



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

**“AGLUTINANTES RESINOSOS UTILIZADOS
PARA FUNDICION”**

TESIS

Que para obtener el título de
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

presenta

JESUS FABIAN NUÑEZ HERNANDEZ

**MEXICO
1982**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO SEGUN EL TEMA

PRESIDENTE	<u>MANUEL F. GUERRERO FERNANDEZ</u>
VOCAL	<u>MARIA EUGENIA NOGUEZ AMAYA</u>
SECRETARIO	<u>MARCELINO MADRIGAL DUARTE</u>
1er. SUPLENTE	<u>CANDIDO ATLATENCO TLAPANCO</u>
2o. SUPLENTE	<u>GUILLERMO ANTUNEZ CABEL</u>

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

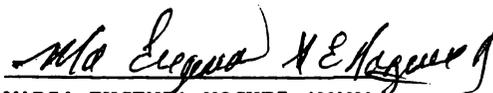
POLIFOS, S.A. DE C.V.
SOCIEDAD MEXICANA DE FUNDIDORES, A.C.
FACULTAD DE QUIMICA

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL SUSTENTANTE:



JESUS FABIAN NUÑEZ HERNANDEZ

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL ASESOR DEL TEMA:



MARIA EUGENIA NOGUEZ AMAYA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

RECONOCIMIENTO Y AGRADECIMIENTO

La elaboración de esta tesis hubiera sido difícil de no haber contado con la invaluable asistencia de muchos fundidores que me brindaron generosamente su ayuda al poner a mi disposición los detalles de las técnicas empleadas en sus fundiciones particulares.

En especial agradezco infinitamente a los Directores y Staff de Polifos, S.A. de C.V., en particular al Ing. Manuel Cunillé R. Director Técnico de dicha Compañía por su atención particular y sin la cual no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

A la Maestra en Ciencias Ma. Eugenia Noguez Amaya coordinadora del Area de Metalurgia de la Facultad de Quimica por haber sido la guía asesorando este trabajo.

Asimismo expreso mi reconocimiento a los Directivos de la Sociedad Mexicana de Fundidores, A.C. por haberme dado la facilidad de disponer de toda la bibliografía y los estudio más actualizados con que cuenta en su biblioteca.

Expreso mi gratitud especial a todos los Compañeros y Maestros que de una forma u otra forma colaboraron en la elaboración de este estudio, y por último quiero hacer constar un sincero agradecimiento a mi padrino y amigo el Ing. Roberto Romo Santillán, por el apoyo y la colaboración que ha otorgado a las nuevas generaciones de ingenieros químicos metalúrgicos, y que gracias a su ayuda ha sido menos difícil el lograr que la gente que apenas empieza tenga la oportunidad de poder demostrar su eficiencia.

Al final de esta etapa dentro de las muchas que tiene la vida, no me resta más que manifestar mi firme decisión de tratar de mantener siempre en alto a través de todas las actividades que realicé, el orgullo de ser siempre un profesional universitario.

A MIS PADRES:

**SR. JUAN NUÑEZ M.
SRA. MARIA HERNANDEZ M.**

A MIS PADRINOS:

**SR. SALVADOR VALDEZ
SRA. ENRIQUETA ALARCON**

A MIS HERMANOS:

**JOSE ANTONIO
JUAN ANDRES
ENRIQUE**

A ELIA ANGELES M. POR EL FUTURO

I N D I C E

INTRODUCCION

- CAPITULO I. ANTECEDENTES Y EVOLUCION DE LOS AGLUTINANTES
 - I.1 Generalidades
 - I.2 Características Generales

- CAPITULO II. PROPIEDADES DE LAS RESINAS
 - II.1 Propiedades Físicas
 - II.2 Propiedades Químicas

- CAPITULO III. PROPIEDADES DE LAS ARENAS
 - III.1 Propiedades Físicas
 - III.2 Propiedades Químicas

- CAPITULO IV. PRINCIPALES METODOS DE MOLDEO UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA DE LA FUNDICION ACTUAL

- CAPITULO V. EFECTO ECOLOGICO DE LAS ARENAS AGLUTINADAS

- CAPITULO VI. GRAFICAS DE PUREBAS EN EL LABORATORIO UTILIZANDO MEZCLAS DE RESINAS PARA LOS DISTINTOS PROCESOS

- CAPITULO VII. ANALISIS DE RESULTADOS

- CAPITULO VIII. CONCLUSIONES

- CAPITULO IX. BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

La Industria de la Fundición en México es vital para el desarrollo de la Industria de Manufactura en General y, en particular de su importancia para las Industrias de Bienes de Capital y Automotriz -- que forman la base de la capacidad tecnológica del país.

Desafortunadamente, la Industria de la Fundición, siendo uno de los medios más antiguos para el conformado de los metales, ha estado considerada hasta ahora como una industria familiar a nivel artesanal; cuando en realidad ya está bastante avanzada y los principios científicos y tecnológicos modernos se aplican en forma rutinaria a las operaciones normales de la fundición.

Una de las áreas técnicas dentro de la fundición que actualmente es parte importante y donde se han llevado a cabo algunas de las innovaciones más sobresalientes para la elaboración de los moldes y corazones, es el uso desde hace algunos años de los aglutinantes resinosos, en general, la gran mayoría de ellas todavía conserva métodos tradicionales y de tipo casero que las ha sumido en los grandes problemas de falta de producción y de calidad de su producto terminado.

Actualmente de acuerdo a las necesidades del país, la producción de moldes y corazones para la obtención de piezas de fundición ha dejado de ser un trabajo de tipo artesanal y familiar en el que solo un grupo de personas podían llevarla a cabo y esa misma producción no solo ha dejado de depender de unos cuantos, sino que ha servido para aumentar la producción y la calidad de las piezas terminadas en aquellas fundiciones que han implantado los nuevos procesos de fabricación diferen-

tes de los convencionales.

Considerando la importancia de hacer resaltar la necesidad de implantar los nuevos procesos de fabricación de moldes y corazones necesarios para ayudar al fundidor a resolver sus múltiples problemas de producción y de calidad, se ha realizado este trabajo con el mayor deseo a través de la elaboración de él, de contribuir con todos los técnicos y fundiciones del país a que se adquiriera una visión del tipo de aglutinantes resinosos que se pueden emplear para los variados y nuevos procesos existentes hasta ahora en la fabricación de moldes y corazones y, además que los temas aquí expuestos puedan más que todo ser un elemento efectivo para difundir y ayudar a elegir una solución de los numerosos problemas de la producción nacional de la industria de la fundición.

CAPITULO I

I. ANTECEDENTES Y EVOLUCION DE LOS AGLUTINANTES

A medida que observamos los progresos efectuados por el hombre desde la era de las cavernas al tiempo presente, resulta obvio que la capacidad de progreso ha estado siempre asociada a la capacidad para fundir y utilizar los moldes y metales.

Desde las lanzas primitivas con punta de metal forjado utilizadas para la cacería, hasta la llegada del hombre a la luna, la fusión de los metales y el descubrimiento de como hacer uso de combinaciones específicas de metales o aleaciones para ciertos requerimientos, aunado con el tipo de pieza que se va a fabricar, consecuentemente que molde se va a utilizar y que características debe tener, han determinado el nivel o avance de la civilización misma. Más aún, aquellos que están asociados de una manera u otra a la industria de la fundición, están siguiendo a una gran línea de acontecimientos pertenecientes a una de las profesiones más antiguas del mundo: La Industria de la Fundición de los Metales.

En los últimos años una de las innovaciones más sobresalientes en el área técnica de la fundición para la elaboración de los moldes y corazones, fué la introducción de los aglutinantes químicos, en particular de las resinas orgánicas.

El aumento de interés en el uso de los aglutinantes de origen químico comparado con el moldeo de arena en verde, es debido básicamente a las propiedades metalúrgicas obtenidas, a la mayor productividad y al hecho de que los aglutinantes químicos no requieren de personal -

de mucha experiencia para lograr su aplicación.

Los aglutinantes químicos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos; las ventajas técnicas de las resinas orgánicas han dado lugar a grandes avances en el campo de los aglutinantes orgánicos a pesar de sus altos precios, por sus bajos porcentajes de adición en la arena, su uso se justifica por su gran economía y por su gran facilidad de manejo. Los aglutinantes de cualquier forma dependen de la industria petroquímica y por esto están sujetos a problemas potenciales de abastecimiento y fluctuaciones en el precio debido a la inestabilidad del petróleo en este momento. En forma adicional hay que prestar atención a los problemas de contaminación y de olores que se asocian con los aglutinantes orgánicos.

Desde tiempo inmemorial, cuando los primeros hombres aprendieron que el metal cuando es fundido podría ser vaciado dentro de una forma específica con cavidades o aberturas, el hombre ha contribuido con su ingenio en la búsqueda y el uso de un material capaz de aglutinar arena.

Con el uso originalmente de aglutinantes de arcilla, la ciencia de los materiales de moldeo y aditivos fué primero una ciencia de prueba y error particularmente al inicio de los años de 1900.

Los artesanos de los metales usaron misteriosas combinaciones como estiercol de caballo, melcochas, sulfitos, lejías y aceites derivados de pescado para obtener una buena superficie metálica, mejores detalles de la fundición y más aún, una mayor facilidad para el desmoldeo y colapsibilidad del corazón durante la solidificación del metal.

Los corazones y moldes pueden ser hechos de metal, de yeso, - cera o materiales cerámicos, pero lo más común generalmente usado en - la industria de la fundición, son los moldes y corazones hechos de arena revestida con un aglutinante. El requerimiento fundamental de cualquier molde o corazón es que el material aglutinante deberá ser destruido por el calor residual de la fundición, de tal forma que la arena - pueda ser fácilmente removida; acoplado con este factor están las necesidades para una baja evolución de gas del aglutinante, facilidad de - producción tanto de los moldes como de los corazones y suficiente resistencia para las operaciones de manejo.

Fue durante los años de 1700 que se realizó el descubrimiento mediante el cual se proporcionaron datos demostrando que la adición de aceite de linaza a la arena producía un endurecimiento de ésta fuerte- y a prueba de agua.

Ingredientes tales como harina de trigo, de centeno y estiercol de caballo se adicionaron a la arena para impartir propiedades de resistencia en verde y ganar colapsibilidad. Al final del año de 1700, se descubrió que una mezcla de aceite de linaza con brea y un solvente adecuado proporcionaba mejores propiedades que el aceite de linaza solo como aglutinante.

Justo antes de 1900 la brea seca se convirtió en uno de los - aglutinantes usados en lugar del aceite de linaza para proporcionar mejor colapsibilidad. Esta brea se convirtió en un aglutinante que se - fundía y fluía entre los granos de arena durante el curado de los mol- des y corazones, cuando el corazón o molde se enfriaban, la brea solidificaba y el corazón endurecía.

Aunque las ventajas termoplásticas de la brea reducían grandemente la tendencia al rompimiento en caliente, el manejo y almacenamiento de la brea en polvo presentó dificultades especialmente en un clima caliente. Pronto se aprendió que arena limpia con bajos porcentajes de aceite y cereal podría proveer excelente colapsibilidad.

La constante búsqueda de nuevos materiales y el ingenio inventivo de los fundidores vieron desarrollar en esta época otro material, "EL LIGNONE", también conocido como "resina de sulfito", de papel triturada o líquida. Este material fué hecho a partir de la pulpa de madera y la industria del papel molido y cuando se usaba en conjunción, con un aglutinante producía buenos resultados, curaba rápidamente y poseía propiedades considerables de resistencia a la tensión; pero como en el caso de la melcocha, su higroscopía alta causaba mucho rechazo, por lo que la melcocha, una solución viscosa de azúcar, empezó a ganar otra vez aceptación en las fundiciones de esa época. Fueron hechas modificaciones en las propiedades de los moldes y corazones individualmente manufacturados con aceite, pero básicamente las composiciones de este aceite fueron las mismas hasta 1915.

Los precios del aceite de linaza crecieron grandemente durante los años de la Primera Guerra Mundial y, en adición a esto, el aceite fué más difícil de obtener. Como se ha repetido muchas veces, en nuestra industria, como en muchas otras, por virtud de su urgencia, el aceite de linaza fué reemplazado en parte por otros aceites, como aceite de algodón, de madera china y aceite de pescado.

Fueron hechas pruebas y experimentaciones no sólo para probar los nuevos aceites sustitutos que, además de proporcionar propiedades

iguales al de linaza, fueron materiales con un costo más bajo.

