 10%
Costo de 1 kg de Resina 1	\$ 7,000	\$ 7,863
Costo de 1 kg de Resina 2	\$ 9,800	\$ 11,492
Costo de 1 kg de Catalizador	\$ 18,600	\$ 25,706

**C. Pruebas con el Proveedor A**

De acuerdo a los parámetros suministrados por el proveedor A se establecieron rangos de valores para la resina I y II y el catalizador, con el objetivo de realizar las primeras pruebas, así:

Tabla 3. Rangos de porcentajes resinas y catalizador

Componente	Rangos		
Resina I	0.5%	0.8 %	1 %
Resina II	0.5%	0.8 %	1 %
Catalizador medio	3 %	5 %	8 %

El número de combinaciones de porcentajes usados para resina y catalizador son nueve [12], con un promedio de réplicas de 7 para cada combinación, los cuales se observan a continuación.

Tabla 4. Combinación de porcentajes y número de replicas

Porcentajes usados de Resina I	Porcentajes usados de Resina II	Porcentajes usados de Catalizador	No. de replicas
0,5%	0,5%	3%	8
0,5%	0,5%	5%	7
0,5%	0,5%	8%	7
0,8%	0,8%	3%	8
0,8%	0,8%	5%	7
0,8%	0,8%	8%	7
1%	1%	3%	8
1%	1%	5%	8
1%	1%	8%	7
<b>TOTAL</b>			<b>67</b>

Como se puede observar en la Tabla 4, se realizaron 67 experimentos, que corresponde al número de mezclas preparadas de arena, de los cuales se fabricaron 115 piezas 94 machos y 21 moldes entre base y tapa. De estas 115 piezas se realizó el proceso completo para 6 de la referencia Codo ByPass, que se compone de elaboración del macho, molde, vertimiento de la colada, desmoldeo y descorazonado.

A partir de estas pruebas previas se sugiere inicialmente trabajar con un porcentaje de 1% de resina I y II y 3% de catalizador, de acuerdo a las condiciones del macho y el molde, ya que hasta el momento ofrece mayor resistencia de la arena y menor consumo de material.

**D. Pruebas arenas autofraguantes vs. Proceso actual**

El sistema de arenas autofraguantes propuesto es tricomponente y de tipo fenólico uretano, el cual se seleccionó basado en el porcentaje de recuperación de la arena.

Tabla 5. Sistemas autofraguantes y porcentajes de recuperación [13]

HO BAKE (o Sistema Autofraguante)	% de recuperación de la arena
Furan / Acid o NBF	hasta el 50%
Phenolic /Acid	hasta el 50%
Phenolic /Ester o NBPE	hasta el 50%
Phenolic Uretano o NBPU o PUNB	hasta el 90%

Se eligió como referencia representativa de las estadísticas de producción el Codo ByPass, el macho de esta pieza se elaboró en el sistema actual de CO2 y el molde con arena verde, con el propósito de realizar un comparativo de esta pieza con arenas autofraguantes, cuyos resultados se presentan a continuación:

Tabla 6. Elaboración macho Proceso CO<sub>2</sub>

Elaboración macho Proceso CO <sub>2</sub>	
Elaboración macho	2,48 min
Cantidad de arena	1575g
Porcentaje de Oxido de hierro	0,14% - 2,21 g
Porcentaje Silicato	9,64% - 151,83g
Porcentaje de Colapsil	0,71% - 11,18g
Tiempo inyectando CO <sub>2</sub>	0,5 min
Tiempo de espera para retirar caja de machos	0 min
Tiempo retirando caja de machos	0,50 min
Tiempo de descorazonado	2,25min
Total Minutos Hombre requeridos	5,73 min
Dureza promedio	78,4 Shore

Tabla 7. Elaboración macho Arenas Autofraguantes

<b>Elaboración macho Arenas Autofraguantes</b>	
Elaboración macho	0,93 min
Cantidad de arena	1560g
Porcentaje de Resina 1	1% - 15,6g
Porcentaje de Resina 2	1% - 15,6g
Porcentaje de Catalizador	3% - 0,624g
Tiempo de espera para retirar caja de machos	15 min
Tiempo retirando caja de machos	0,50 min
Tiempo de descorazonado	1,15min
Total Minutos Hombre requeridos	3,15 min
Dureza promedio	87 Shore

El tiempo inyectando CO<sub>2</sub> para el sistema actual es 0.5 minutos, después de este tiempo la pieza ha alcanzado la dureza y como resultado la caja de machos se retira inmediatamente haciendo que el tiempo de espera sea cero. En el sistema de arenas autofraguantes el tiempo de espera para retirar la caja de machos es de 15 minutos, tiempo durante el cual el operario puede elaborar otros machos. El tiempo que demora el operario retirando la caja de machos es 0.5 minutos para los dos sistemas.

