

Arenas de moldeo aglomeradas con resinas: orgánicas sintéticas, inorgánicas y orgánicas naturales biopolímeros, aplicadas en la industria automotriz



Molding sands binders with resins: synthetic organic, inorganic and natural organic biopolymers, applied in the automotive industry

Barona López Gustavo.¹, Guilcamaigua Padilla Juan.², Albarracín Álvarez Mauro.³, Velasteguí Efraín.⁴

Recibido: 16-03-2017 / Revisado: 10-05-2017 Aceptado: 22-06-2018/ Publicado: 01-07-2018

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i3.178>

This article aims to realize analysis of the bending strength and environmental impact of molding sands binder with resins: synthetic organic, inorganic and natural organic biopolymers, applied in the automotive industry. In addition to carry out a study of the current and problematic situation of binder molding sands, revealing that synthetic resins are the most used and least environmentally friendly, and their variable price and rising, as a derivative of petroleum, increase the costs of production of automotive parts. Values of different types of binder sand were tabulated and graphed for the analysis of the bending strength. The analysis showed that the sand binder with synthetic resin phenolic urethane has the highest value of bending strength with 4,9 MPa, while the sand binder with inorganic resin sodium silicate has a value of 3,9 MPa, both used in the automotive industry. However, sands agglomerated with natural organic biopolymers resins and geopolymer inorganic resins have resistances below synthetic sands. The environmental impact analysis indicates that the automotive industry BMW Light-Metal Foundry in cooperation with ASK Chemicals developed an inorganic binder sand named Inotec that is odorless and does not emit gases. A future vision, if its mechanical properties improve, are the natural biopolymer organic resins, due to its biodegradability.

Keywords: Molding sand binder, chemical molding, resin binder sand, molding sand resins, binder sand mold, foundry resins.

¹ Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador, barona_gustavo@hotmail.com

² Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador, juanguilqui@hotmail.com

³ Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ingeniería Electromecánica, mauro.albarracin@utc.edu.ec

⁴ Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ingeniería en Sistemas, luis.velastegui7838@utc.edu.ec

Resumen.

El presente artículo tiene por objetivo realizar un análisis de la resistencia a la flexión y del impacto medio ambiental de las arenas de moldeo aglomeradas con resinas: orgánicas sintéticas, inorgánicas y orgánicas naturales biopolímeros, aplicadas en la industria automotriz. Además de realizar un estudio de la situación actual y problemática de las arenas de moldeo aglomeradas, dando a conocer que las resinas sintéticas son las más empleadas y las menos amigables con el medio ambiente, además su precio variable y al alza, por ser un derivado del petróleo, encarecen los costos de producción de elementos automotrices. Para el análisis de la resistencia a la flexión se tabuló y graficó valores de distintos tipos de arena aglomerada. El análisis mostró que la arena aglomerada con resina sintética fenólica uretano tiene el mayor valor de resistencia a la flexión con 4,9 MPa, mientras que la arena aglomerada con resina inorgánica silicato de sodio posee un valor de 3,9 MPa, ambas empleadas en la industria automotriz. En cambio, las arenas aglomeradas con resinas orgánicas naturales biopolímeros y las resinas inorgánicas geopolímeros tienen resistencias por debajo de las arenas sintéticas. El análisis de impacto ambiental indica que la industria automotriz BMW Light-Metal Foundry en cooperación con ASK Chemicals desarrolló una arena aglomerada inorgánica de nombre Inotec que es inodora y no emiten gases. Una opción a futuro, si sus propiedades mecánicas mejoran, son las resinas orgánicas naturales biopoliméricas, debido a su biodegradabilidad.

Palabras clave: Arena de moldeo aglomerada, moldeo químico, arena aglomerada con resinas, moldeo de arena con resinas, molde de arena aglomerada, resinas para fundición.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo alcanzado por la civilización humana está directamente relacionado con los materiales, particularmente con los metales, los cuales, mediante procesos de fabricación por fundición adoptan formas para la elaboración de partes y elementos mecánicos, que no solo conforman maquinas industriales, también están en aplicaciones civiles, electrónicas, aeroespaciales, automotrices, entre otras.

A pesar del desarrollo alcanzado por los métodos de fundición, en los que se utiliza técnicas como die casting, squeeze casting o centrifugal casting (ASM, 1998), sigue siendo la fundición en moldes y corazones de arena el proceso más ampliamente empleado, debido a que con este método se obtienen altos rendimientos de producción, disminuyen los costos, y los materiales generalmente son reusables.

En esencia, el proceso de fundición sencillo, consiste en conformar una huella en dos semimoldes de arena que al unirlos definen una cavidad exactamente igual a la pieza que se desea obtener. Para ello, se requiere disponer de un modelo que es una réplica idéntica de la pieza. En la industria automotriz se requieren los llamados corazones (núcleos o machos) que son utilizados cuando un elemento mecánico presenta cavidades internas. Estos núcleos se ubican en el interior del molde de arena para formar las cavidades internas cuando se cola (vacía) el metal fundido (Sertucha y Suárez, 2005; Elío de Bengy et al., 2012).

Una vez construido el molde de arena se lo llena con el metal fundido, a través de unos conductos bien definidos en el molde que se conocen con el nombre de bebederos o canales de distribución. Tras introducir el metal líquido, es decir, colada la pieza, se requiere dar tiempo al proceso de solidificación para desmoldearla. Conseguir el desmoronamiento eficaz del molde, de forma que la pieza pueda separarse fácilmente de la arena que la rodea, aumenta la productividad del proceso de fabricación.

Existen procesos de fabricación por fundición que son clasificados según el tipo de molde utilizado al momento de vaciar el metal líquido, entre esta clasificación se tiene la fundición en molde desechable y en molde permanente (Barona y Guicamaigua, 2018).

Estos procesos de fabricación aplican diversos métodos de fundición que son clasificados por el tipo de molde utilizado al momento de realizar la colada fundida, siendo de tipo desechables y permanentes, he de aquí la clasificación de los procesos de fundición (Barona y Guilcamaigua, 2018).

Los moldes desechables se elaboran con arena de moldeo aglutinada o aglomerada, y su colada se la realiza por técnicas como fuerza de gravedad o baja presión. Los moldes permanentes se elaboran con matrices metálicas o de grafito, su colada se puede realizar por dos métodos. El primero, es el die casting, que se subdivide de acuerdo a la presión que ejerce la fundición sobre la cavidad del molde, siendo a baja presión, alta presión y por fuerza de gravedad, cuando se la realiza por fuerza de gravedad es llamada simplemente moldeo permanente. El segundo, son los procesos híbridos como squeeze casting, rheocasting (forja semisólida) y osprey process (atomizado de polvo metálico) (Barona y Guilcamaigua, 2018). En la Tabla 1 se muestra un resumen de los métodos de fundición.

Tabla 1. Métodos de fundición para moldes desechables y permanentes

Técnica de colado	Tipo de molde		
	Molde desechable de arena con o sin núcleos de arena	Molde permanente de coquilla con núcleos de arena	Molde permanente de coquilla
Fuerza de gravedad	X Moldeo desechable	X Moldeo permanente	X Moldeo permanente
Baja presión	X Moldeo desechable	X Die casting baja presión	X Die casting
Alta presión		X Die casting alta presión	X Die casting
Comprimida			X Squeeze Casting

Coquilla: es un molde permanente que generalmente es fabricado en acero, también puede ser de grafito sólido.

Fuente: Elaboración propia basada en (ASM, 1998) (Schilling y Schnaibel, 2009) (European Aluminium Association, 2002)

En el sector automotriz, para los elementos que conforman la parte central del motor de combustión interna, se utilizan procesos de fabricación por fundición con colado de metal en molde de arena aglomerada. Esta arena utiliza un aglomerante que generalmente es una resina sintética de origen orgánico proveniente del petróleo. Estas resinas sintéticas no son amigables con la salud del hombre, y tampoco con el medio ambiente, ya que, al momento de realizar el colado del metal en el molde, se desprenden gases tóxicos propios de la resina, por lo cual, la industria fundidora enfrenta las normas ambientales internacionales.