A principios de 1915 fué introducido otro nuevo aglutinante, la harina de maíz. Los aglutinantes de harina de maíz fueron bien recibidos por la industria y la dextrina se extendió rápidamente reemplazando la harina de trigo y centeno. Se encontró más tarde que al añadir grandes cantidades producía mucho gas, en consecuencia se provocaban grandes defectos en las piezas y la mezcla de arena era pastosa y difícil de trabajar, con la desventaja también de la fermentación. Pero la dextrina además proporcionaba excelente resistencia en seco y en combinación con el aceite producía mejores corazones y moldes y mejores superficies de fundición.

Los aglutinantes de harina de maíz o cereal estaban destinados a permanecer en la industria y hoy encontramos que los cereales son un elemento primario en la formulación de arena para corazones y moldes, donde su uso, en pequeñas cantidades, es suficiente para mantener una baja evolución de gas y la necesaria resistencia en verde para obtener las dimensiones del modelo.

En la mitad del año de 1930, grandes cantidades de aceite de soya, un nuevo aceite semisecante, empezó a usarse. Este aceite ayudó a estabilizar los precios de los aceites hasta esa fecha utilizados, porque su producción era superior a la de los aceites de maíz y algodón. Fué en este mismo período cuando un nuevo proceso conocido hoy como polimerización, fué descubierto.

Las resinas polimerizadas resultantes de los procesos pudieron ser usadas como agentes catalizadores para aumentar la velocidad de endurecimiento de los aceites secantes y fueron tan efectivos tan-

to con el aceite de soya como con el aceite de linaza. Con este nuevo proceso el curado de los moldes y corazones fué perfeccionado grandemente, pero se incrementó la demanda de corazones y la capacidad insuficiente del curado provocó un problema en la industria de la fundición.

La extensión en el uso de las resinas en la fabricación de corazones y moldes, produjo grandes ventajas y mejoró enormemente la producción y muchos de los llamados corazones y moldes de aceite de fraguado rápido proveyeron los medios para eliminar la producción insuficiente; ésta fué, además, la primera vez que los fundidores tuvieron la seguridad de contar con una forma de control sobre su ciclo de curado.

En 1929 la Compañía Durex introdujo una resina termofija soluble en agua como un reemplazo del aceite secante y, en 1930 se emitió la patente, la cual cubrió las propiedades y aplicaciones de las resinas termofijas para su uso específicamente en la fabricación de corazones y moldes para fundición. Aunque raro, la industria aceptó poco cualquier cambio de las prácticas tradicionales e ignoró la posibilidad de usar resinas termofijas como un aglutinante para moldes y corazones.

Unos años antes de la Segunda Guerra Mundial algunos aglutinantes resinosos plásticos fueron probados como aglomerantes de arena para fabricar corazones. El primero en ser probado fué del tipo ureaformaldehído, disponible en forma líquida y en polvo. El polvo seco consistía en 100% de resina, el material de tipo líquido contenía de 60 a 75% de resina sólida en solución con agua.

Estas resinas del tipo urea son solubles en agua y son fácilmente dispersadas en la mezcla de arena; son resinas que fijan rápidamente y son polimerizadas completamente y endurecidas a temperaturas por abajo de 350 grados centígrados. Sin embargo, estas resinas no son completamente resistentes a la humedad y son difíciles de polimerizar cuando absorben humedad de la atmósfera, pero tienen una ventaja sobre los más viejos aglutinantes y es que éstas tienen un muy rápido rompimiento cuando entran en contacto con el metal fundido proporcionando buenas propiedades tanto en caliente como en verde.

Después de la introducción de las resinas de urea, las resinas de fenol-formaldehído se introdujeron en la industria de la fundición como un nuevo aglutinante para corazones. Estas resinas base fenol producen olores desagradables cuando se mezclan con la arena y además causaron problemas de picado en la caja de corazones, por lo que estos dos problemas retardaron su uso inicial como aglutinante para corazones. Una cronología de la aparición de los procesos se enlista en la Figura 1.

Poco después de la Segunda Guerra Mundial, los investigadores científicos de los Estados Unidos, descubrieron una patente editada por Johannes Karl A. Croning, en 1944, consistente de una resina sintética soluble en agua como un aglutinante para arena, a partir de la cual se desarrolló la resina utilizada para el proceso de moldes en "Shell", como se le conoce actualmente.

Los experimentos iniciales en 1948 fueron destinados a la producción de simples moldes de Shell usando un depósito de arena que contenía una mezcla seca de arena, resina en polvo y catalizador; pero -

por los problemas de la segregación de la resina, la mezcla de arena - resultó inadecuada para la fabricación de los moldes o corazones.

La compañía General Motors fué una de las primeras en concebir el revestimiento de los granos de arena con resina para producir - corazones soplados. Esto fué logrado por la disolución de la resina - en polvo en alcohol y siguiendo a la solución un goteo lento sobre la arena durante el mezclado; la fricción generada durante el mezclado - fué suficiente para evaporar el solvente, fué entonces cuando se tuvo el primer uso de arena revestida en la producción de corazones y moldes de Shell.

Los primeros métodos desarrollados para producir arena reves tida con resina fueron descritos como proceso en frío, estos fueron -- muy usuales en esta época porque utilizaron el equipo disponible de -- mezclado.

Algunas modificaciones a estos métodos se lograron con la in troducción de aire caliente con lo que se redujo el tiempo de mezclado. Estos métodos modificados fueron conocidos como "Procesos Calientes".- El desarrollo actual de estos métodos de revestimiento en caliente vi- no posteriormente, limitándose este adelanto por el factor de que se - requería equipo de proceso más especializado.

Con el uso de placas o modelos calentados para producir los moldes o corazones es como se dió origen al proceso conocido hoy como "Caja Caliente".

Aunque la técnica para la producción de corazones fué introdu cida a la industria en 1958, la compañía Ford Motor parece haber hecho

el primer corazón por caja caliente en 1955. El mecanismo de soplar arena con resina fenólica usada para corazones de shell desde 1950 dentro de una caja caliente, ha obtenido los mismos resultados actualmente.

El factor de que las mezclas de caja caliente fueran húmedas en lugar de secas, hizo que se usaran los sopladores de corazones convencionales.

Otra gran ayuda en los sucesos del proceso de caja caliente fueron los continuos desarrollos de las resinas químicas. Aproximadamente fué en este período en que el uso del alcohol furfúrico fué incorporado en la fabricación de la resina líquida sintética como aglutinante.

El alcohol furfúrico ha sido comercializado y puesto en uso en una gran variedad de productos desde 1934, es uno de los numerosos derivados del furfural, un producto obtenido de las mazorcas de maíz y varios productos naturales más.

Varias propiedades son deseables del alcohol furfúrico y sus habilidades como un solvente en las resinas sintéticas, particularmente como un solvente reactivo con urea y con las resinas fenólicas, lo que permitió el desarrollo y uso de las resinas en base al alcohol furfúrico para lograr una alta velocidad de producción de corazones en caja caliente.

Los aglutinantes originales de caja caliente fueron desarrollados usando resinas de alcohol furfúrico-urea-formaldehído, referidas más comúnmente como resinas modificadas con urea actualmente. Estas resinas proporcionan buena estabilidad al almacenarse, buena --

fluidez y rápido curado.

En desarrollos posteriores, aproximadamente en 1961, se logró la introducción de las resinas de fenol-formaldehído y de urea-formaldehído, las cuales son más ampliamente usadas en la actualidad. Aunque poseían ciertas desventajas, con ellas se obtuvieron resistencias más altas en caliente, mayor resistencia a la humedad y fueron mucho más baratas.

Simultáneamente con la sucesiva producción de moldes y corazones con las resinas furánicas, se encontraron nuevas propiedades usando estos aglutinantes y catalizadores, las cuales fueron usadas como un nuevo concepto de curado en frío del corazón.

El propósito de esto era bajar los costos de producción y perfeccionar los ciclos de curado y producción, eliminando el uso de equipo demasiado caro y con alto mantenimiento. El desarrollo de las resinas furánicas dió por resultado una producción de corazones y moldes mucho más rápida, alta perfección dimensional y alta resistencia en seco; el primero de estos aglutinantes de autofraguado llamó la atención de la industria de la fundición en 1958.

Probablemente uno de los grandes factores que contribuyeron al uso de este tipo de resinas, fué la introducción de lo que sería el primero de los aglutinantes de autofraguado: el aceite de isocianato, conocido por primera vez en 1956.

En la década pasada en base a los numerosos estudios y desarrollos de los productores de resinas y con el fin de superar las deficiencias de los sistemas ya implantados, se crearon mayores áreas de

desarrollo con este aceite de isocianato de autofraguado, las cuales fueron producidas después de una seria escasez de alcohol furfurílico en 1965.

En la mayoría de las veces estos sistemas de aceite de isocianato, son mezcla de fraguado al aire, basadas en una o dos partes de resina alquídica, aceite de linaza, un secador usualmente naftenato de cobalto y un endurecedor como el metilen-difenil-diisocianato (MDI).

Con un nuevo y abundante suministro de alcohol furfurílico, se introdujeron nuevos sistemas de aglutinantes furánicos con el interés de superar algunos de los defectos desagradables obtenidos en las piezas de fundición como resultado del alto nivel de nitrógeno contenido en el aglutinante, lo que provocaba una gran evolución de gases.

La tendencia a desarrollar un grupo de aglutinantes libres de nitrógeno se fué desarrollando con el fin de encontrar solución a tipo de problemas mencionados anteriormente. En busca de la respuesta a este problema original, se anunció en 1964 un proceso de producción de corazones en frío no gaseado, denominado Proceso de Caja Fría y en 1968 el proceso gaseado.

Este nuevo proceso de caja fría usa un aglutinante el cual está basado en un sistema orgánico de dos partes que cura los moldes y corazones a temperatura ambiente en presencia de un catalizador en forma de vapor.

Los cambios y los progresos sobre los años relatados anteriormente han sido profundos y el ver surgir cada día muchos más nuevos adelantos tendientes a que se empleen cada vez más intensamente --

Los aglutinantes resinosos, han hecho que poco a poco, esta rama de la fundición (fabricación de moldes y corazones) se convierta en una sección más controlada y fácil de manejar.

CRONOLOGIA DE LOS SISTEMAS UTILIZADOS
PARA AGLUTINAR CORAZONES Y MOLDES

- 1933 PROCESO RANDUPSON (Utilizando cemento como aglutinante)
- 1948 PROCESO DE CASCARA (Revestimiento en frío)
- 1952 PROCESO DE CASCARA (Revestimiento tibio)
- 1954 PROCESO "D" Aceite-Oxígeno-Silicato de Sodio/CO₂
- 1955 PROCESO DE CASCARA (Revestimiento en caliente)
- 1956 SISTEMAS ACRILICOS
- 1958 PROCESO DE CAJA CALIENTE FURANICO
PROCESO DE AUTOFRAGUADO FURANICO (Alcohol Furfurílico-Urea)
- 1960 PROCESO DE CAJA CALIENTE (Inorgánico)
- 1961 PROCESO DE CAJA CALIENTE FENOLICO
- 1964 PROCESO DE CAJA FRIA (No gaseado)
- 1965 PROCESO DE SILICATO DE SODIO
PROCESO DE CAJA CALIENTE (Orgánico)
PROCESO DE AUTOFRAGUADO ACEITE-ISOCIANATO
- 1966 PROCESO DE AUTOFRAGUADO FURANICO (Urea-Fenólico)
PROCESO DE AUTOFRAGUADO FURANICO (Urea-Fenólico-Furfural)
- 1967 PROCESO DE SILICATO DE SODIO (Con endurecedores inorgánicos)
PROCESO DE CEMENTO
- 1968 PROCESO DE SILICATO DE SODIO (Con endurecedores orgánicos)
PROCESO DE CAJA FRIA (Gaseado)
- 1969 PROCESO DE RESINAS EPOXICAS

F I G U R A 1

I.1 GENERALIDADES

Los aglutinantes resinosos desde que fueron introducidos por primera vez, han asumido un papel de máxima importancia en la producción de fundiciones. Los principios básicos de consolidar masas de arena para producir corazones y moldes no son nuevos, pero la adaptación de varios sistemas de resinas para este propósito no solo ha sido nueva, sino también revolucionaria.