El tiempo de descorazonado de la pieza elaborada con el sistema actual es de 2.25 minutos, que en comparación con el sistema de arenas autofraguantes es 1.15 minutos, esto representa mayor productividad para el sistema propuesto.

Los minutos hombre requeridos para la elaboración del macho en el proceso CO<sub>2</sub> son 2.48 minutos y se necesita un operario, mientras en el proceso propuesto son 1.50 minutos y se requiere 2 operarios, pero aun así es más eficiente que el proceso actual porque el tiempo total de elaboración del macho es 0.93 minutos.

El total de minutos hombre requeridos corresponde a la suma de los tiempos de las operaciones en las que

esta involucrado el operario; en el proceso de CO<sub>2</sub> es: tiempo de elaboración del macho, tiempo inyectando CO<sub>2</sub>, tiempo retirando caja de machos y tiempo de descorazonado para un total de 5.73 minutos; en el sistema de arenas autofraguantes es: tiempo de elaboración del macho (incluye los dos operarios), tiempo retirando caja de machos y tiempo de descorazonado para un total de 3.15 minutos.

La dureza del macho para el proceso CO<sub>2</sub> es 78.4 Shore y para arenas autofraguantes 87 Shore, lo cual indica que el macho elaborado con el proceso propuesto tiene mayor resistencia.

A continuación se presenta las tablas con los resultados obtenidos de la elaboración del molde:

Tabla 8. Elaboración molde Proceso CO<sub>2</sub>

<b>Elaboración molde Arena verde</b>	
<b>Elaboración base del molde</b>	
Elaboración base del molde	2,42 min
Cantidad de arena base del molde	45000g
Arena de contacto	31500g
Bentonita	17,10%
Carbón Bituminoso	2,2%
Agua	0,000741%
Arena de relleno	13500g
Tiempo de espera para retirar modelo	4,01 min
Tiempo retirando modelo	3,58 min
Minutos Hombre requeridas	6 min
Dureza promedio	85,3 Shore
<b>Elaboración tapa del molde</b>	
Elaboración tapa del molde	4,55min
Cantidad de arena para la tapa	51700g
Arena de contacto	36190g
Bentonita	17,1000%
Carbón Bituminoso	2,3000%
Agua	0,000849%
Arena de relleno	15510g
Tiempo de espera para retirar modelo	3,95 min
Tiempo retirando modelo	3,36 min
Minutos Hombre requeridos	7,91 min
Dureza promedio	83 Shore
<b>Molde</b>	
Tiempo de desmoldeo	7,32 min
Total Minutos Hombre requeridos	21,23 min

Tabla 9. Elaboración molde Arenas Autofraguantes

<b>Elaboración molde Arenas Autofraguantes</b>	
<b>Elaboración base del molde</b>	
Elaboración base del molde	1,11 min
Cantidad de arena base del molde	45000g
Porcentaje de Resina 1	1% - 450g
Porcentaje de Resina 2	1% - 450g
Porcentaje de Catalizador	3% - 13,5g
Tiempo de espera para retirar modelo	20,17 min
Tiempo retirando modelo	3,58 min
Minutos Hombre requeridas	5,26 min
Dureza promedio	88,5 Shore
<b>Elaboración tapa del molde</b>	
Elaboración tapa del molde	2 min
Cantidad de arena para la tapa	51700g
Porcentaje de Resina 1	1% - 517g
Porcentaje de Resina 2	1% - 517g
Porcentaje de Catalizador	3% - 15,51g
Tiempo de espera para retirar modelo	12 min
Tiempo retirando modelo	3,36 min
Minutos Hombre requeridos	6,44 min
Dureza promedio	85,2 Shore
<b>Molde</b>	
Tiempo de desmoldeo	5,16 min
Total Minutos Hombre requeridos	16,86 min

La elaboración de la base del molde en el sistema de arena verde incluye el apisonamiento operación mediante la cual la arena alcanza la dureza deseada, este tiempo corresponde a 2.42 minutos. Con arenas autofraguantes la elaboración de la base de molde no requiere apisonamiento por lo que el tiempo es 1.11 minutos, siendo cerca de la mitad del proceso actual. El tiempo de elaboración de la tapa del molde en arena verde es 4.55 minutos mientras en arenas autofraguantes es 2 minutos.