En el cumplimiento de estas normas ambientales, las investigaciones están enfocadas a desarrollar nuevos sistemas de aglomeración para obtener arenas aglomeradas, que sean a la vez, ecológicas y con las mismas ventajas que poseen las arenas aglomeradas con resinas a base de petróleo, que es un recurso no renovable, y su precio casi siempre al alza, repercute en los costos de producción de la industria automotriz.

2. ARENAS DE MOLDEO

El moldeo en verde fue en el transcurso del desarrollo industrial uno de los métodos más empleados para la elaboración del molde de arena. En este método los moldes se secaban en estufas después del desmodelado, separación molde-modelo, eliminando por completo el agua, posteriormente se empezaron a utilizar los moldes sin el proceso de secado, de ahí la denominación de moldeo en verde. En este moldeo es necesario que se cohesionen cada uno de los granos de arena, para obtener un molde de propiedades aceptables, esto se consigue con la ayuda de un aglutinante. A esta arena que se adiciona algún tipo de aglutinante también se las conocen como arenas aglutinada (Sertucha y Suárez, 2005).

La mayoría de las arenas base para fundición son silíceas (SiO_2). En algunos casos los granos de sílice están asociados con diminutas cantidades de feldespatos, mica y otros minerales. Otras arenas de fundición contienen también pequeñas cantidades de minerales tales como ilmenita ($\text{FeO}(\text{TiO}_2)$), circón (ZrSiO_4) u olivino ($\text{MgO}(\text{FeO})(\text{SiO}_2)$). El olivino es una roca natural que consta de una solución sólida de ortosilicato de magnesio (Mg_2SiO_4 forsterita) y ortosilicato de hierro (Fe_2SiO_4 fayalita), su composición puede variar, y sólo el que tiene un elevado contenido de forsterita es útil como arena base. Las arenas de circón (ZrSiO_4), normalmente llamadas “de circonio” en el lenguaje coloquial de taller, contienen pequeñas cantidades de ilmenita, rutilo, granate y otros minerales, y se emplean en gran escala para moldes y núcleos especiales. La cromita, “siderocromo” o “espinela de cromo-hierro” (Cr_2O_3) (FeO), también es empleada en moldeos de piezas especiales (ASM, 1998; Elío de Bengy et al., 2012).

Las mezclas para el moldeo en arena se dividen en dos grandes grupos: las arenas aglutinadas y las aglomeradas (Elío de Bengy et al., 2012). Siendo la arena base el componente fundamental de los materiales para moldeo. En la preparación de estos dos grupos las ecuaciones fundamentales podrían escribirse así (Elío de Bengy et al., 2012):

Arena base + aglutinante + aditivos = arena aglutinada
Arena base + aglomerante + aditivos = arena aglomerada

2.1. Arenas aglutinadas

Estas arenas están compuestas por la combinación de una arena base que puede ser sílice, cromita, circón u olivino, más un aglutinante, que por lo general es una arcilla del grupo de las montmorillonitas (bentonitas), a esta mezcla se le adiciona agua, lo que origina entre el aglutinante y el agua atracciones electrostáticas, que son las fuerzas responsables de la cohesión entre los granos de la arena base. Esta cohesión es de carácter físico y no muy fuerte, razón por la cual las características mecánicas de las arenas no son muy satisfactorias de cara a su empleo para piezas de gran responsabilidad (ASM, 1998; Elío de Bengy et al., 2012).

Estas arenas aglutinadas están constituidas por los siguientes materiales (Sertucha y Suárez, 2005).

- Arena lavada en un 80%, siendo la más empleada la constituida por granos de sílice.
- Aglutinante entre 9 a 10%, es una arcilla cuya misión es unir los granos de sílice.
- Agua entre 3 a 4%, cuyo objetivo es activar la función de la arcilla.
- Materiales carbonosos entre 4 a 6%, permite excelentes acabados superficiales, separación arena-pieza en el desmoldeo, entre otros.
- Ciertas impurezas propias de la arena como son óxido de hierro, cal, magnesio álcali y otras más, que en cantidades excesivas perjudican a las propiedades de la arena.

2.2. Arenas aglomeradas

El segundo grupo fundamental lo constituyen las arenas aglomeradas, compuestas por la misma arena base del grupo anterior más la adición de un aglomerante. Estos dos elementos son mezclados hasta envolver todos y cada uno de los granos de arena con la resina. El mecanismo de aglomeración consiste en una reacción química que confiere gran consistencia al molde o macho fabricado, diferente de la aglutinación que era un fenómeno puramente físico. Generalmente para acelerar el proceso de endurecimiento de la arena-aglomerante se adiciona una resina catalítica (ASM, 1998; Elío de Bengy et al., 2012).

Al atacar el modelo con la mezcla de arena aglomerante esta sufre una reacción química que le hace fraguar, debido al aglomerante que acaba quedando como un cemento o retículo que recubre los granos de arena y hace de unión entre los mismos (ASM, 1998).

Cuando se afronta la fabricación de elementos mecánicos con importantes dificultades morfológicas, por ejemplo, cavidades internas de un block de motor, se emplea el proceso de fabricación mediante fundición en molde desechable de arena aglomerada, o también, por fundición en molde permanente die casting (Barona y Guicamaigua, 2018). En ambos procesos es necesario utilizar elementos auxiliares denominados núcleos, que dan la forma a las cavidades internas del block. Estos núcleos son obtenidos, en su gran mayoría, mediante arenas aglomeradas químicamente, que es una mezcla de arena, resina orgánica sintética y en ocasiones un catalizador. En la Figura 1 se muestra el ensamblaje de núcleos de arena aglomerada orgánica sintética para formar el molde de un block de cilindros para un motor de combustión interna, y en la Figura 2 se muestra el ensamble de núcleos de arena aglomerada inorgánica base silicato para formar el molde de un cabezote o culata.



Figura 1. Núcleos de arena aglomerada orgánica sintética (European Aluminium Association, 2002)



Figura 2. Núcleos de arena aglomerada inorgánica base silicato (Weissenbek et al., 2012)

A partir del video de YouTube “Rapid Prototyping and Digital Sand Casting Service” presentado por PrometalRCT (2010), se ha realizado la Figura 3, donde se muestra la fabricación de un block de 4 cilindros, elaborado mediante el proceso de fabricación por fundición en molde desechable de arena aglomerada. La Figura 3 muestra: (a) núcleos de arena aglomerada para la formación de los 4 cilindros, (b) núcleos de arena aglomerada para la formación de las cavidades internas del block, (c) molde terminado constituido por el ensamble de los núcleos de arena, (d) molde rodeado de arena para su posterior vaciado, (e) vaciado de la fundición, (f) desarenado del molde para extraer el block de 4 cilindros.

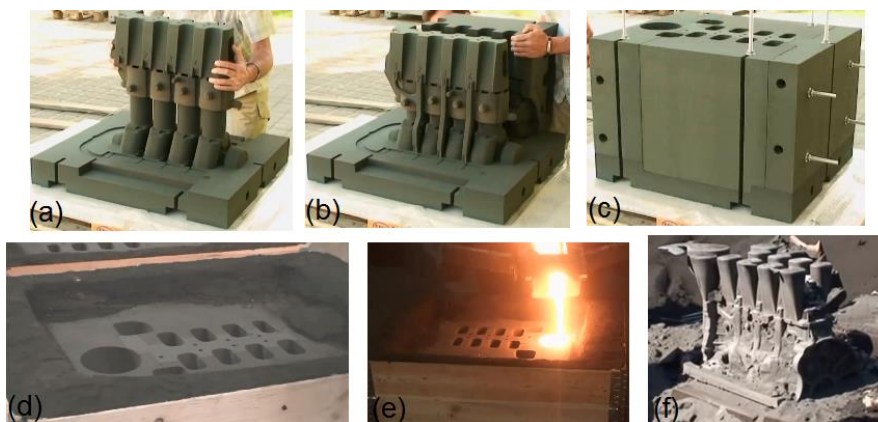


Figura 3. Fabricación de un block 4 cilindros en molde desechable de arena aglomerada (PrometalRCT, 2010)

Las industrial de manufactura de productos colados, que tienen elevados niveles de producción, en la actualidad han remplazado las operaciones manuales por sistemas robotizados, en donde los núcleos que pueden ser elaborados ya sea en matrices metálicas o por medio de impresión 3D, son ensamblados robóticamente sobre una matriz metálica, para el posterior vaciado del metal, ya sea por fuerza de gravedad o por die casting, según el elemento mecánico a ser fabricado o la tecnología de la industria. Por medio de estos procesos productivos, donde se utilizan la combinación de matrices metálicas y núcleos de arena, se manufactura elementos automotrices como blocks de motores de combustión interna, cabezotes para bocks, carcasas de cajas de transmisión, carcasas de compresores, soportes longitudinales para suspensión de ruedas, bridas en forma de estrella para vehículos ferroviarios, cabezotes y carcasas de cilindros para motocicletas, entre otras.