El continuo desarrollo hecho por la industria química, ha aportado innovaciones en los aglutinantes y ha evolucionado los métodos de producción. La nueva tecnología ha involucrado resultados de operaciones más limpias y rápidas, una calidad bastante mejorada y vaciados más precisos. Esta nueva tecnología, a su vez, no está limitada a los sistemas de aglutinantes, sino que también se aplica al instrumental y maquinaria altamente especializada.

Los nuevos sistemas de aglutinantes son productos químicamente reactivos, variando radicalmente en su composición, pero hasta cierto punto similares en las características físicas del producto final obtenido.

Las características de endurecimiento se pueden acelerar por medio de calor o de la acción catalítica de un agente reactivo especial y al estar endurecidos nunca podrán convertirse a su estado original.

La inmensa mayoría de los aglutinantes comunes requieren de la adición de otro componente reactivo, agente catalítico o catalizador. La eficiencia de los aglutinantes se observa grandemente in-

fluenciada al seguir cuidadosamente las recomendaciones del proveedor y por la buena dispersión de los varios ingredientes que los componen.

Algunos de los aglutinantes varían su sensibilidad a la temperatura ambiente, mientras que otros permanecen inafectados, no obstante todos los aglutinantes al mezclarse con otros componentes catalizadores o aceleradores, preparados en una mezcla de arena lista para usarse, tienen una vida de uso corta y se deben emplear dentro de límites de tiempo específicos.

Las propiedades físicas de la masa de arena aglutinada se ven afectadas adversamente conforme la mezcla envejece, siendo por lo tanto, muy importante establecer la vida de uso aceptable del aglutinante usado, de acuerdo con el tiempo límite de uso de cada mezcla de arena.

Los proveedores de los aglutinantes especifican las proporciones correctas de los diferentes aditivos a fin de obtener los mejores resultados. Sus recomendaciones deben seguir exactamente, a menos que los resultados indiquen que es necesario hacer alguna modificación. Las recomendaciones de los proveedores están basadas en el balance químico deseado entre el material básico y el aditivo, a una temperatura de 25°C, generalmente.

Cualquier cambio en la temperatura atmosférica o de la arena, si es excesivo, puede producir resultados desastrosos, debiéndose hacer cambios en las proporciones de aglutinante y catalizador para poder obtener las condiciones más adecuadas.

Siempre que se deba mantener el balance químico en cualquier reacción, los demás ingredientes orgánicos e inorgánicos llegan a ser-

extremadamente importantes.

La arena usada en estas formulaciones, puede influenciar fácilmente el resultado final, ya que forma la mayor parte del total. La experiencia ha mostrado que los dos factores de la arena más importante a controlar son el contenido de arcilla y el pH o demanda de ácido. Ya que las arcillas absorben resina y son de naturaleza alcalina, esto hace que se reduzcan las propiedades de resistencia y en la mayoría de los casos, su alcalinidad reduce la velocidad de curado de las resinas. El rango de pH deseado es de 6.3 a 7.2. Los aglutinantes resinosos, a excepción de los del tipo uretano, tales como los usados en los procesos de "curado en frío" o "caja fría", se aceleran con ácidos, por lo que en estos casos se prefiere usar arenas neutras o ligeramente ácidas.

Con excepción del proceso de cáscara, la cantidad de aglutinante resinoso que se requiere para producir corazones aceptables y -- moldes, es menor que la requerida anteriormente al usar aceite y cereal, por lo que la cantidad de gas producida es proporcionalmente menor.

Los aglutinantes resinosos difieren considerablemente en la cantidad de carbón producida al descomponerse en presencia del metal fundido. Todos los tipos de aglutinantes fenólicos y furánicos son capaces de producir aproximadamente el 50% de su peso de sólidos, como cartón. En los aglutinantes fenólicos y furánicos modificados, la cantidad de carbón formada será proporcional a su contenido de fenol o alcohol furfurílico. El carbón formado actúa como una ligadura de alta temperatura para los granos de arena y permanece en posición hasta que

haya oxígeno disponible, posteriormente se elimina como CO o CO₂. Los aglutinantes uréicos y de tipo uretano producen una cantidad de carbón muy pequeña o nula.

Es por esta razón que los corazones o molinos de arena seca o húmeda aglutinados con resinas de tipo fenólico o furánico, presentan mayor resistencia a la temperatura, requiriendo mayores temperaturas y períodos más largos para producir el rompimiento completo del producto aglutinado.

I.2 CARACTERISTICAS GENERALES

Los aglutinantes termoestables cuando fueron introducidos por primera vez en la industria de la fundición, provocaron un hallazgo de carácter revolucionario, ya que era el primer sistema de aglutinantes-completamente dependiente del calor para su fraguado y completamente independientes de la oxidación y/o evaporación.

Este aglutinante era lo que generalmente se conoce como "resina fenólica soluble en agua". Esta terminología requiere de una explicación, ya que las resinas fenólicas no son solubles en agua. Esta resina es realmente el producto inicial de la condensación del fenol-formaldehído y es soluble en agua; con la reacción química detenida en este punto, su funcionamiento como aglutinante es excelente.

En esta forma se debe almacenar a temperaturas relativamente bajas, ya que la reactividad continúa y conforme a ello, la solubilidad en agua disminuye generalmente hasta el punto en que se presenta una separación completa del agua, ocasionando que la resina no sea adecuada para su uso.

La resina fenólica soluble en agua fue y es aún utilizada como sustituto directo del aceite. La principal ventaja que ofrece sobre el aceite es su rápido curado al hornearse. El tiempo de horneado de la resina fenólica es aproximadamente el 25% del tiempo requerido por los aceites a la misma temperatura.

Su introducción fue inmediata en aquellas fundiciones que tenían poca capacidad en sus hornos, pero en general, su aceptación encontró considerable resistencia debido a los costos más altos sobre el

aceite. La resina fenólica soluble en agua es libre de nitrógeno y -- por esta sola razón, se usa ampliamente en la industria de fundición - de acero de bajo carbono.

Otro tipo de resinas introducidas en la industria de la fundición fueron los aglutinantes uréicos, los cuales son producto de la reacción urea formaldehído. Al principio se usaron solamente como substitutos del aceite de corazones, las características de curado de estas resinas son considerablemente más rápidas que las de las fenólicas solubles en agua.

Se encontró entonces que, debido a su rápida reactividad, podían fraguar en muy corto tiempo, obteniéndose curados bastante satisfactorios en cuestión de segundos o minutos, dependiendo del tamaño -- del corazón o del molde.

Para acelerar el tiempo de fraguado se empezaron a utilizar - hornos dieléctricos o de rayos infrarrojos en los que los ciclos de curado son un poco más lentos, pero considerablemente más rápidos que -- los hornos convencionales. Cuando se ha calcinado el corazón o el molde, prácticamente no hay formación de carbón, lo que ayuda a un desrendimiento rápido, este solo hecho hace que los corazones o moldes - aglutinados con urea sean especialmente útiles en la producción de piezas de aluminio.

Otro nuevo proceso que se llamó originalmente el "Proceso - Cronning", fué desarrollado en Alemania por Johannes Cronning, más tarde se le conoció como el "Proceso C" y más recientemente como el "Proceso de Cáscara" o "Shell Process". Fué un desarrollo extremadamente-

importante y quizá revolucionario, pues ilustró por primera vez las -- grandes ventajas ofrecidas por las matrices calientes en el uso de - - aglutinantes termofraguantes.

Aunque se desarrolló en Alemania durante los años de la Segunda Guerra Mundial, no estuvo disponible para la industria de la fundición, sino hasta fines de 1949 y principios de 1950.

La introducción original de este proceso se hizo con una mezcla de resina pulverizada con arena seca y una matriz caliente. Pronto se encontró que la mezcla no era muy satisfactoria para la producción de corazones soplados, debido principalmente a la segregación severa de la arena y la resina que ocurría durante el soplado. La segregación producía un aglomeramiento de la resina en el orificio de soplado y en las ventilas del soplador, creando problemas de desmoldeo debido a que se pegaban en la caja de soplado produciendo una estructura del corazón no uniforme.

No fué sino hasta el desarrollo de las arenas recubiertas con resinas, que el proceso de cáscara ganó aceptación y se adoptó rápidamente.

El Proceso de Cáscara ha introducido una nueva tecnología en la industria de la fundición, ha demostrado con mucho éxito que un corazón completo, listo para usarse en un molde se puede sacar de una caja en una operación simple: Casi no hay duda que todos los desarrollos deberán conformarse a los principios de obtener un corazón o un molde en la caja listo para usarse al salir.

Para esto, cada fundición puede recubrir su arena o, actual--

mente, se puede comprar ya preparada a recubridores especializados con fiables; la elección es estrictamente cuestión económica.

Las arenas usadas varían en sus propiedades, de las cuales al gunas no se pueden cambiar fácilmente; otras, como la granulometría - se pueden variar fácilmente usando algún procedimiento de mezclado. -- Por lo tanto, las arenas recubiertas se pueden preparar de tal forma - que cumplan con la mayoría de las especificaciones de la American Foundrymen's Society y se pueden preparar mezclas con los varios tipos de arenas y con cualquier contenido de resina y resistencia deseados.

Como una nueva innovación en la industria de la fundición, se utilizaron las resinas fabricadas a base alcohol furfúrico denominadas actualmente como resinas furánicas, implantando el nuevo proceso - de autofraguado. Este tipo de resinas se pueden combinar básicamente- con urea o formaldehído para obtener productos con nitrógeno o libres- de él y en base a esto se pueden utilizar para obtener fundiciones bas tante especiales.

La principal ventaja de este tipo de resinas es que no requieren temperatura u oxígeno para producir una conversión completa del es tado líquido al sólido; requiriéndose un catalizador de tipo ácido pa ra acelerar su fraguado, empleándose generalmente para este propósito- el ácido fosfórico y/o el ácido para-toluensulfónico.

Básicamente se usa este tipo de resinas para producir corazones grandes y moldes de arena seca y en donde se quieren obtener superficies de las piezas con un acabado más terso y con mejores características metalúrgicas.

Uno de los métodos más nuevos, tal vez bastante semejante al de autofraguado, es el método de caja fría, el cual consiste de un - - aglutinante resínico e isocianato que se activan con aminas en forma - gaseosa, obteniéndose un curado en unos pocos segundos a la temperatura ambiente, condición especial por la que su uso se está expandiendo rápidamente, pero limitado grandemente porque se requiere equipo bastante especial con aditamentos adecuados para hacer pasar la corriente de gas y una fuente de aminas.

Las propiedades obtenidas al utilizar cada una de las resinas mencionadas anteriormente serán diferentes dependiendo del tipo de pieza o fundición que se quiera fabricar, pero cada una de ellas brindará los mejores resultados, cuando hayan sido utilizadas en las mejores -- condiciones posibles.

CAPITULO II

II. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LAS RESINAS

II.1 PROPIEDADES FISICAS

Considerando los puntos de vista anteriores, es importante - considerar ahora los principales tipos de aglutinantes usados para fa- bricar corazones y moldes en la industria de la fundición. Antes de - la Segunda Guerra Mundial, los más utilizados fueron los aceites, las resinas naturales y los cereales como ya se mencionó anteriormente.

A raíz de que se desarrollaron las resinas sintéticas, éstas empezaron a tomar cada vez mayor auge, aumentando gradualmente hasta - la actualidad y a tomar cada vez más importancia dentro de los proce-- sos de fabricación de corazones y moldes.

Generalmente hablando, las resinas se enciuentran en la natu- raleza o son manufacturadas sintéticamente. La brea seca es uno de -- los más viejos materiales usados en el aglutinamiento de arenas de fun- dición, la que ilustra el primer tipo mencionado y dentro de las que - se manufacturan sintéticamente, se encuentra todo el vasto número de modernos materiales que tienen una variada lista de usos. Entre estas resinas se encuentran las epóxicas, los polietilenos, los acrílicos, - los acetatos y muchas otras. Dentro de estas resinas se encuentran -- las resinas fenólicas, consideradas de gran importancia tanto técnica como comercial para el fundidor.

Estas resinas fenólicas se clasifican en dos tipos:

- A. Termoplásticas
- B. Termofijas

A. Resinas Termoplásticas:

Son denominadas también como resinas de madera y comprenden un grupo de materiales resinosos que son añadidos a la mezcla de arena en forma de polvo, fundiendo cuando son calentadas y endureciendo cuando son enfriadas. El material fundido cubre cada grano de arena formando una capa continua de grano a grano en cada punto de contacto. Cuando son enfriadas, esta capa de resina endurece y sujeta los granos de arena.