El sistema de arena verde tiene un tiempo de espera para retirar el modelo de 4.01 minutos para la base del molde y de 3.95 minutos para la tapa del molde, en el sistema de arenas autofraguantes es de 20.17 minutos y 12 minutos respectivamente, pero es importante aclarar que aunque el tiempo en arenas

autofraguantes sea tan elevado, durante este no se consume recursos de mano de obra y tampoco representa un tiempo ocioso, al contrario puede ser aprovechado para elaborar paralelamente otros moldes.

El tiempo de desmoldeo de la pieza elaborada con el sistema actual es de 7.32 minutos, que en comparación con el sistema de arenas autofraguantes es 5.16 minutos, la ventaja del sistema propuesto ocurre porque la arena que esta alrededor de la pieza se incinera durante el vertimiento de la colada convirtiéndose en polvo, como se observa en la Figura 3.



Figura 3. Desmoldeo Codo ByPass sistema arenas autofraguantes

Los minutos hombre requeridos para la elaboración de la base y la tapa del molde en el sistema de arena verde son 6.97 minutos y se necesita un operario, mientras en el proceso propuesto son 4.76 minutos sumando el tiempo para los 2 operarios requeridos, es decir que el tiempo total para la elaboración de la base y la tapa del molde con el sistema de arenas autofraguantes es 3.11 minutos.

El total de minutos hombre requeridos corresponde a la suma de los tiempos de las operaciones en las que esta involucrado el operario, en el sistema de arena verde es: tiempo de elaboración de la base y tapa del molde, tiempo retirando modelo y tiempo de desmoldeo para un total de 21.23 minutos; en

el sistema de arenas autofraguantes es: tiempo de elaboración de la base y tapa del molde (incluye los dos operarios), tiempo retirando modelo y tiempo de desmoldeo para un total de 16.86 minutos.

La dureza de la base del molde es 85.3 Shore y tapa del molde 83 Shore para el sistema de arena verde, en arenas autofraguantes la dureza de la base del molde es 88.5 Shore y tapa del molde 85.2 Shore.

Al comparar la textura de las piezas después del desmoldeo y antes de ingresar a granallado, el color de la pieza moldeada con CO<sub>2</sub> y arena verde (lado izquierdo) es opaca y conserva residuos de arena de contacto, mientras que la pieza moldeada con arena autofraguante (lado derecho) tiene una mejor apariencia por la facilidad de desprendimiento de la arena en el desmoldeo.

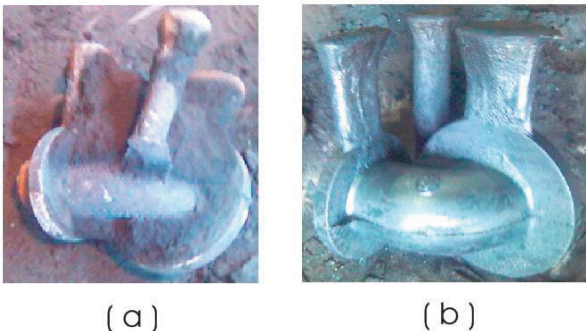


Figura 4. (a) Pieza moldeada en CO<sub>2</sub> y arena verde (b) Pieza moldeada en arena autofraguante

En la Tabla 10, se presentan los resultados de la comparación cualitativa de las piezas elaboradas con arenas autofraguantes y proceso de CO<sub>2</sub> y arena verde.

Tabla 10. Apariencia de la pieza

Apariencia de la pieza		
Características	Arenas Autofraguantes	Proceso CO <sub>2</sub> – Arena Verde
Posibilidad de presentar microporos en la estructura interna de la pieza	Mínima	Moderada
Acabado superficial después de desmoldeo.	Brillante y con mínima cantidad de arena pegada.	Opaca y con bastante arena pegada.
Acabado superficial después de limpieza en granalla	Igual	Igual

### III. CONCLUSIONES

Se concluye como resultado de las pruebas previas que el sistema de moldeo con arenas autofraguantes tiene las siguientes ventajas:

Facilita el desmoldeo ya que al enfriarse la pieza la arena se desmorona como resultado del vertimiento de la colada, lo cual se ve reflejado en el tiempo de descorazonado 1.15 minutos y desmoldeo 5.16 minutos.