Estas arenas aglomeradas, dadas su gran resistencia y fiabilidad, se utilizaron inicialmente para fabricar corazones. Sin embargo, con el paso del tiempo encontraron un gran campo de utilización para elaboración de moldes de piezas unitarias o series cortas en tamaño medio, grande o muy grande, es así que han desplazado a las arenas aglutinadas. En lo que se refiere al moldeo de arenas aglomeradas, se las puede ubicar con el nombre de moldeo químico. Actualmente existen tres formas de clasificar los diferentes sistemas de aglomeración (ASM, 1998; Esquivel, 2010; Sáenz, 2010):

En la base de su composición química:

- Resinas orgánicas, son artificiales y naturales, las artificiales se obtienen del petróleo y se las llaman resinas sintéticas, las naturales se obtienen de la celulosa, almidón y toda clase de polisacáridos, para ambos casos contienen cadenas poliméricas de carbono.

- Resinas inorgánicas, no contiene carbono en su estructura molecular, su tecnología se basa en los silicatos, sulfatos, fosfatos, aluminosilicatos, sales y óxidos metálicos.

En base al pH del catalizador:

- Tipo ácido, $\text{pH} < 7$, son curados mediante la adición de material alcalino.
- Tipo básico, $\text{pH} > 7$, son curados mediante la adición de material ácido.

En base al mecanismo físico de curado:

- Caja fría, el curado del molde se lleva a cabo poniéndolo en contacto con un catalizador vaporizado.
- Caja Caliente, el curado del molde se lo realiza con una fuente externa de calor.
- No horneado, que consiste en mezclar todos los componentes con un catalizador líquido que reacciona a temperatura ambiente.

3. SITUACIÓN ACTUAL Y PROBLEMÁTICA DE LAS ARENAS DE MOLDEO AGLOMERADAS EMPLEADAS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

En la actualidad la mayor parte de industrias de manufactura automotriz, que emplean procesos de fabricación por fundición, utilizan en sus procesos productivos arenas de moldeo aglomeradas con resinas orgánicas sintéticas para la elaboración de moldes y núcleos. La utilización de este tipo de arenas llamadas sintéticas asegura tener una alta productividad para la fabricación de partes y elementos automotrices de geometrías complejas y con elevadas propiedades mecánicas. Los moldes y núcleos son obtenidos a partir de la mezcla de arena más resina sintética, siendo estas resinas del tipo orgánica artificial, ya que es un líquido polimérico obtenido de la destilación del petróleo.

El inestable precio del barril de petróleo, y con tendencia al alza, origina que los valores de las resinas sintéticas también se incrementen, lo que repercute en los costos de producción de partes y elementos mecánicos, obtenidos mediante procesos de fundición, ya que estas resinas son utilizadas para ser mezclarlas con la arena con lo cual se obtiene un molde aglomerado para el vaciado del metal líquido.

Los aglomerantes orgánicos a base petróleo han sido continuamente desarrollados y optimizados durante años. Sin embargo, al momento de realizar el colado de metal fundido en el molde, la arena aglomerada emite gases nocivos, que además de contaminar el medio ambiente son peligrosos para el ser humano. Estos gases como el benceno, tolueno y xileno, son producto de la evaporación de la resina que ha aglomerado cada uno de los granos de arena. Debido a este problema se necesitan tomar medidas apropiadas para la captura y subsecuente tratamiento de gases contaminantes al ambiente, teniendo que recurrir a costos adicionales para conseguir condiciones seguras de trabajo.

Durante las tareas de moldeo pueden liberarse al ambiente vapores volátiles como alcohol furfúrico, formaldehído y fenol, provenientes de las resinas orgánicas a base de petróleo, pudiendo ser inhalados, o tener contacto con la piel y ojos, pudiendo causar daños a la salud si no se usa la protección adecuada (Ministerio de Empleo y Seguridad Social del Gobierno de España, 2018). En el informe del Ministerio de Empleo y Seguridad Social del Gobierno

de España (2018) se menciona los daños toxicológicos que pueden causar el formaldehído, alcohol furfúrico y fenol, por la exposición prolongada de los trabajadores a estos vapores.

Con estos problemas que generan las resinas sintéticas, las industrias de manufactura de productos colados de aluminio, acero y hierro, buscan cambiarlas por otros tipos de resinas que reduzcan costos de producción, mantengan niveles de productividad en masa, y que cumplan con las regulaciones ambientales exigidas por el gobierno y sus clientes.

Ante esta problemática el futuro de las industrias de manufactura que emplean procesos de fundición y colado, se encuentra bajo gran presión, ya que requieren producir moldes y núcleos de arena que ayuden a reducir las emisiones de gases tóxicos, manteniendo tres aspectos de las arenas orgánicas sintéticas: el primero, poseer las mismas o mejores propiedades; el segundo, elevados rendimientos de productividad en masa; y el tercero, que los costos de producción se reduzcan. Lo que ha provocado la investigación y desarrollo de resinas libres de compuestos derivados de petróleo, dando como resultado la creación de resinas orgánicas naturales y resinas inorgánicas que son mezcladas con la arena para la obtención de moldes.

Para evitar construir complejos sistemas de tratamiento y evacuación de gases contaminantes, o por lo menos construir sencillos sistemas, se requiere en el primer caso que la arena aglomerada no emita gases contaminantes, y en el segundo caso se necesita que la arena aglomerada emita la menor cantidad posible de gases. Esto también se puede conseguir con los aglomerantes inorgánicos y orgánicos naturales mencionados anteriormente ya que son amigables con el medio ambiente.

A continuación, se presenta la Tabla 2 y Tabla 3, que muestran las ventajas y desventajas del uso de aglomerantes inorgánicos y orgánicos en las arenas de moldeo.

Tabla 2. Ventajas y desventajas del aglomerante inorgánico en la arena de moldeo

Aglomerante inorgánico	
Ventajas	Desventajas
Son amigables con el medio ambiente.	Las propiedades mecánicas de las arenas aglomeradas con resinas inorgánicas son menores que las arenas aglomeradas con resinas orgánicas sintéticas a base de petróleo.
Rendimiento y productividad es comparable con los sistemas aglomerantes orgánicos.	Los núcleos que presentan puentes o canales delgados tienden a agrietarse con facilidad, debido a su fragilidad.
No emiten gases durante el proceso de producción, aportando mejores piezas de acero y aluminio.	El mal desarenado origina que la arena se pegue a las piezas, originando defectos superficiales.
Las materias primas son abundantes y relativamente baratas.	Su baja resistencia a la humedad origina sopladuras y desperfectos en la superficie de las piezas, ya que la arena se desprende del molde.
Cualquier tipo de mezclador puede ser utilizado.	La humedad de los moldes es causa de una deficiente permeabilidad y un excesivo vapor de agua, originando porosidades y superficies rugosas del metal fundido.
Es completamente compatible con moldes de plástico, madera y metales.	
Son aglomerantes ecológicos para el medio ambiente.	
Actualmente las industriales automotrices utilizan en sus procesos de producción aglomerantes inorgánicos, para elaborar moldes, gracias al desarrollo que han tenido.	