Dentro de este grupo se encuentran:

1.- Brea de Madera Natural: Este material fue uno de los primeros usados por los fundidores. Es extraída de la madera por medios mecánicos o por fusión y puede ser usado en forma de polvo o en forma granular.

2.- Brea de Pino Natural: Este tipo de aglutinante es extraído de los árboles de pino por medio de solventes como la gasolina. El nombre químico de este producto es el de "Resina Vinsol", la cual se procesa también en forma de polvo y se usa ampliamente en las fundiciones de acero.

B. Resinas Termofijas:

Son resinas de Urea-Formaldehído, las cuales fueron las primeras de las resinas sintéticas de interés en la fundición. Estas resinas son formadas por la reacción química de la Urea y el Formaldehído, dando como resultado un producto termofijo que puede ser usado para producir corazones y moldes.

Estas resinas de urea-formaldehído, tienen una ventaja sobre las fenólicas en su bajo costo y en su temperatura de reacción baja, pero no tienen mucha resistencia a la temperatura como las fenólicas. Tienen excelente colapsibilidad, pero son menos resistentes a la erosión producida por el metal. Se usan ampliamente en las fundiciones de metales ferrosos y no ferrosos.

Además se descomponen rápidamente a altas temperaturas produciendo un característico olor de gas rico en amoníaco y urea.

Dentro de este mismo grupo se encuentran también las resinas de fenol-formaldehído que se clasifican convenientemente en dos tipos:

a) Resinas de un Paso: Son aquellas que son producidas -- por la reacción del fenol con un exceso químico de formaldehído en presencia de un catalizador básico. El producto resultante es soluble en agua y es termofijo. Si se aplica calor, esto provocará en esta resina que adquiera una forma permanente infusible y será prácticamente un material insoluble.

b) Resinas de Dos Pasos: Estas resinas son la otra forma, producidas por la reacción del fenol con una deficiencia de formaldehído en presencia de un catalizador ácido. El producto resultante es termoplástico y se puede fundir permanentemente.

Una resina de este tipo es llamada "Novolak" y puede ser en durecida permanentemente con una cantidad necesaria de for-

maldehído. Universalmente el formaldehído es añadido en forma de hexametilentetramina, que es un compuesto químico de formaldehído y amoniáco. El amoniáco se utiliza como un catalizador que provoca un aumento de la velocidad de la reacción.

Las resinas de un paso endurecen con la aplicación de calor y son siempre reactivas a la acción del calor; el endurecimiento de la resina procede lentamente a la temperatura ambiente. Dependiendo de la naturaleza exacta de la resina y de las condiciones de almacenamiento, la vida de uso de la resina es limitada.

A temperaturas de 25°C a 35°C, la resina puede tener una vida de uso de cinco meses, hay una diferente ventaja en lo que se refiere al almacenamiento en frío. A temperaturas del orden de 4°C, la vida de uso de la resina es indefinida, sin embargo, ésta no debe ser expuesta a temperaturas de congelamiento.

Como se mencionó anteriormente, las resinas de un paso para la industria de la fundición, son solubles en agua. Esta propiedad -- proporciona un método conveniente para determinar cuando están envejecidas; la solubilidad del agua en las resinas de polvo seco es una de las propiedades de cambio y disminuyen lentamente con la edad de las resinas.

Las resinas líquidas empiezan a perder la resistencia cuando el agua se empieza a separar de la resina. Las resinas secas empiezan a perder su resistencia cuando una muestra no se disuelve completamente en un peso igual de agua. El grado de avance puede ser seguido pa-

ra determinar la tolerancia del agua añadida. Una prueba de dilución-
indica la compatibilidad con un menor o igual volumen de agua, lo que-
indica que es una resina satisfactoria.

RESINAS FURANICAS:

Como parece ser el caso con cualquier nuevo aglutinante disponible en la industria de la fundición, las Resinas Furánicas han tomado un lugar preponderante, y su uso es común con algunos otros tipos de aglutinantes. Su importancia se ha debido básicamente a la alta -- productividad que se logra con ella ya que el curado se puede realizar por muchos de los medios utilizados actualmente.

En algunos casos, los corazones o moldes aglutinados con resinas furánicas han sido propuestos como un reemplazo para los fabricados por el proceso Shell.

Aunque el término furánico es una palabra que ha sido usada en la industria de la fundición para identificar un tipo de resina, esta palabra es un término químico que denota el componente principal de una serie de compuestos químicos orgánicos de los cuales el Alcohol - Furfurílico es tal vez el más conocido.

El Alcohol Furfurílico es un compuesto químico producido en grandes cantidades a partir de las mazorcas de maíz, de avena y salvado. El compuesto químico obtenido específicamente de los materiales - anteriores, es usado como un material raro para fabricar este importante grupo de resinas.

El Alcohol Furfurílico obtenido se hace reaccionar con un número de materiales como Urea o Fenol para producir las resinas termofijas.

Una de las más importantes características de las resinas en base al alcohol furfurílico es su alta velocidad de curado en presen--

cia de calor y un catalizador adecuado. A elevadas temperaturas el -- tiempo de curado se mide en segundos, la cual es una propiedad que permite su uso en condiciones que son generalmente para resinas de caja - caliente.

Las resinas furánicas requieren el uso de un catalizador ácido el cual es usualmente Acido Fosfórico, el equipo ordinario para mezclar la arena es normalmente el más adecuado.

La resina furánica utilizada para aglutinar arenas es la más utilizada para fabricar corazones que tienen un espesor de 3 cm o me--nos. Como resultado del alto rango de curado y la naturaleza exotérmica de la reacción de curado, una capa endurecida del corazón se forma rápidamente y sólo será necesario un tiempo bastante corto para que el corazón adquiriera la resistencia adecuada para que éste pueda ser mane--jado.

En este punto puede ser removido de la caja de corazones y la parte central del corazón continuará su curado hasta que la parte final endurezca completamente.

Por esta razón, el potencial de productividad con las resi--nas furánicas es más grande que con las utilizadas para el proceso de cáscara, ya que los moldes o corazones fabricados con estas deben cu--rar generalmente en la caja de corazones y para las furánicas, la caja de corazones o matriz se encuentra libre para el siguiente ciclo de --trabajo en un menor tiempo. El tiempo para producir un corazón con resina furánica en ocasiones llega a ser la mitad del que se requiere para fabricar uno de cáscara con una resina fenólica.

Si las resinas furánicas son usadas en corazones bastante -- gruesos, el proceso exotérmico no es el adecuado para completar el ciclo de curado y se debe proporcionar una cantidad de calor adicional para extender el tiempo en contacto con el calor de la caja de corazones.

Las resinas furánicas se vuelven reactivas tan pronto como el catalizador se añade a la mezcla de arena, por lo que tienen una vida útil definida. Si son almacenadas a una temperatura de 25 °C, la arena puede tener una vida de 3 a 5 horas pero su resistencia se pierde después de 2 horas. Esta vida útil puede ser reducida en los tiempos de calor o verano o si la arena ha estado expuesta al calor durante el mezclado o durante el almacenamiento.

Muchas de las resinas furánicas han sido modificadas con urea lo cual hace que su costo baje gradualmente, pero ocasiona graves problemas de porosidad en las piezas fundidas, sumado al problema del olor tan objetable que produce, lo que hace que se tienda a disminuir este contenido de urea para poder ser mayormente empleadas este tipo de resinas furánicas modificadas.

Este tipo de resinas de curado ácido en vista de lo anteriormente comentado, generalmente se clasifican como sigue:

- 1.- Resinas sin Nitrógeno
- 2.- Resinas con Bajo Contenido de Nitrógeno
- 3.- Resinas de Contenido Medio de Nitrógeno

1.- Resinas sin Nitrógeno:

Estas resinas representan el costo más alto de aglutinante.

Se usan generalmente como seguro contra la porosidad superficial y específicamente en la producción de piezas coladas de acero de bajo carbono. Estas resinas libres de nitrógeno no contienen urea y generalmente contienen menos del 5% de agua.

2.- Resinas con Bajo Contenido de Nitrógeno:

Estas resinas tienen un contenido de urea bajo para disminuir el costo y contienen menos de 2% de nitrógeno y menos de 5% de agua.

3.- Resinas de Contenido Medio de Nitrógeno:

Tienen un promedio de 5.5% de nitrógeno y de 10% a 18% de agua.

El contenido de urea no solamente disminuye los costos, sino que también tiende a promover la reactividad química del aglutinante, resultando con resistencias más altas en caliente y en frío.

La siguiente consideración se ha establecido como una ayuda en la selección del aglutinante más adecuado para una aplicación dada.

- a). Para propiedades de máxima resistencia en caliente, se debe usar una resina de curado ácido con alcohol furfúrico.
- b). Para obtener una máxima resistencia en caliente y un mínimo costo de aglutinante, se debe usar una resina de curado ácido de alcohol furfúrico modificada con urea.

- c). Para tener la máxima seguridad contra los poros superficiales en la pieza y poros internos, principalmente en piezas fundidas de acero de bajo carbono, se debe usar un aglutinante de curado ácido de alcohol furfurílico y libre de nitrógeno.

La reacción que se lleva a cabo en este tipo de aglutinantes, es una reacción química irreversible en la que el aglutinante cambia de líquido a sólido. La reacción se inicia cuando los componentes necesarios se mezclan a cualquier temperatura y se obtienen máximos resultados solamente cuando los componentes se mezclan y usan en las condiciones más adecuadas. Debido a que la reactividad es inmediata, es muy importante que el mezclado sea lo más completo y rápido posible.

La arena preparada debe ser puesta en el molde inmediatamente para obtener los resultados máximos de resistencia y dureza superficial.

La resistencia y dureza del molde dependen en gran parte de la viscosidad del aglutinante. El primer efecto que se detecta después de que se han mezclado los ingredientes del aglutinante, es un aumento rápido de la viscosidad. Visualmente este efecto puede detectarse como un incremento rápido en la pegajosidad de la mezcla y una disminución en su fluidez.

Las resinas de alcohol furfurílico y urea son muy reactivas en presencia de ácidos como se mencionó anteriormente. En este tipo de resinas el ácido usado no crea ningún balance químico, es únicamente un catalizador y como tal se puede controlar la velocidad de reacción con

La cantidad de ácido usado. Se pueden usar diferentes tipos de ácidos como catalizadores. El ácido fosfórico como ya se mencionó es usado generalmente, prefiriéndose este tipo de ácido por la facilidad con -- que la reacción puede ser controlada; también se prefiere por ser menos corrosivo y más seguro de usar que muchos otros ácidos comunes.

Generalmente se usa ácido fosfórico al 85%, sin embargo, el ácido cristaliza a 21 °C pudiendo presentar problemas durante los meses más fríos del año. Elevando la temperatura del ácido cristalizado se recupera su estado líquido sin cambio en sus propiedades. Cuando el ácido al 85% presenta problemas de cristalización, se puede usar un ácido al 75% que cristaliza a - 18 °C, corrigiendo adecuadamente la -- cantidad de ácido agregada. El agua agregada a la mezcla de arena ten derá a retardar la reacción por efecto de la dilución; pero en ocasiones se agrega donde la temperatura ambiente es alta.

Este sistema es muy sensible a la temperatura, tanto ambiental como de la arena. Las recomendaciones respecto a la formulación y uso están basadas en temperaturas de la arena y del medio ambiente de 21 a 30 °C, si las temperaturas varían de estas especificaciones es ne cesario, en la mayoría de los casos reajustar la formulación para - - compensar las diferencias.

Temperaturas superiores a los 30 °C producen un tiempo de -- curado excesivamente rápido y generalmente propiedades inferiores.

Temperaturas inferiores a los 21 °C producen un curado lento y moldes suaves muy susceptibles a fuertes deformaciones al contacto - con el metal fundido.

El ácido fosfórico usado en este sistema puede aumentarse o disminuirse dentro de límites relativamente estrechos para acelerar o retardar el tiempo de curado.

A la vez este sistema tolera temperaturas superiores a las normales si la mezcla de arena y resina preparada se vierte en el modelo inmediatamente. A bajas temperaturas la única solución es aumentar el porcentaje de ácido fosfórico usado, pero si este procedimiento no es satisfactorio entonces se debe proporcionar un curado más -- lento.

Estas resinas de curado ácido tienen una velocidad de curado muy completa y rápida y curan con una alta dureza superficial. La mezcla de arena con este tipo de resina puede usarse sobre cualquier modelo, ya sea de madera, aluminio o plástico.