La productividad del sistema de moldeo con arenas autofraguantes es mayor en comparación con el proceso de CO<sub>2</sub>, puesto que el total de minutos hombre requeridos para elaborar un macho es 3.15 minutos mientras en el proceso actual se requiere 5.73 minutos.

En el sistema de arenas autofraguantes el tiempo de elaboración de la base y la tapa del molde es 1.11 minutos y 2 minutos respectivamente, en contraste con el sistema de arena verde en el que el tiempo es 2.42 minutos y 4.55 minutos respectivamente, casi el doble del sistema propuesto, debido a que incluye la operación de apisonamiento.

Para hacer un uso eficiente de la mano de obra se plantea que durante los tiempos de espera para retirar la caja de machos y el modelo, paralelamente se elaboren machos o moldes.

A partir de estas pruebas previas se sugiere inicialmente trabajar con un porcentaje de 1% de resina I y II y 3% de catalizador, de acuerdo a las condiciones del macho y el molde, ya que hasta el momento ofrece mayor resistencia de la arena y menor consumo de material.

La desventaja que presenta es:

No se puede almacenar la mezcla.

Como recomendación, el tamaño de grano y forma de la arena se considera como un factor clave, de este depende la facilidad o complejidad para que la resina recubra el grano de arena, si la arena tiene finos el consumo de materiales va ser mayor[1]. La forma de



grano que se busca es redonda, en el caso del estudio es semiangular, con un proceso de reutilización adecuado se puede en parte alcanzar esta característica.

#### AGRADECIMIENTOS

Los más sinceros agradecimientos a las estudiantes Yuly Saza Riaño y Diana Medina Ramón, quienes con su dedicación trabajaron activamente en el desarrollo de las pruebas. También agradecimientos al Gerente General y al Gerente de Producción de la empresa Metalúrgica Construcel Colombia METACOL S.A. quienes han puesto a nuestra disposición los recursos físicos y financieros para la realización de las pruebas. Al profesor Fernando González y Ciro Parra por sus asesorías.

#### REFERENCIAS

[1] DOUGLAS T. Primer Seminario del Proceso CO<sub>2</sub> en fundición. Patrocinado por: Liquid Carbonic Industrias S.A., con la Associação Brasileira de Metais y la British Cast Iron Research Association.

[2] Superintendencia de Sociedades, (2005). Estados Financieros. <http://www.supersociedades.gov.co>

[3] SCHEY, J. A., (2000). Procesos de manufactura. México. Editorial McGraw Hill, 3ra. Ed., Capítulo 7.

[4] French Progress in Coremarking. Part III Silicate CO<sub>2</sub>. Foundry, (1970). P. 72-75. Fundición - Ingeniería Industrial. <http://www.geocities.com/usmindustrial/Fundicion.htm>.

[5] The Distillers Company (Carbon Dioxide) Ltd. El proceso silicato CO<sub>2</sub>. Estado Actual. Colada, (1980). Vol. 13, No. 11: 257-259.

[6] CALCINES MERINO, C. M., (1985). Desmoldeabilidad. Tecnología de fundición Tomo I. Habana, Cuba. Editorial Pueblo y Educación, p. 274-276, 406-407.

[7] IHOBE Sociedad Pública Gestión Ambiental Vasca, (2000). Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones, Arenas de moldeo en fundiciones férreas.

[8] HEINE, R. W. Loper, C. R. Jr., and Rosenthal, P. C. (1967). Principles of MetalCasting. McGraw-Hill Book Co., Cap. 8.

[9] KONDIC, V. (1968). Metallurgical Principles of Founding . E. Arnold Pub. Ltd.

[10] INTERQUIM S.A., (2005). Ficha Técnica Sistema IQUSET 400/500/640.

[11] FOSECO Ind. Com. Ltda., (2003). Resinas Poliset.

[12] KUEHL, R., (2000). Diseño de experimentos. México. Editorial Thomson, 2nd. Ed., Cap. 6 p. 194-196.

[13] VÉLEZ J. F. (2006). Conferencia "Sistemas de Moldeo modernos". Patrocinado por: INTERQUIM S.A. y el SENA.