Fuente: Elaboración propia basada en (ASM, 1998) (Esquivel, 2010) (Sáenz, 2010)

Tabla 3. Ventajas y desventajas del aglomerante orgánico en la arena de moldeo

Aglomerante orgánico	
Ventajas	Desventajas
Con aglomerantes orgánicos sintéticos se producen núcleos con geometrías complejas, con lo cual se incrementa la productividad.	Los aglomerantes orgánicos sintéticos, producen emisiones tóxicas de gases que requieren instalaciones costosas de aspiración y filtración, exigidas por normas medio ambientales, obligando a la reducción de gases contaminantes tales como el benceno, tolueno y xileno.
Elimina defecto de sopladuras, calcinaciones, penetraciones y grietas en caliente en la arena, debido a la dilatación térmica de los moldes o machos durante el vaciado, originando elementos mecánicos de calidad.	Si se trabaja con resinas fabricadas a base de proteínas y almidón pueden ocasionar piezas con porosidades, debido a la humedad que poseen los moldes de arena aglomerada
Son amigables con el medio ambiente siempre y cuando se utilicen aglomerantes orgánicos naturales	El uso de almidón, como un aditivo aglomerante auxiliar en el proceso de moldeo con núcleos, causa bajas propiedades mecánicas y térmicas cuando se va a colar hierro.
Existen menos pérdidas de piezas, ya que su acabado superficial tiene excelente calidad, gracias a las propiedades que brindan las arenas aglomeradas.	El inestable precio del barril de petróleo, con tendencia al alza, hace que el moldeo con resinas orgánicas sintéticas afecten a los costos de fabricación de elementos mecánicos.
Elimina penetraciones de metal en la superficie del molde.	Si se utilizan aglomerantes orgánicos naturales biopolímeros los moldes de arena tienen menores propiedades mecánicas en comparación con los moldes elaborados con aglomerantes orgánicos sintéticos.
La arena aglomerada elimina burbujas de gas que quedan atrapados en el molde.	
Aumenta la productividad por la eliminación de un acabado extra en la superficie de la pieza, ya que la arena elimina defectos de superficie como costras, penetración y burbujas de gas.	
En los últimos años las nuevas mezclas que usan almidón, como aglomerante orgánico natural, están mejorando el desarenado del molde.	

Fuente: Elaboración propia basada en (ASM, 1998) (Esquivel, 2010) (Sáenz, 2010)

4. ARENAS DE MOLDEO AGLOMERADAS CON RESINAS ORGÁNICAS SINTÉTICAS

Las resinas orgánicas sintéticas denominadas de varias formas como por ejemplo resinas sintéticas, resinas orgánicas artificiales, resinas químicas, entre otras, son obtenidas a partir de la refinación del petróleo. Su empleo se da en la industria de la fundición, concretamente en la arena de moldeo, la cual es mezclada con la resina para formar un sistema de aglomeración arena-resina, que será utilizada para la fabricación de moldes y núcleos.

Estas arenas sintéticas son extensamente utilizadas en industrias de manufactura automotrices, ya que su resistencia mecánica, moldeabilidad, colapsabilidad, fluidez, vida de banco, expansión térmica, conservación de la resistencia a altas temperaturas, permite obtener moldes con geometrías complejas que soportan las fuerzas ejercidas por el metal fundido al momento del colado, lo que beneficia a que las partes y elementos fabricados tengan una excelente calidad, más aún si van estar sometidos a elevadas prestaciones mecánicas. Ante estas excelentes propiedades de las arenas sintéticas los sistemas de aglomeración orgánicos naturales e inorgánicos no pueden competir completamente.

Para la fabricación de blocks, cabezotes y elementos con cavidades internas complejas, se elabora un molde que está constituido por el ensamble de núcleos de arena aglomerada con resinas sintéticas. El empleo de estas resinas se debe a que los núcleos fraguan, adquiriendo

alta dureza y resistencia mecánica, evita defectos de fundición, y otorga beneficios para la solidificación de la colada, con lo cual se obtienen elementos mecánicos de alta calidad.

En la actualidad el moldeo aglomerante con resinas es tan económico como el moldeo aglutinante. La inversión a largo plazo entre maquinaria para la mezcla arena-resina-aditivos, modelos y equipo para curado, justifican a largo plazo el implementar este tipo de moldeo, ya que se producen moldes aglomerantes a escala industrial.

En el caso del moldeo aglomerante las mezcla esta constituidas por una arena base (99-98%), un aglomerante que es una resina química de diversa índole (1-2%), más un catalizador que su porcentaje depende de la cantidad de resina.

Existen diversos procesos de moldeo aglomerante con resinas sintéticas los cuales son descritos detalladamente por ASM (1998). A continuación, se indicarán los más utilizados en las industrias de manufactura de productos colados de aluminio, acero y hierro.

Procesos aglomerantes con resinas sintéticas curados con calor.

- Furánica caja caliente.
- Fenólica caja caliente.

Procesos aglomerantes con resinas sintéticas curados con caja fría.

- Fenólico uretano.
- Furánica / SO₂.
- Fenólico éster.

Procesos aglomerantes con resinas sintéticas curados no-bake (curado a temperatura ambiente).

- Furánico (catalizado por ácido).
- Fenólico (catalizado por ácido).
- Uretano tipo aceite.
- Fenólico uretano.

5. ARENAS DE MOLDEO AGLOMERADAS CON RESINAS INORGÁNICAS

Las arenas de moldeo inorgánicas son procesos amigables con el medio ambiente, debido a que estas resinas no contienen carbono en su estructura molecular, lo que permitirá en un futuro sustituir a las resinas sintéticas orgánicas provenientes del petróleo y que son utilizadas para la elaboración de moldes y núcleos.

5.1. Aglomerante inorgánico base silicato

Las soluciones de silicato son tipo alcalinas, tienen un pH de 9 a 11, y están formadas de SiO₂ y M₂O cuya fórmula es xSiO₂yM₂O, M puede ser sodio (Na), potasio (K) o litio (Li). La principal diferencia entre las soluciones de silicatos se encuentra en la relación entre estos dos compuestos SiO₂ y M₂O la cual puede variar desde 2:1 hasta 3:1 teniendo directa

influencia sobre las propiedades de la solución y de los núcleos (ASM, 1998; Esquivel, 2010). Los resultados que se presentarán posteriormente son relativos a la arena de moldeo con agente aglomerante silicato de sodio.

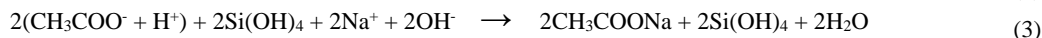
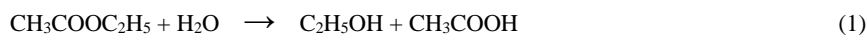
La fabricación de la solución, que es el agente aglomerante de la arena de moldeo, es generalmente hecha por la fusión de arena sílice con carbonatos de sodio (Na_2CO_3) a una temperatura de $1200\text{ }^\circ\text{C}$, y una vez enfriado, resulta un vidrio que puede ser disuelto a una alta presión de vapor para formar un líquido claro y algo viscoso conocido como “waterglass” (silicato de sodio) (Sáenz, 2010).

El incrementar la concentración de silicato de sodio en la solución tiene diferentes efectos, como el aumento en: la viscosidad de la solución, la resistencia mecánica de los moldes y núcleos, la resistencia a la humedad y la resistencia térmica. Además, que el agregar aditivos a la solución de silicato tiene como objetivos disminuir la viscosidad, mejorar el acabado superficial de la pieza, incrementar la estabilidad dimensional de los moldes y núcleos, aumentar la vida útil y mejorar la plasticidad de la mezcla, y acelerar el proceso de deshidratación para disminuir el tiempo de fabricación de los moldes de arena. Estos aditivos pueden ser fosfatos, boratos, sulfatos, polioles, silicones, etc. (Esquivel, 2010).