RESINAS DE URETANO:

Las Resinas de Uretano se deben mezclar con diisocianato para producir la conversión deseada de líquido a sólido a temperatura ambiente. La resina y el diisocianato se deben de usar en la proporción correcta, existiendo un balance químico muy importante que debe mantenerse para tener los mejores resultados; por lo tanto la proporción requerida de resina a diisocianato nunca debe modificarse, estas proporciones se determinan por medio de experimentaciones hasta encontrar la más adecuada para ser usada en la práctica real de producción.

La velocidad de reacción de las resinas de uretano se puede acelerar mediante la adición de catalizadores. La adición de agua a

la resina o a la mezcla de arena es muy perjudicial; la reacción puede ser también afectada por una humedad elevada, el agua reacciona -- con el diisocianato descomponiéndolo en urea y ácido carbónico, afectando seriamente las propiedades de curado.

El curado de las resinas de uretano es bastante plástico en la etapa inicial, produce una condición que asemeja una muy alta resistencia en verde, contribuyendo estas condiciones plásticas a una mayor facilidad de remoción del modelo.

Este sistema también puede usarse sobre cualquier tipo de modelo como ya se mencionó anteriormente.

II.2 PROPIEDADES QUIMICAS

Resinas Fenólicas.-

Los productores resinosos obtenidos de la reacción de Fenol y Formaldehído son solubles en agua, se pueden fabricar por medio de soluciones de solventes que porporcionan sólidos y polvos; estas resinas pueden ser convertidas al estado fundido en el cual son soldadas por medio de la acción del calor y un catalizador.

Aunque generalmente es conocido que el hexametilentetramina utilizado como catalizador produce características termofijas, el efecto de agregar una mayor cantidad que la determinada por la experimentación sobre las características físicas de los moldes y corazones, es algunas veces ignorado o no entendido y se pueden cometer graves errores que pueden causar serias dificultades.

Las Resinas Fenólicas usadas en los moldes y corazones del proceso de Cáscara son denominadas como Resinas de Dos Pasos. Los Dos Pasos son determinados por lo siguiente:

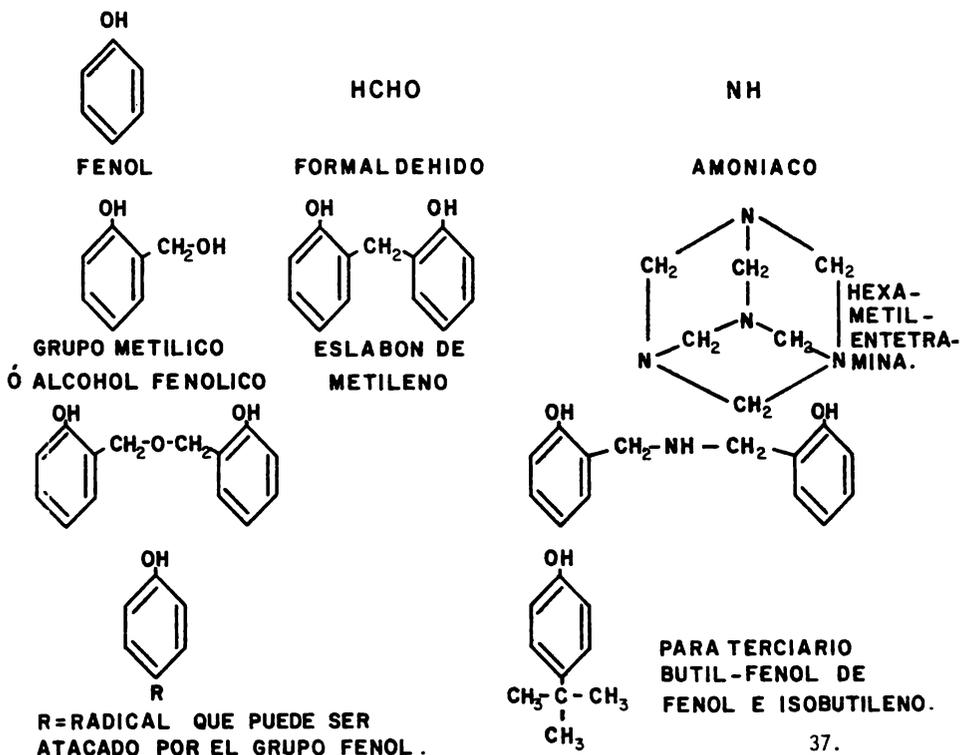
1.- La producción de la resina base, la cual es referida generalmente como un "novolak", además de que dicha resina no tiene propiedades termofijas, pero de todas maneras esta resina puede ser fundida y solidificada repetidamente y es proporcionada como un sólido o como una solución.

2.- La adición de Hexametilentetramina, que se realiza por medio de una dispersión mecánica. Este catalizador es un producto de la reacción de Amoniáco y Formaldehído; y cuando es añadido a la re-

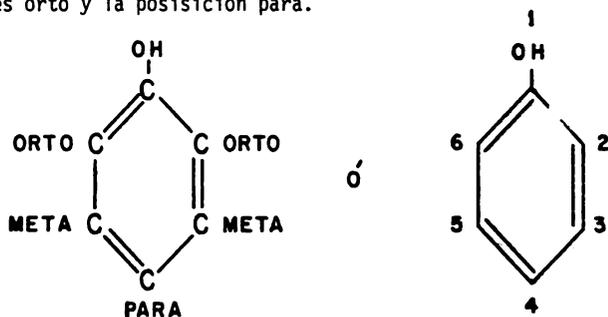
sina fenólica y calentada, se lleva a cabo una reacción entre la resina y el formaldehído, actuando el amoniaco como un catalizador y es liberado gradualmente como amoniaco libre.

Los materiales básicos que componen las resinas fenolicas son básicamente fenol y formaldehído y se debe agregar un ácido o base como catalizador. Siendo utilizados el amoniaco o las aminas primarias con este fin, sirviendo como catalizadores básicos; forman productos de reacción intermedios con el formaldehído o con el formaldehído y el fenol.

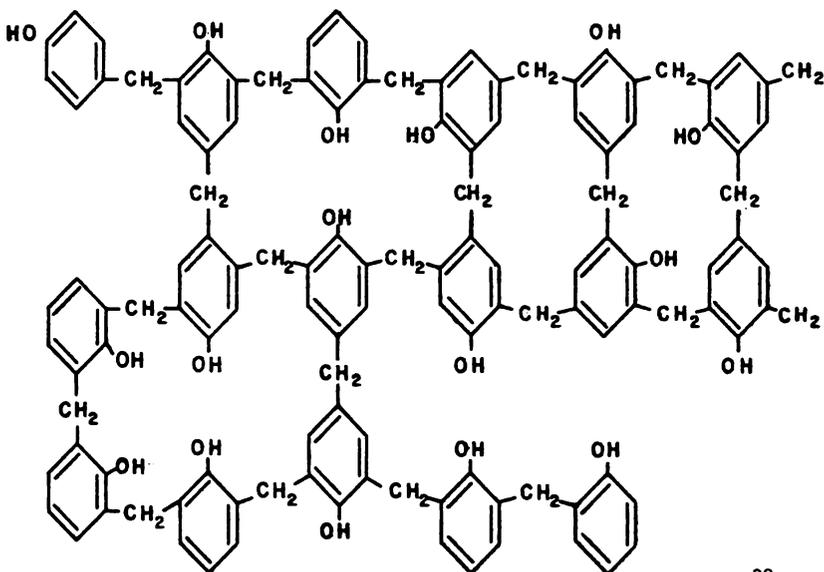
Los grupos químicos o cuadros de construcción más importantes relacionados con la química de las resinas fenolicas se expresan de la siguiente manera:



Estructuralmente, la resina consiste de un anillo de benceno con un átomo de hidrógeno reemplazado por un grupo hidroxílico. La presencia del grupo hidroxílico realiza la reactividad de las dos posiciones orto y la posición para.



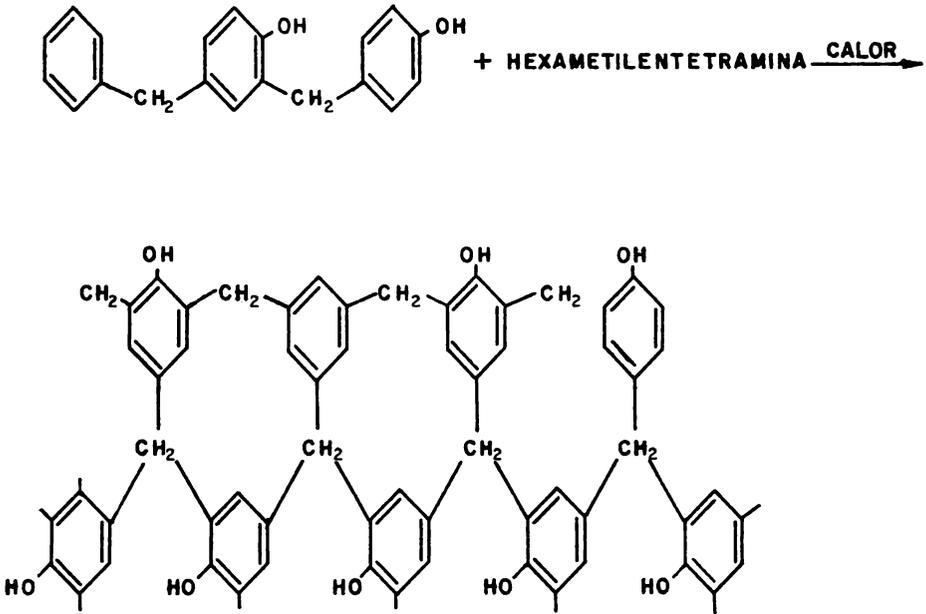
Teniendo tres posiciones reactivas, el fenol puede ser cruzado con grupos metileno, derivados del formaldehído y formar una cadena tridimensional. En esta forma, el polímero es infusible e insoluble y se denomina como la resina fija.



Se debe hacer notar que la estructura de la resina curada - está bien cruzada, pero no es necesaria la uniformidad en el arreglo.

La relación de metileno a grupos fenol determinan el grado - de curado o el cruzado. Idealmente 1.5 metilenos por 1 fenol proveen un máximo de estabilidad, mientras que 1.0 metilenos por 1 fenol proporcionarían un curado blanco.

La reacción de aglutinado puede ser representada esquemáticamente como sigue:



Tipos de Resina Fenólica:

En la química de los Polímeros, las resinas fenólicas son referidas como una condensación de polímeros. Este mecanismo logra un incremento en el peso molecular de la resina, el cual es acompañado -- por la eliminación de algún peso molecular bajo como el agua; también este mecanismo hace que incremente el peso molecular en la reacción de Un Paso.

Las Resinas Fenólicas pueden ser divididas en dos grupos:

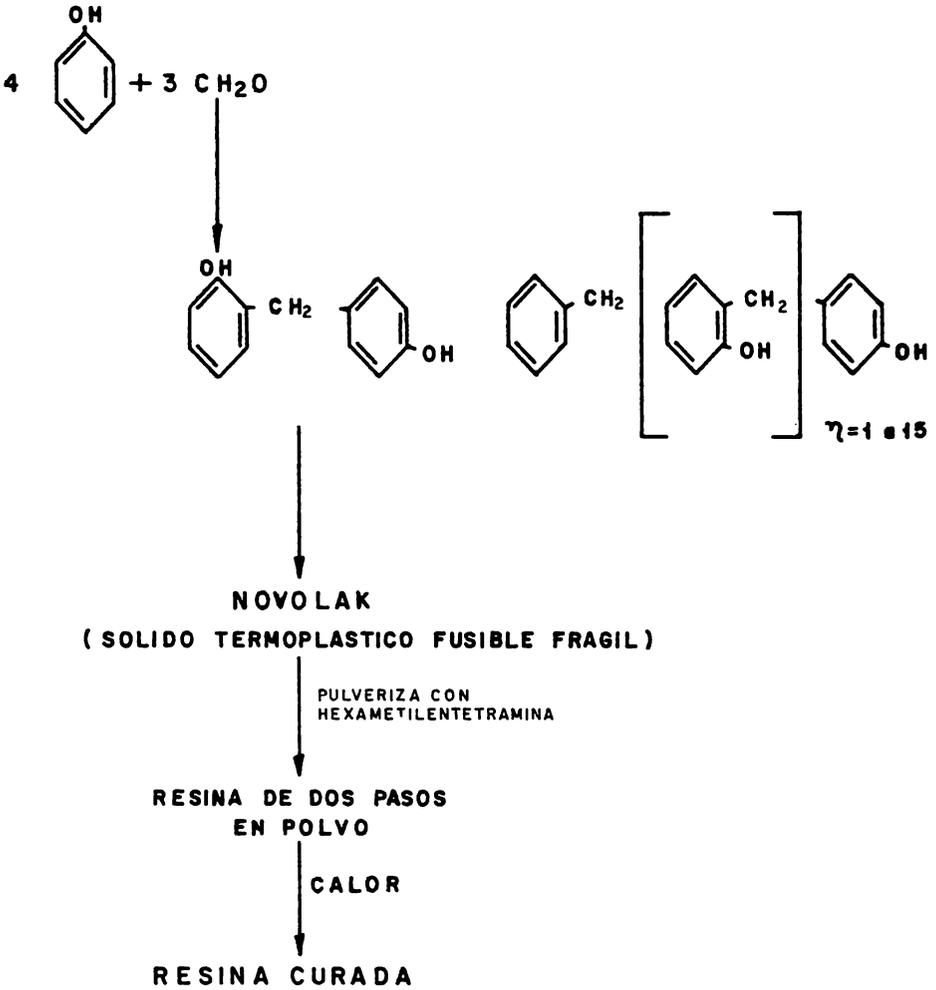
- a). De Un Paso
- b). De Dos Pasos

El término de Un Paso es el medio en el que la fórmula de la resina contiene todo el formaldehído necesario para la conversión de un estado posterior para producir propiedades termofijas.

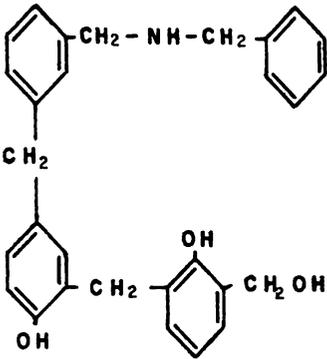
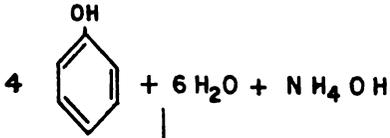
Las resinas solubles en agua son esencialmente de Un Paso, en el cual un pequeño avance ha tenido lugar después de la reacción -- inicial entre el fenol y el formaldehído para formar alcoholes fenólicos. El término soluble en agua es un nombre impropio, ya que las resinas fenólicas no son solubles en agua. Están en realidad los productos en una reacción inicial entre el fenol y el formaldehído produciendo alcoholes fenólicos que si son solubles en agua.

Los alcoholes fenólicos resinisan rápidamente y la resinificación se acelera con la temperatura; cuando la resinificación toma -- lugar, el fenol libre actúa como solvente mutuo entre la resina formada y el agua presente. Cuando la resinificación aumenta, la toleran--cia de agua disminuye y gradualmente es alcanzada a un punto donde la

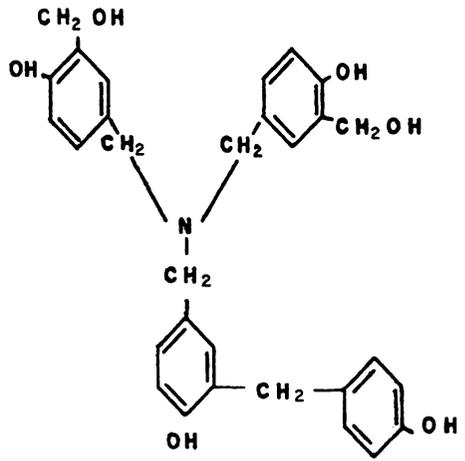
Novolak y resina de Dos Pasos.-



Resina de Un Paso Frágil.-



Ó

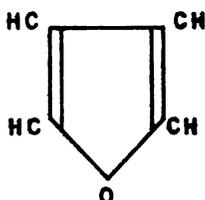


CALOR
 H₂O
 H N₃

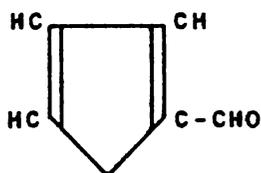
RESINA CURADA

Resinas Furánicas.-

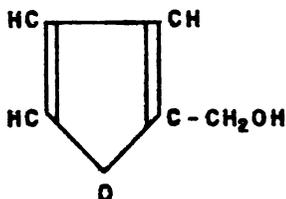
El término Furánico es sólo un término genérico que denota la estructura básica de una clase de familia de compuestos químicos. El radical químico para las resinas furánicas es como sigue:



Furfural: Es un producto preparado de un gran número de - derivados de celulosa, partiendo de la destilación de mazorcas de maíz y vainas de avena con ácido sulfúrico diluido, es un líquido aromático de olor característico. Su estructura química es como sigue:



Alcohol Furfurílico: Este material como se mencionó anterior_umente, es la base de la formulación de las resinas furánicas. Este - - producto es preparado por la hidrogenación catalítica del Furfural en - apariencia es un líquido color ambar, y su radical químico es como si-- gue:



Química de las Resinas de Autofraguado.-

Las resinas producidas para la categoría del Autofraguado es tán compuestas básicamente de Alcohol Furfurílico, Urea y Formaldehído. Las diferencias entre los distintos tipos de resinas que existen radica en sus diferentes formulaciones y en los métodos de manufactura.

Todos estos aglutinantes son resinas líquidas sintéticas que cuando son catalizados con materiales ácidos forman una fuerte película resinosa, produciendo una reacción exotérmica y formando una resina termofija. La reacción se muestra por la siguiente ecuación:



La velocidad de la reacción está influenciada por la temperatura de la arena, el tipo de arena, la velocidad y tipo de mezclador, la formulación del aglutinante y el tipo y cantidad del catalizador -- usado. La reacción básica entre el catalizador (Acido Fosfórico generalmente) y la resina furánica resulta en una deshidratación del aglutinante, formándose agua en la reacción.

Resinas Para Caja Caliente.-

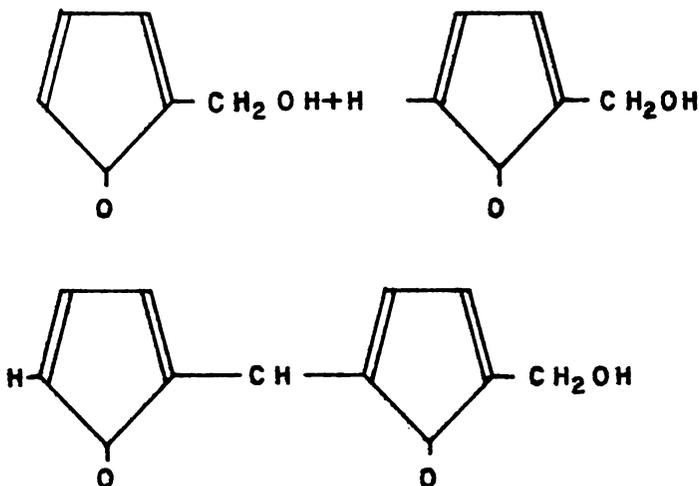
Son resinas Furánicas generalmente y a la vez son resinas líquidas sintéticas. Esta resina líquida cuando reacciona con los ácidos líquidos forma una película resinosa alrededor de los granos de -- arena. La reacción es influenciada tremendamente por el calor; el cual es base para elevar los rangos de producción. La reacción básica que se lleva a cabo se explica como sigue:



La reacción es exotérmica, produciéndose agua y una resina termofija. Las técnicas de Caja Caliente originalmente se desarrollaron usando resinas furánicas, pero en la actualidad el fenol ha estado siendo substituído todo o en parte en algunas formulaciones, lo que ha hecho posible producir varios sistemas de aglutinantes para este proceso de Caja Caliente como son los siguientes:

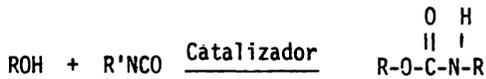
NOMBRE	FORMULACION
Caja Caliente Furánico	Alcohol Furfurílico-Urea-Formaldehído
Caja Caliente Fenólico	Fenol-Urea-Formaldehído
Caja Caliente Fenólico Modificado	Fenol, Alcohol Furfurílico-Urea-Formaldehído.

La resina furánica para Caja Caliente tiene una polimeración similar a la resina utilizada en el proceso de Cáscara, aunque esta resina no requiere otros reactantes, es una reacción de condensación y se demuestra como sigue:



Aglutinantes de Isocianato Fenólicos y Alkídicos.-

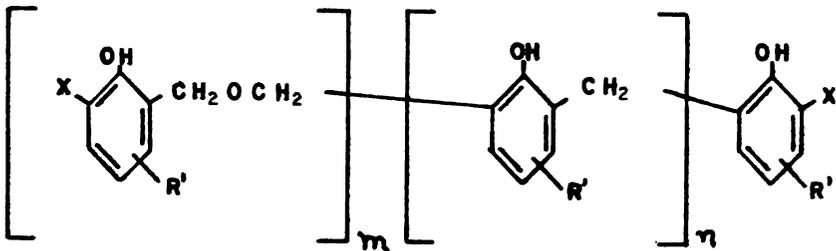
El Isocianato Alkídico y el Uretano Fenólico son sistemas - similares químicamente usados originalmente para producir corazones y moldes por el Proceso de Autofraguado. En ambos sistemas las resinas sintéticas son formuladas por contener grupos hidroxílicos que reaccionan con un Poliisocianato para formar una película de uretano líquido que rodea las partículas de arena sin la necesidad de proporcionar calor a la arena aglutinada. La reacción básica se escribe como sigue:



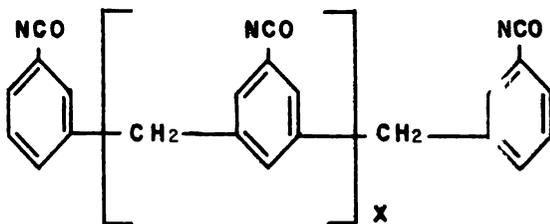
Donde en el sistema Alkídico, R es una larga cadena compuesta como un glicérido sintético que contiene un componente ácido con grupo hidróxilo alifático.

En el sistema Fenólico, R es una resina fenólica, que usualmente se disuelve en un solvente orgánico.

Como ejemplo se tiene la siguiente fórmula en la cual R' es un hidrógeno o un grupo sustituyente y X es un hidrógeno o CH₂OH como grupo final.



El Poliisocianato será el mismo para ambos sistemas y tiene la siguiente fórmula general:



La película de uretano sólido que resulta de la reacción química y que provee la ligadura entre los granos de arena, es un polímero complicado que contiene muchas de estas unidades.

CAPITULO III

III. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LAS ARENAS

En la mayoría de las fundiciones más comunes de México se ha usado y se sigue empleando la Arena de Moldeo como un material productor de moldes y corazones para obtener una media y alta producción; se considera que un 60% del total de las piezas coladas se producen en -- Arena de Moldeo.

La mayoría de las piezas fundidas se producen en arena. En casi todas las fundiciones a nivel nacional se usa este material en un promedio de 6 a 7 toneladas para producir 2 toneladas de metal, hay algunas que emplean hasta 20 toneladas y otras apenas 1 tonelada, sin embargo, como puede verse todas la emplean en gran cantidad.

Para producir piezas buenas y de mejor calidad cada día, es necesario manejarla y almacenarla cuidadosamente, ya que en realidad es el molde una de las partes vitales durante el proceso para la manufactura de las piezas coladas. De aquí que haya que prestar una gran atención a todos los detalles que intervienen en la preparación, control, manejo y uso apropiado de la arena.

La arena puede ser definida como partículas granuladas resultantes de la desintegración o el molido de las rocas y es un agregado de materiales consistentes de pequeños granos, minerales o rocas que varían en tamaño desde aproximadamente 2 a 0.05 mm. en diámetro.

Hablar de arena de moldeo no es igual por lo tanto que hablar de arena simple, ya que en realidad es una mezcla compleja de ingre-

dientes que sumados han de producir las características esperadas.

La mayoría de las arenas para fundición se componen amplia o totalmente de Sílice. En algunos casos los granos de Sílice están asociados con diminutas cantidades de feldespato, mica y otros minerales comunes.