Los silicatos de sodio pueden experimentar cuatro reacciones químicas: hidratación/deshidratación, gelación/polimerización, precipitación y modificación de la carga superficial, reacciones que permiten al silicato actuar como un aglomerante en película, aglomerante en una matriz o aglomerante químico (Sáenz, 2010).

Las arenas de moldeo a base de silicato de sodio pueden ser endurecidas por métodos como el silicato éster, silicato CO_2 , VPG, silicato cemento, silicato arcilla, Nishiyama (ASM, 1998; Sáenz, 2010).

En el auto endurecimiento por silicato éster ocurre una deshidratación de la solución de silicato de sodio ($x\text{SiO}_2y\text{Na}_2\text{O}$) por la hidrólisis del éster ($\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$) y la neutralización de la solución de sosa cáustica reaccionando con ácido acético (CH_3COOH) para formar acetato de sodio (CH_3COONa), ver Ecuación 1, 2 y 3. Después de dispersar el éster en el aglomerante, el éster hidroliza lentamente para formar un ácido débil (CH_3COOH) y un alcohol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). El ácido débil reacciona con la porción de sosa del silicato para formar una sal de sodio y la combinación de grupos hidroxilo OH^- en el silicio, resultando una gelación de éste (Sáenz, 2010).



El proceso de deshidratación, Figura 4, tiene las siguientes características: la reacción es reversible, los núcleos quedan libres de agua, altas resistencias en moldes y núcleos, y no se produce carbonato de sodio (Sáenz, 2010). El proceso de endurecimiento incluye fases químicas y físicas, como la precipitación del silicato de sodio al cambiar el pH que subsecuentemente gana estabilidad como resultado de la deshidratación (Sáenz, 2010).

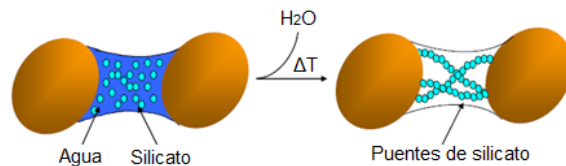


Figura 4. Proceso de deshidratación del aglomerante silicato de sodio (Sáenz, 2010)

5.2. Aglomerante inorgánico geopolímero

Es un aglomerante inorgánico en forma de resina líquida transparente y pegajosa, utilizada en la fabricación de moldes y núcleos de arena. Su utilización pretende mejorar las propiedades de la arena y consecuentemente la calidad de los elementos mecánicos colados.

Un geopolímero está químicamente conformado por aluminosilicatos alcalinos, es decir, aglomerante constituido por aluminio, silicio, y un metal alcalino como sodio o potasio. No se crean como resultado de un proceso geológico, sino que se producen sintéticamente, pero se los denomina así, debido a que su composición es similar a la de los minerales naturales (Dobosz et al., 2011). La estructura molecular de estos aglomerantes la constituyen cadenas de tetraedros de SiO_4 y AlO_4 , como se muestra en la Figura 5, que se disuelven en agua y se estabilizan mediante un material alcalino. Sus propiedades dependen de las proporciones de estos componentes y la manera de preparar el geopolímero, además su grado de polimerización aumenta debido a la actividad del endurecedor, creando un polímero con una alta capacidad de unión (Dobosz et al., 2011; Zaretskiy, 2015).



Figura 5. Estructura molecular del geopolímero con tetraedros de SiO_4 y AlO_4 (Dobosz et al., 2011)

6. ARENAS DE MOLDEO AGLOMERADAS CON RESINAS ORGÁNICAS NATURALES BIOPOLÍMEROS

Como resultado de buscar aglomerantes de recursos renovables, se han creado las resinas llamadas PLA, PLGA, PCL, PHB, CA y otros más, los cuales son mezclados con las arenas de moldeo para contribuir con el desarrollo de la industria de la fundición. Estas resinas que aglomeran las arenas de moldeo son procesos amigables con el medio ambiente, ya que a pesar de poseer en su estructura el elemento carbono son resinas biodegradables de origen orgánico natural, elaboradas a partir de un recurso renovable como el almidón o caña de azúcar. A continuación, se describirá cortamente este tipo de resinas aglomerantes.

PLA (ácido poliláctico o poliláctida), es un termoplástico biodegradable, poliéster alifático derivado de un recurso renovable como el almidón de maíz o la caña de azúcar. El PLA está generalmente disponible en forma de gránulo cilíndrico. En la Figura 6 se muestra la obtención de PLA a partir del monómero de láctida, la cual se obtiene de la fermentación

bacteriana del ácido láctico proveniente del almidón de maíz o de la caña de azúcar. En este caso el ácido láctico se oligomeriza y luego dimerizado catalíticamente se obtiene el monómero de lactida la misma que mediante un proceso de polimerización al añadir un catalizador comúnmente octoato estannoso y temperatura se obtiene PLA (Dobosz & Major-Gabryś, 2010; Mohanty et al., 2005).

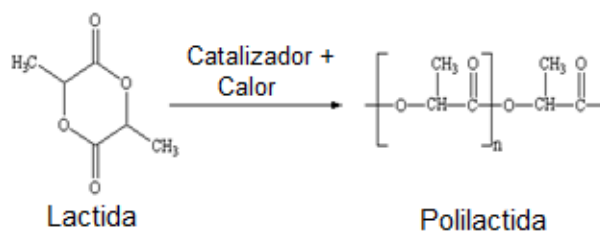


Figura 6. Obtención de PLA a partir de la lactida (Dobosz & Major-Gabryś, 2010)

En base del termoplástico biodegradable PLA, se ha creado diversos aglomerantes como el PLA1, PLA2, PLGA. A continuación, se describirá algunas resinas biopoliméricas.

PLGA (poli ácido láctico-co-glicólico), es un biopolímero obtenido de la combinación de ácido láctico y ácido glicólico que mediante un proceso de polimerización al añadir de catalizadores como estaño (II) 2-etilhexanoato, alcoxidos de estaño (II), o isopropóxido de aluminio logran formar el biopolímero mencionado (Dobosz & Major-Gabryś, 2010).

PCL (Policaprolactona), es un polímero biodegradable que se obtiene a partir del proceso de polimerización de la caprolactona en presencia de un catalizador como el octanoato de estaño. La PCL puede ser mezclado con el almidón para reducir su costo y aumentar su biodegradabilidad (Dobosz & Major-Gabryś, 2010; Mohanty et al., 2005).

PHB (polihidroxitirato o ácido polihidroxitirático), es un polihidroxicanoato (PHA) perteneciente a un polímero de la clase de los poliésteres lineales, producidos en la naturaleza por las bacterias a causa de la fermentación del azúcar o de los lípidos (Dobosz & Major-Gabryś, 2010; Mohanty et al., 2005).

CA (cellulose acetate), es un material termoplástico amorfo, perteneciente a la familia de la resina celulósica. Es obtenida al introducir el radical acetyl del ácido acético en la celulosa (algodón o fibras de madera) (Dobosz & Major-Gabryś, 2010; Mohanty et al., 2005).

7. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN ARENAS DE MOLDEO AGLOMERADAS CON RESINAS: SINTÉTICAS, INORGÁNICAS SILICATO DE SODIO, ORGÁNICAS NATURALES BIOPOLÍMEROS E INORGÁNICAS GEOPOLÍMEROS

A continuación, se ha elaborado la Tabla 4 donde se muestra la resistencia a la flexión (Rg) de las arenas de moldeo aglomeradas, según su tipo, composición, aditivo y tiempo de curado (Tc). Se presenta la resistencia a la flexión, ya que, en las referencias bibliográficas, tomadas para el desarrollo de este artículo, es uno de los ensayos mayormente realizados. Además, en los artículos publicados es difícil extraer información de varias propiedades a la vez, debido a que cada investigador realiza diferentes pruebas a su criterio y para un solo tipo de arena de moldeo aglomerada.

Tabla 4. Resistencia a la flexión de las arenas de moldeo aglomeradas

Tipo de arena de moldeo	Composición de la arena de moldeo	Aditivo	Rg [MPa]	Tc [h]	Referencia
Aglomerada con resina orgánica artificial (resina sintética) fenólico uretano	Arena sílice: 100%	---	4,15	1	(Zaretskiy, 2015)
	Aglomerante fenólico uretano: 0,6% Endurecedor: al 0,6%	---	4,9	24	
Aglomerada con resina orgánica artificial (resina sintética) furánica	Arena sílice: 100 partes por peso Aglomerante furánico Kaltharz XA20: 1,1 partes por peso Endurecedor Aktivator 100T3: 0,55 partes por peso	---	3	24	(Major-Gabryś et al., 2016)
Aglomerada con resina orgánica artificial (resina sintética) alquídica	Arena sílice: 100 partes por peso	---	1,3	4	(Dobosz et al., 2015)
	Aglomerante alquídico SL 2002: 1,3 partes por peso Endurecedor: 0,32 partes por peso	---	3,5	24	
Aglomerada con resina inorgánica silicato de sodio	Arena sílice: 100 partes por peso	---	0,65	2	(Dobosz et al., 2011)
	Aglomerante silicato de sodio 145: 3 partes por peso	---	1,1	4	
	Endurecedor Flodur 3 tipo éster: 0,3 partes por peso	Glassex	0,55	2	
		Glassex	1,15	4	
Aglomerada con resina inorgánica silicato de sodio	Arena sílice: 100%	Aditivo sin especificar	3,8	1	(Zaretskiy, 2015)
	Aglomerante silicato de sodio: 1,5%		3,9	3	
	Agua adicional y otros aditivos		3,75	24	
Aglomerada con resina orgánica natural biopolimérica PLA	Arena sílice: 100 partes por peso Aglomerante PLA: 1,67 partes por peso Solvente (CH ₂ Cl ₂ , acetona) para completar la disolución de polímeros	---	1,9	---	(Dobosz & Major-Gabryś, 2010)
Aglomerada con resina orgánica natural biopolimérica PGLA	Arena sílice: 100 partes por peso Aglomerante PLGA: 1,67 partes por peso Solvente (CH ₂ Cl ₂ , acetona) para completar la disolución de polímeros	---	2,85	---	(Dobosz & Major-Gabryś, 2010)
Aglomerada con resina orgánica natural biopolimérica PCL	Arena sílice: 100 partes por peso Aglomerante PCL: 1,67 partes por peso Solvente (CH ₂ Cl ₂ , acetona) para completar la disolución de polímeros	---	0,55	---	(Dobosz & Major-Gabryś, 2010)
Aglomerada con resina orgánica natural biopolimérica PHB	Arena sílice: 100 partes por peso Aglomerante PHB: 1,67 partes por peso Solvente (CH ₂ Cl ₂ , acetona) para completar la disolución de polímeros	---	0,6	---	(Dobosz & Major-Gabryś, 2010)
Aglomerada con resina orgánica natural biopolimérica CA	Arena sílice: 100 partes por peso Aglomerante CA: 1,67 partes por peso Solvente (CH ₂ Cl ₂ , acetona) para completar la disolución de polímeros	---	0,6	---	(Dobosz & Major-Gabryś, 2010)
Aglomerada con resina orgánica natural biopolimérica PLA1	Arena sílice: 100 partes por peso Aglomerante PLA1: 4 partes por peso Solvente (CH ₂ Cl ₂ , acetona) para completar la disolución de polímeros	---	1	---	(Dobosz & Major-Gabryś, 2010)
Aglomerada con resina orgánica natural biopolimérica PLA2	Arena sílice: 100 partes por peso Aglomerante PLA2: 4 partes por peso Solvente (CH ₂ Cl ₂ , acetona) para completar la disolución de polímeros	---	2,5	---	(Dobosz & Major-Gabryś, 2010)
Aglomerada con resina inorgánica geopolimérica	Arena sílice: 100 partes por peso	---	1,10	3	(Pezarski et al., 2008)
	Aglomerante aluminosilicato Rudal A: 2,5 partes por peso Endurecedor SA 61: 0,3 partes por peso	---	2,3	24	
Aglomerada con resina inorgánica geopolimérica	Arena sílice: 100 partes por peso	---	1,22	3	(Pezarski et al., 2008)
	Aglomerante aluminosilicato Rudal A: 2,5 partes por peso Endurecedor SA 65: 0,3 partes por peso	---	2,4	24	

A partir de la Tabla 4 se ha realizado la Figura 7, con el objetivo de analizar y comparar la resistencia a la flexión de las arenas de moldeo que han sido aglomeradas mediante diferentes resinas. Este análisis y comparación indican lo siguiente:

Las arenas aglomeradas con resinas sintéticas poseen valores de resistencia a la flexión más elevados en comparación al resto de arenas, tanto así que la arena aglomerada con resina sintética fenólica uretano tiene el mayor valor de resistencia con 4,9 MPa.

La resistencia a la flexión de un mismo tipo de arena aglomerada depende en gran medida de su composición. Esto se observa en los sistemas de aglomeración con resina inorgánica silicato de sodio en donde a partir de diferentes investigaciones se obtuvo; bajos valores de resistencia 0,55 MPa y 0,65 MPa; como también elevados valores 3,75 MPa, 3,8 MPa y 3,9 MPa, gracias a la adición de un aditivo en la arena aglomerada.

Las arenas aglomeradas con resinas orgánicas naturales biopoliméricas presentan menores resistencias a la flexión que las arenas aglomeradas que contienen resinas orgánicas sintéticas y resinas inorgánicas silicato de sodio. A pesar de su desarrollo estas arenas no pueden competir con las propiedades mecánicas de las arenas sintéticas. Sin embargo, su potencial es promisorio, y más aún, si las resinas biopoliméricas, obtenidas de un recurso orgánico natural, son biodegradables. La arena aglomerada con resina biopolimérica PLGA (poli ácido láctico-co-glicólico) tiene la mayor resistencia a la flexión 2,85 MPa, valor a tomar en cuenta para ser utilizado en moldes y núcleos de arena.

Las arenas aglomeradas inorgánicas geopoliméricas poseen valores de resistencia a la flexión intermedios. Por ejemplo, comparando la arena GR65 que tiene un valor de 2,4 MPa con la arena aglomerada con resina fu que posee un valor de 4,9 MPa, se muestra que existe una diferencia de aproximadamente la mitad.

La comparación del valor de la resistencia a la flexión de la arena aglomerada inorgánica geopolimérica GR65 (2,4 MPa) con la arena aglomerada con resina sintética fu (4,9 MPa), muestran que las arenas geopoliméricas, conformado por aluminosilicatos alcalinos, no podrían ser una buena opción para la elaboración de moldes, más aún, si se desean fabricar partes y elementos automotrices de geometrías complejas, ya que estas arenas no resistirían la presión de colado en el interior del molde.

Las arenas con los más altos valores de resistencia a la flexión son las que presentan un curado de 24 h. Esto indica que el tiempo que tarda en curar el aglomerante dentro de la arena de moldeo incide en el valor de la resistencia a la flexión.