Muchas arenas de fundición contienen también pequeñas cantidades de minerales tales como Ilmenita (FeO-TiO_2), Magnetita (Fe_3O_4), -- Zircón (Zr-SiO_4) u Olivina ($\text{Mg-Fe}_2\text{SiO}_4$). En algunos casos los vestigios de estos minerales pueden afectar el color de la arena.

La Olivina es un mineral natural que consiste de una solución de ortosilicato de magnesio (Mg_2SiO_4 -Forsterita) y un ortosilicato de hierro (Fe_2SiO_4 -Fayalita).

La composición de la olivina puede variar y sólo la que tiene un elevado contenido de Forsterita es útil como material de fundición. Las arenas de Zircón (Zr-SiO_4) que contienen pequeñas cantidades de ilmenita, rutilo, granate y otros minerales de peso específico elevado - se están utilizando con mucha amplitud actualmente.

Propiedades de las Arenas

Se puede hacer una lista muy grande de las propiedades que deben controlarse en una arena para moldeo, sin embargo para este estudio se considerarán las más importantes que son las siguientes:

- a) Resistencia en Seco: Cuando se cuela el metal en un molde, la arena que entra en contacto con el metal caliente pierde rápidamente el agua en forma de vapor; la arena seca debe

tener la suficiente resistencia para soportar la erosión y la presión del metal, de lo contrario el molde se agrandará.

b) Resistencia en Caliente: Después que el agua se ha evaporado, la arena puede necesitar poseer fuerza de cohesión a una temperatura elevada, la presión del metal líquido sobrelas paredes puede causar el agrandamiento del molde, o si el metal está todavía fluyendo, puede provocar grietas, erosión e inclusive la rotura del propio molde.

c) Permeabilidad: Además del vapor de agua que se genera, el calor de la pieza ya colada causa que se desarrolle una gran cantidad de otros gases; el molde deberá ser entonces lo suficientemente permeable o poroso para que estos gases escapen de él, de lo contrario los gases penetran en la pieza y forman los llamados defectos de sopladuras y cavidades que hechan a perder una pieza.

d) Estabilidad Térmica: El contacto del metal caliente con las paredes del molde, produce en éste una rápida expansión, la superficie del molde puede entonces agrietarse o trasladarse con el metal todavía líquido, formándose así una pieza defectuosa en su superficie y fuera de dimensiones.

e) Refractoriedad: Si el punto de fusión de la arena es bajo, la arena se fundirá o ablandará o se adherirá a la superficie de la pieza, provocando defectos superficiales que ha-

rán difícil la limpieza de la pieza colada. Las altas temperaturas de colada en los metales ferrosos (1200-1650 C), requieren de una buena refractariedad de la arena, los metales de más baja temperatura de colada como el aluminio no requieren tanto de esta propiedad.

f) Fluidez: La arena cuando se le comprime somete o aprieta, o proyecta; deberá ser susceptible de empacarse o empaquetarse, es decir, deberá fluir bajo una carga. Los moldes de dureza no uniforme o blandos, obtenidos en arena de fluidez baja, pueden dar por resultado piezas agrandadas por rugosidad de su superficie, especialmente en las paredes laterales.

g) Colapsibilidad: La arena calentada que se vuelve demasiado dura es difícil de retirar de la pieza y puede causar que el metal, al enfriarse, se agriete o se raje; para que esto no suceda, la arena debe tener la propiedad de permitir la contracción del metal para que éste no se agriete.

h) Humedad: Es muy importante, ya que de ella dependen todas las demás propiedades y el volumen de gases generados en la colada.

i) Cohesión: Es la resistencia mecánica para retener la forma de la pieza, para soportar el manejo y evitar deformaciones y rupturas por la presión del metal y erosiones durante la colada; esta propiedad se expresa por la resistencia al

esfuerzo de compresión o de corte.

j) **Peso Específico de la Probeta:** Es el peso específico de la arena compactada, influenciada por los vacíos o poros entre los granos de arena y la permeabilidad.

k) **Peso Específico a Granel:** Es el peso específico de la arena sin compactar o sacudir, después de ser pasada por un tamiz de 3 mm., la arena tiene sus propiedades óptimas cuando el peso específico a granel es de 0.3.

l) **Dureza:** Es importante para poder establecer comparaciones con el molde en cuanto a cohesión y permeabilidad.

m) **Compresibilidad:** Es la reducción de volumen que sufre la arena a granel al aplicarle una presión determinada.

n) **Refractariedad:** Es la propiedad de la arena a soportar sin sintetizarse las altas temperaturas de vaciado de los diferentes metales.

o) **Granulometría:** Es el análisis granulométrico en porcentaje y expresa la repartición de los granos, según la serie de tamices convencionales.

p) **Número de Finura de Grano AFS:** Se define como el número de mallas por pulgada de un tamiz que dejaría pasar una muestra de arena si sus granos fuesen de tamaño uniforme, es decir es el promedio entre el tamaño de los granos de la mues-

tra.

$$\text{Número de Finura de Grano AFS} = \frac{\text{Producto Total}}{\text{Porcentaje Total de Grano Retenido}}$$

Este número AFS es útil para establecer el tamaño de grano -- promedio de una arena dada.

q) Tiempo de curado o fraguado (Cure Time): Es el período - de espera requerido para que una masa de arena alcance su dureza máxima.

r) Tiempo de Separación (Strip Time): Es el momento o tiempo requerido en que se puede retirar, en forma satisfactoria, la caja de corazones del corazón o del modelo de arena.

s) Tiempo de Trabajo (Work Time): Es el período de tiempo - durante el cual puede utilizarse una mezcla de arena para producir corazones satisfactorios.

Diferentes Tipos de Arenas

1. ARENA SILICA

Las arenas sílicas se extraen generalmente de minas a cielo - abierto, en forma de capas superpuestas más o menos regulares. El fundidor debe conocer el yacimiento de donde proviene la arena que utiliza para asegurarse de la calidad de la arena y de que ese yacimiento - es capaz de proveer esa calidad.

La Sílice SiO_2 , se encuentra en la naturaleza en estado anhi-

dra, cuarzo o calcedonia, cristales de roca y rocas silíceas o en estado hidratado y ópalo.

La sílice anhídrica existe en tres formas cristalinas; cada una de ellas comporta variedades alotrópicas, sus transformaciones se pueden observar en la Figura No. 2

TRANSFORMACIONES DE LA ARENA SILICIA

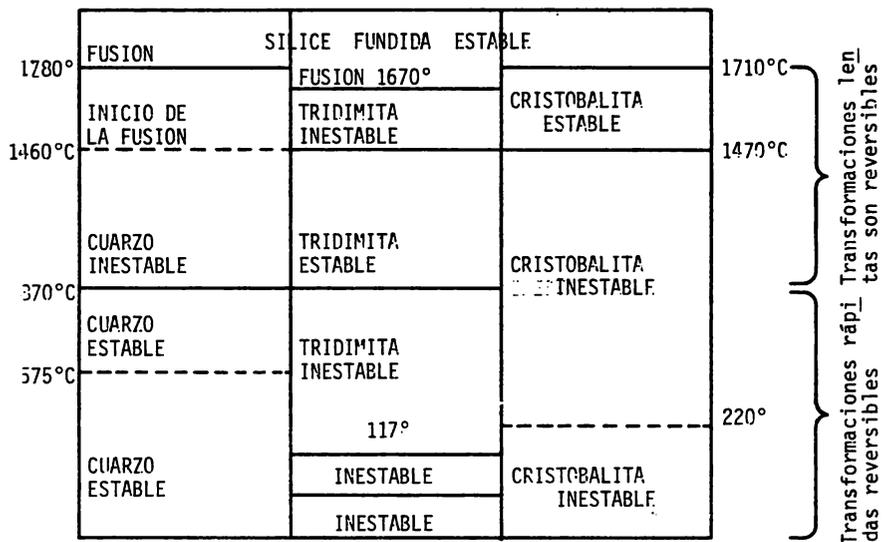


FIGURA 2

El cuarzo con densidad de 2.65 es estable hasta 870 C. La -- tridimita con densidad de 2.26 es estable entre 870 y 1470 C. La cris tobalita con densidad de 2.32 es estable entre 1470 y 1720 C (punto de fusión). En una misma forma cristalina el paso de una variedad a otra es instantáneo e irreversible y se efectúa a una temperatura determina da.

A 573 C el cuarzo alfa se transforma en cuarzo beta; esta - - transformación se acompaña de una dilatación del 4%. Hacia 220 C, la cristobalita alfa se transforma en cristobalita beta; esta transforma ción se acompaña de una expansión del 1.8%.

La sílice es inerte a diversos agentes químicos, salvo el áci do fluorhídrico que la ataca fuertemente. A alta temperatura reaccio- na con los óxidos básicos dando silicatos ácidos más o menos fusibles.

La arena de sílice está definida por sus características fisi cas, la forma de los granos, el índice de finura y la repartición pa- ra un mismo índice de finura. Se encuentran granos de diversas formas, redondos, angulares, sub-angulares, cavernosos y aglomerados de granos más pequeños.

La sílice tiene poca conductividad térmica, su dilatación im- portante da una gran falla al ser mojada por el metal, los defectos re sultantes son las costras, cola de rata y penetración de arena.

Todos los defectos de expansión de la arena empiezan con el - calor que el metal fundido transfiere a la arena. Conforme las super- ficies del corazón y el molde extraen calor del metal que está soldifi cando, el aglutinante empieza a descomponerse y el volumen de la arena

aumenta.

La arena sílica sufre dos tipos de expansión: la térmica y la cristalina. Por medio del metal fundido y de la temperatura que es te proporciona, la arena sílica se transforma de cuarzo alfa a beta, - después a tridimita y finalmente a cristobalita. Cada cambio de fase-cristalina da lugar a un aumento en el volumen de los granos de arena-afectados.

Las tres transformaciones cristalinas se muestran en la gráfi- ca No. 3, en donde se comparan con la expansión no cristalina del vi- drio de cuarzo fundido.

En la Siguiete gráfica No. 3 se observa la expansión térmica de las arenas más comunes usadas en fundición. Esta gráfica muestra - porqué la arena sílica causa una mayor cantidad de defectos por expan- sión que cualquier otro tipo de arena.

Las arenas de zircón, cromita y olivina tienen propiedades de transferencia de calor muy diferentes a las de la arena sílica. Las - arenas de zircón y de cromita extraen el calor del metal a una mayor - velocidad que la arena sílica, proveyendo, de este modo, enfriamiento- para una solidificación direccional. La olivina por el contrario, es- más térmicamente aislante que la arena sílica; esto significa que sus características de enfriamiento lento y uniforme son ideales para meta- les no ferrosos y todo tipo de vaciados con secciones delgadas.

2. ARENA DE OLIVINA

Es una roca natural constituida por una solución sólida de fa- yalita Fe_2SiO_4 en la forsterita (ortosilicato de magnesio) Mg_2SiO_4 . El

contenido de fayalita es variable y condiciona su refractariedad. Cuando se tritura convenientemente, la olivina provee un material utilizado aceptablemente como arena de moldeo.

3. ARENA DE ZIRCON

Es un silicato natural de Zirconio conteniendo de 61 a 67% de ZrO_2 y de 33 a 35% de SiO_2 . Por efecto del calor se disocia a 1800 C y a 2000 C; la volatilización de la sílice es importante, lo que limita su empleo como refractario. Tiene una conductividad térmica superior a la sílice.

En general, se aglomera con cualquier tipo de aglutinante y, debido a su índice de finura de 120 a 140 mallas de piezas de buen aspecto sin costras ni rugosidades, pero por su precio elevado se reserva a los aceros especiales y al procedimiento de la Cera Perdida.

4. ARENA DE CROMITA

Este tipo de arena se trata de un mineral de cromo transformado por adición de MgO y Al_2O_3 . Inicialmente tiene la composición de $FeO-Cr_2O_3$ conteniendo aproximadamente 68% de cromo. Para obtener un producto refractario resistente a 2000 C se modifica su composición quedando: $Cr_2O_3Fe_2O_3MgO Al_2O_3$; se caracteriza por una inercia química a alta temperatura; la magnetita calcinada le permite amortiguar la sensibilidad a los choques térmicos. Se utiliza únicamente en aceros especiales y para fabricar ladrillos refractarios debido a su alto costo.