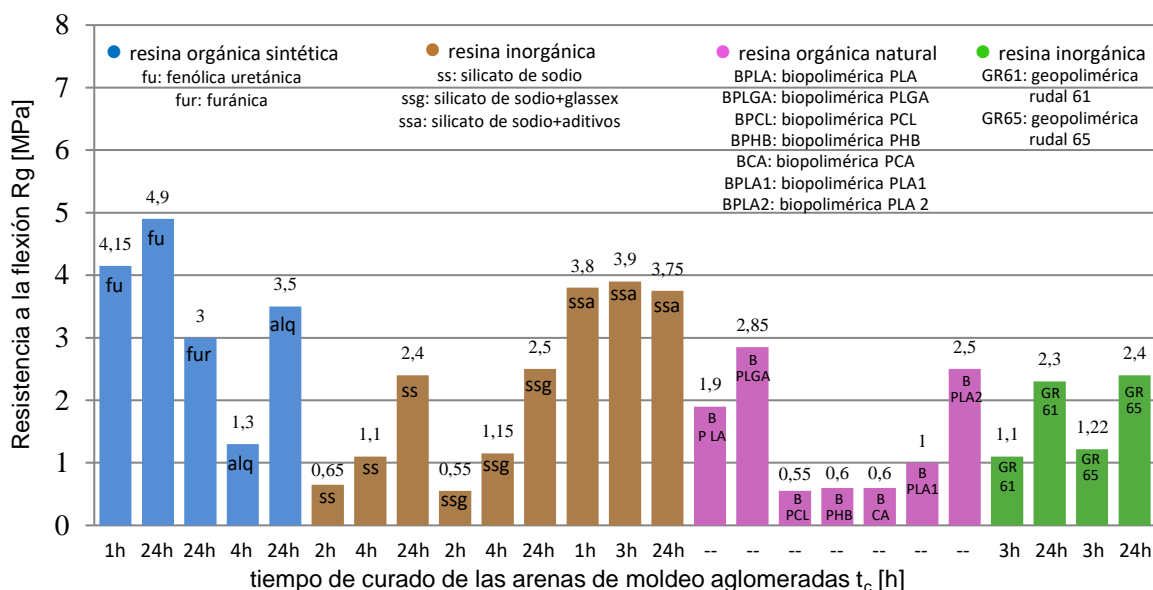


Figura 7. Resistencia a la flexión en arenas de moldeo aglomeradas mediante diferentes tipos de resinas
Fuente: Elaboración propia basada a partir de la Tabla 4.

8. IMPACTO MEDIO AMBIENTAL DE LAS ARENAS DE MOLDEO AGLOMERADAS

En investigaciones realizadas por Dobosz et al. (2011), Zaretskiy (2015) y Fedoryszyn et al. (2013), concuerdan que el uso de aglomerantes inorgánicos base silicato, inorgánicos geopoliméricos y orgánicos naturales biopolímeros, son amigables para el medio ambiente, logrando también mejorar las condiciones de trabajo.

Major-Gabryś, et al. (2011) realizó un estudio de nocividad de las arenas aglomeradas, en el que analizó los gases emitidos durante el calentamiento hasta 800 °C de la arena de moldeo aglomerada con resina natural biopolímero PLA y resina sintética furánica, dando como resultado que la arena aglomera con biopolímero es mucho más ecológica.

La planta industria BMW Light-Metal Foundry en cooperación con ASK Chemicals cambio su forma habitual de producir núcleos de arena, esta utilizaba un aglomerante orgánico sintético sustituyéndolo por un aglomerante inorgánico denominado Inotec que es amigable para el medio ambiente. Inotec es un aglomerante inorgánico de silicato de sodio, el cual otorga los siguientes beneficios a los núcleos de arena: excelente fluidez, gran resistencia mecánica, excelente resistencia en caliente, productividad comparable a otros sistemas aglomerantes, reciclable, son inodoros, excelente desarenado, además de no emitir gases durante su obtención y el vaciado del metal (Weissenbek et al., 2012).

El impacto ambiental al utilizar resinas orgánicas sintéticas es presentado por la industria BMW Light-Metal Foundry, en un artículo publicado por Weissenbek et al. (2012). El artículo muestra que durante y posterior vaciado de un cabezote, moldeado mediante núcleos

de arena aglomerada con resina orgánica, existe desprendimiento de humo y olores producto de la incineración del aglomerante, Figura 8, lo que motivó a la industria BMW a la creación de un aglomerante inorgánicos Inotec. Los resultados fueron obtenidos a partir de ensayos de tubo, calentados a temperatura de vaciado, como se muestran en la Figura 9. En el tubo de la izquierda se observa un humo originado por el aglomerante orgánico que escapa de la arena y se condensa en la pared del tubo, en cambio, en el tubo de la derecha no se muestra signos de condensación del aglomerante inorgánico. Con este aglomerante inorgánico Inotec se consigue: proteger a los trabajadores de gases tóxicos, cuidar el medio ambiente, evitar construir complejos sistemas de tratamiento y evacuación de gases.



Figura 8. Desprendimiento de humo y olores de los núcleos moldeados mediante arena aglomerada orgánica, durante y posterior vaciado de un cabezote (Weissenbek et al., 2012)



Figura 9. Tubo con arena aglomerada orgánica (izq.) existe desprendido de humo, tubo con arena inorgánica (dcha.) no muestra signos de humo. Los dos tubos fueron calentados a temperatura de vaciado (Weissenbek et al., 2012)

Además, de que la resina aglomerante inorgánica creada por la industria BMW Light-Metal Foundry no genera gases peligrosos, durante y posterior vaciado del metal en el molde, también no genera gases tóxicos durante la elaboración de los núcleos de arena.

La planta industrial BMW Light-Metal Foundry fabricó un cabezote para un motor diésel de seis cilindros en línea, utilizando para el proceso de manufactura moldeo de arena aglomerante inorgánico. El cabezote fabricado mostró mejores propiedades mecánicas en comparación a la utilización de arena aglomerada con resina orgánica, otorgando a este elemento mecánico una mejor eficiencia de combustible (Weissenbek et al., 2012). Estos aportes científicos por parte de la industria BMW avalan que las arenas aglomeradas con resinas inorgánicas de silicato de sodio son una alternativa viable para la fabricación de moldes y núcleos de elementos automotrices producidos en masa. Además, con los sistemas aglomerantes inorgánicos se obtienen elementos de gran calidad, se reduce el impacto medio ambiental, y se mejora el espacio laboral de los trabajadores.

ASK Chemicals logró desarrollar una nueva generación de resinas furánicas denominadas MAGNASET™, cuyo rendimiento es comparable al de las resinas de furánicas convencionales. Las resinas aglomerantes MAGNASET™ no son tóxicas, ya que posee un contenido de alcohol furfúrico inferior al 25%, tienen muy buenas propiedades de moldeo y producen excelentes acabados superficiales, similar a las resinas furánicas convencionales (Gieniec et al., 2013). La Figura 10 muestra que se puede reducir hasta en un 75% las

emisiones de alcohol furfurílico con el uso del aglomerante sintético MAGNASET™, lo que originará a futuro, mediante nuevas investigaciones, el desarrollo de resinas sintéticas de bajo impacto ambiental.

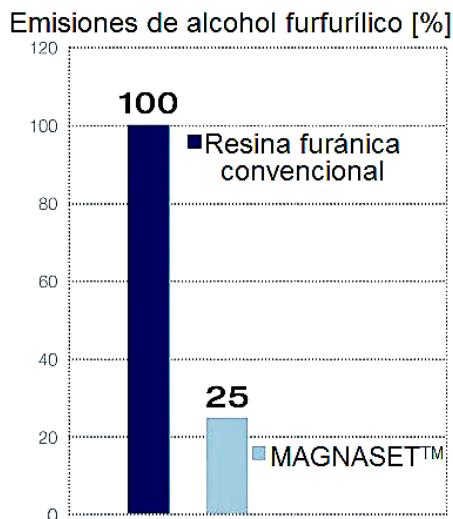


Figura 10. Reducción de las emisiones de alcohol furfurílico en un 75% debido al uso del aglomerante sintético MAGNASET™ (Gieniec et al., 2013)

9. CONCLUSIONES

- El desarrollo de las arenas aglomeradas con silicato de sodio permite en la actualidad colar por técnicas de die casting el metal en moldes constituidos por núcleos de arena, permitiendo fabricar partes y elementos automotrices de geometrías complejas que serán sometidas a grandes exigencias mecánicas.
- A pesar del desarrollo de otros sistemas aglomerantes, las arenas de moldeo aglomeradas con resinas sintéticas siguen siendo las más utilizadas por las industrias de manufactura automotriz, gracias a las propiedades que otorgan a los productos colados al momento del vaciado y posterior solidificación del metal en el molde de arena.
- Las ventajas que presentan las arenas aglomeradas con resinas sintéticas son ideales para la manufactura elementos automotrices como blocks de cilindros para motores de combustión interna, cabezotes, carcasas de cajas de transmisión, carcasas de compresores, soportes longitudinales para suspensión de ruedas, bridas en forma de estrella para vehículos ferroviarios, carcasas de cilindros y culatas para motocicletas, entre otras. Esto se debe a que la arena sintética posee elevados esfuerzos de flexión, compresión, tensión, además de resistir la abrasión, y poder ser desarenadas después del vaciado del metal.
- Generalmente el aumento de las propiedades de las arenas aglomeradas con resinas sintéticas tipo silicato de sodio se debe a la adición de un aditivo extra.

- Como una alternativa existen procesos aglomerantes híbridos, donde se mezcla la resina furánica y la resina biopolimérica PCL, obteniendo en moldes y núcleos resistencias a la flexión de aproximadamente 3,5 MPa.
- Existen arenas aglomeradas inorgánicamente mediante sales tipo NaCl, KCl, NaCl+ZrSiO₄, entre otras, en las que se ha obtenido propiedades mecánicas iguales a las arenas sintéticas.
- Si las arenas aglomeradas presentan mayores propiedades se podrá obtener un molde de menor espesor, lo que equivale al empleo de menos arena con el consecuente ahorro en costos.
- A pesar de los equipos de protección personal (EPP) para el manejo de las resinas orgánicas sintéticas, y de los sistemas de extracción y ventilación de gases, que son implementados en las industrias de fundición, es indispensable minimizar o evitar al máximo los daños a la salud que causa la exposición prolongada de estas resinas. Esto se puede lograr con la utilización de aglomerantes mencionados en este artículo.
- Los sistemas de aglomeración inorgánicos y biopolímeros han tenido una gran evolución, tanto así, que algunos de estos sistemas compiten con los aglomerantes sintéticos. Sin embargo, es difícil saber el número de industrias que han migrado al empleo de arenas inorgánicas o biopoliméricas, y si en este cambio ha existido problemas de roturas en los moldes o en los núcleos.
- Las arenas inorgánicas actualmente son empleadas para la fabricación de sistemas automotrices. Un ejemplo claro es el sistema inorgánico Inotec, creado por la planta industrial BMW Light-Metal Foundry, y que manufactura elementos como cabezotes.
- Las arenas inorgánicas base silicato y las orgánicas naturales, poseen cinco ventajas sobre las arenas orgánicas sintéticas: la primera, son ecológicas para el medio ambiente; la segunda, no se generan gases toxicológicos durante la preparación de la arena y la elaboración de los núcleos; la tercera, evita costosos sistemas de extracción y tratamiento de gases-humos-vapores; la cuarta, al emplear materias primas provenientes de recursos renovables los costos de producción en el transcurso de los años se mantienen más estables; y la quinta, cumplen con las normas ambientales exigidas por los organismos estatales e internacionales.
- En la actualidad existe más interés por el desarrollo de resinas aglomerantes que sean biodegradables y tengan el menor impacto ecológico. Sin embargo, también se deben enfocar los estudios hacia las pruebas de desarenado que brindan estas resinas después de colar el metal en el molde de arena.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASM HANDBOOK. (1998). *VOLUME 15 Casting*. USA: ASM International.

Barona, G. A., & Guilcamaigua, J. C. (2018). *Caracterización de un material compuesto de matriz aleación de aluminio-silicio reforzada con partículas de carburo de silicio* (Tesis de Maestría). Escuela Politécnica Nacional. Quito.

Dobosz, S. M., & Major-Gabryś, K. (2010). Strength properties of moulding sands with chosen biopolymer binders. *Archives of Foundry Engineering*, 10(3), 17-20.

Dobosz, S. M., Jelinek, P., & Major-Gabryś, K. (2011). Development tendencies of moulding and core sands. *China Foundry*, 8(4), 438-446.

Dobosz, St. M., Grabarczyk, A., Major-Gabryś, K., & Jakubski, J. (2015). Influence of Quartz Sand Quality on Bending Strength and Thermal Deformation of Moulding Sands with Synthetic Binders. *Archives of Foundry Engineering*, 15(2), 9-12.

Elío de Bengy, S. D., Tremps Guerra, E., Fernández Segovia, D., & Enríquez Berciano, J. L. (2012). Fabricación de camisas para motores diesel.

Esquivel Herrera, A. (2010). *Desarrollo de un aglutinante orgánico para la fabricación de moldes y corazones de arena* (Tesis Doctoral). Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

European Aluminium Association. (2002). *The Aluminium Automotive Manual Manufacturing-Casting methods*. Recuperado de <http://european-aluminium.eu/resource-hub/aluminium-automotive-manual/>

Fedoryszyn, A., Dańko, J., Dańko, R., Asłanowicz, M., Fulko, T., & Ościłowski, A. (2013). Characteristic of core manufacturing process with use of sand, bonded by ecological friendly nonorganic binders. *Archives of Foundry Engineering*, 13(3), 19-24.

Gieniec, A., Müller, J., Vacelet, P., ASK Chemicals GmbH, Hilden. (2013). Innovative binders for eco-friendly and highly productive processes. *Giesserei-Verlag*, 8-10.

Major-Gabryś, K., Dobosz, S., & Jakubski, J. (2011). The estimation of harmfulness for environment of moulding sands with biopolimer binder based on polylactide. *Archives of Foundry Engineering*, 11(1), 69-72.

Major-Gabryś, K., Grabarczyk, A., & Dobosz, St. M. (2016). The Compositions: Biodegradable Material– Synthetic Resins as Moulding Sands Binders. *Archives of Foundry Engineering*, 16(4), 75-78.

Ministerio de Empleo y Seguridad Social del Gobierno de España. *SITUACIONES DE EXPOSICIÓN A AGENTES QUÍMICOS. Elaboración de moldes de fundición con resinas autofraguantes: exposición a formaldehído, alcohol furfurílico y fenol.*

(BASEQUIM 018A). 2018. España: Instituto nacional de seguridad, salud y bienestar del trabajo.

Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (Eds.). (2005). *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. Boca Raton: CRC press.

Pezarski, F., Smoluchowska, E., & Izdebska-Szanda, I. (2008). Application of geopolymer binder in manufacturing of casting from ferrous alloys. *The Transactions of the Foundry Research Institute*, 2, 19-34.

PrometalRCT. (19 de octubre, 2010). Rapid Prototyping and Digital Sand Casting Services [YouTube]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=Z8MaVaqNr3U>

Sáenz Valdez, A. A. (2010). *Desarrollo de un aglutinante inorgánico para la producción de corazones en la industria automotriz* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

Schilling, U., & Schnaibel, S. *Reacondicionamiento de bloques de motores de aluminio*, 2009. Heilbronn: MS Motor Service International GmbH.

Sertucha, J., & Suárez, R. (2005). Materiales inorgánicos aplicados en la fabricación de piezas de fundición. In *Anales de la Real Sociedad Española de Química* (No. 3, pp. 17-27). Real Sociedad Española de Química.

Weissenbek, E., Kautz, T., Brotzki, J., & Müller, J. (2012). Tomorrow's Cylinder Head Production Ecology, Economy and Material Enhancement Brought in Line. *Auto Tech Review*, 1(4), 54-59.

Zaretskiy, L. (2016). Modified Silicate Binders New Developments and Applications. *International Journal of Metalcasting*, 10(1), 88-99.

Para citar el artículo indexado.

Barona, G., Guilcamaigua, J., Albarracín, M. & Velasteguí E. (2018). Arenas de moldeo aglomeradas con resinas: orgánicas sintéticas, inorgánicas y orgánicas naturales biopolímeros, aplicadas en la industria automotriz. Revista electrónica Ciencia Digital, 3(3), 587-616. Recuperado desde:

<http://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/178/>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.