Hasta aquí se han mencionado las arenas más importantes y de-

EXPANSION DE LA ARENA SILICA DEBIDA A LA
TEMPERATURA Y A CAMBIOS DE FASE CRISTALINA

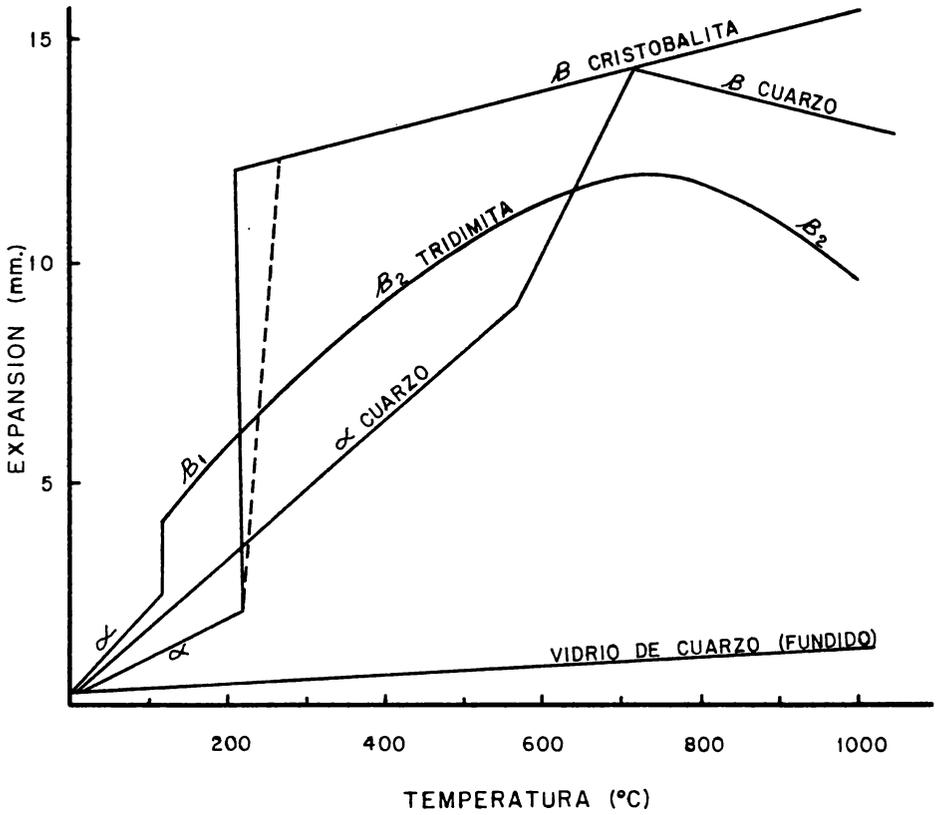


FIGURA 3

mayor uso en la industria de la fundición nacional, se considerarán a-
continuación otro tipo de arenas de relativa importancia.

a) Arena de Mullita:

Es un silicato de aluminio $2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ que funde a 1810 C,-
es un constituyente refractario muy rígido y resistente en caliente, -
como es la forma final de la transformación a alta temperatura de los-
productos arcillosos. Se presenta en forma cristalizada en agujas y -
forma con la sílice un eutéctico con 94.5% de sílice que funde a 1595C.
Por su costo elevado se limita su empleo para aceros refractarios y el
proceso de la cera perdida.

b) Arena de Carbono:

Este tipo de arena se trata de un coque de petróleo triturado
finamente, el metal penetra muy poco en este material pero casi no se-
emplea por ser muy frágil.

c) Arena de Chamota:

Es un producto artificial de silicato de aluminio obtenido por
cocimiento. Se obtiene un ladrillo aglomerando 65% de sílice y 35% de
alúmina con un poco de agua; después del cocimiento los ladrillos así-
obtenidos se trituran y tamizan. El producto sirve para piezas de ace-
ro grandes y medianas y su uso es bastante limitado por su alto costo.-
La comparación resumida de las arenas mencionadas anteriormente se mues-
tra en las Figuras 4 y 5.

DIFERENTES TIPOS DE ARENAS

	SILICE	OLIVINA	ZIRCON	CROMITA
DISPONIBILIDAD	Muy abundante	Limitad	Muy Limitada	Limitada
COSTO	Bajo	Mediano	Alto	Muy Alto
ESTABILIDAD	Buena	Mediana	Excelente	Excelente
DILATAACION	Elevada 1.9%	Mediana 1.37%	Muy débil 0.329%	Muy débil 0.264%
CONTRACCION	Elevada	Buena	Mediana	Baja
CONDUCTIVIDAD TERMICA	Débil	Débil	Elevada	Elevada
DENSIDAD APARENTE DESPUES DE APISONADA	1.54-1.60	1.95	2.80	0.76
HUMEDECIDA POR EL METAL LIQUIDO	Acep table	Acep table	Diffcil	Diffcil

FIGURA 4

COMPARACION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ARENAS

	SILICE	OLIVINA	ZIRCONIO	CROMITA
COLOR	Blanco	Verde	Blanco	Negro
DUREZA	6.0-6.5	6.5-7.0	7.5	5.5
DENSIDAD lb/ft ³	95-97	98-103	152-183	156-165
EXPANSION in/in	0.018	0.0083	0.003	0.005
REACCION ALTA TEMPERATURA	Acida	Básica	Lig. ácida	Básica
PUNTO DE FUSION	1710	1872	2538	2093
FORMA DEL GRANO	Redonda o Angular	Angular	Sub-Angular	Angular
DISTRIBUCION DEL GRANO (Mallas)	2 a 4	2 a 4	2 a 3	4
FINEZA DEL GRANO	27/120	30/240	105/115	60/90

ANALISIS TIPICO

SiO ₂	99.82	41.2	33.5	1.34
MgO	0.031	49.4	-	8.75
Cr ₂ O ₃	-	-	-	45.8
ZrO ₃	-	-	65.0	-
Al ₂ O ₃	0.049	1.8	1.0	21.34
Fe ₂ O ₃	0.019	7.1	0.03	19.50
CaO	0.006	0.2	-	0.94
TiO ₂	0.012	-	0.19	0.03

F I G U R A 5

En la siguiente Figura No. 6 se compara también el comportamiento de los cuatro tipos de arenas con respecto a la temperatura, referido a la expansión que sufren estas.

EXPANSION DE LAS ARENAS

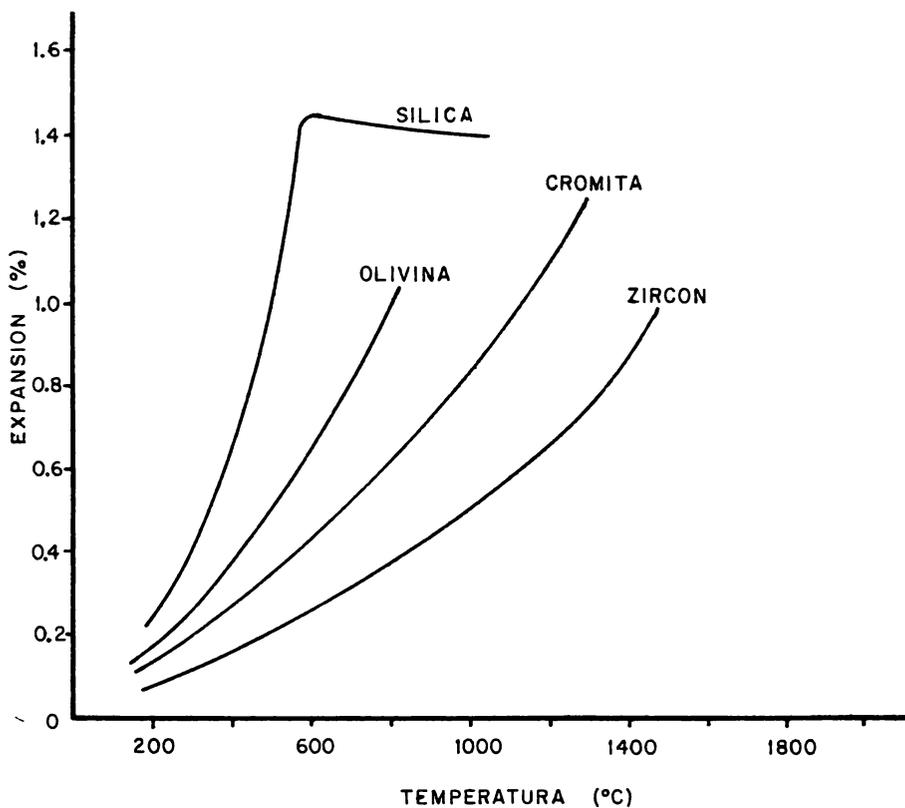


FIGURA 6

Como uno de los más importantes puntos a tratar en este estudio sobre el empleo más adecuado de los aglutinantes resinosos se encuentra lo siguiente:

Análisis Granulométrico

La granulometría de las arenas de moldeo es primordial para la permeabilidad, ya que gravas de gran tamaño tienen entre ellas pequeños intersticios, mientras que de diferentes tamaños se intercalan entre ellos y no tienen permeabilidad; el análisis granulométrico y -- las gráficas dan un valor preciso a este control, además se examina -- la forma de los granos, ya que en estos se encuentran granos redondos, ovalados, dentados, prismáticos, cavernosos, aglomerados de granos -- más pequeños. Por el aspecto se encuentran granos lisos, rugosos, -- agrietados.

En general se admite que la mejor arena debe estar constituida teóricamente por granos redondos ligeramente rugosos.

Si se tienen granos diferentes habrá más puntos de contacto, pero la permeabilidad disminuye, o sea, que con granos de gran tamaño -- se tiene una gran permeabilidad pero baja resistencia y con granos de diferentes tamaños, baja la permeabilidad pero aumentan los puntos de contacto y por consiguiente la cohesión; es necesario que del 85% al 90% sea retenido entre tamices sucesivos.

Por otra parte, mientras más fina es la arena, aumenta la superficie de los granos y disminuye su resistencia y desde luego su permeabilidad, aunque se obtiene un acabado más terso en las piezas.

La determinación de la superficie específica efectiva de las are

nas, permite conocer la superficie de los granos que deben saturarse - con una película de aglutinante, teniendo en cuenta la forma del grano.

La determinación de la superficie específica efectiva da una representación continua de primordial importancia en cuanto a la influencia de la forma y de la repartición de los granos.

Es un factor esencial de la aptitud al apisonado de las arenas.- Cuando se comparan cantidades iguales de aglutinante, la resistencia a una fuerza de apisonado depende de la superficie específica y de la forma del grano.

El tamaño del grano, la forma, la repartición de los granos, la superficie específica y la capacidad de absorción de agua (estructura del grano), son los valores característicos para formarse un juicio de las arenas, en especial de las arenas nuevas.

La influencia muy importante de la porosidad de los granos (estructura de los granos), no puede ser caracterizada ni por la medida de la superficie específica ni por el análisis granulométrico, por el contrario, puede establecerse cuantitativamente por la medida de la capacidad de absorción de agua.

Estas influencias son determinantes en cuanto al consumo de aglutinantes líquidos para corazones y moldes.

El procedimiento de la medida de la capacidad de absorción de agua por las arenas da, en combinación con la medida de la superficie específica efectiva, la posibilidad de establecer aisladamente el poder adherente de los líquidos sobre las superficies exteriores de los granos y en la estructura interna de las arenas.

Análisis Químico de las Arenas

Los procedimientos actuales para el análisis de los materiales - de que está compuesta la arena para fundición están basados en los métodos establecidos para analizar rocas de sílice. Estos procedimientos no solo consumen tiempo, sino que están basados en procedimientos cualitativos en los cuales cada elemento se separa de la misma muestra sucesivamente.

Los procedimientos que se mencionan a continuación están basados en muestras separadas y en la mayoría de los casos, su ejecución es -- tan sencilla como la determinación de cualquier otro elemento en algún metal. Los procedimientos más adaptables al laboratorio de fundición, son los siguientes.

1. Pérdida por ignición
2. Carbono
3. Oxido de hierro
4. Oxido de calcio
5. Oxido de sodio
6. Oxido de potasio
7. Sílice
8. Alumina
9. Oxido de Magnesio

En este caso solo se mencionan cada uno de los elementos o componentes que pueden ser analizados para el mejor control de una arena - para fundición.

CAPITULO IV

IV. PRINCIPALES METODOS DE MOLDEO UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA DE LA FUNDICION ACTUAL.

En ningún campo de la tecnología de la industria de la fundición, se han desarrollado tantos nuevos procesos como lo es en la fabricación de los moldes y corazones. Con el único fin de tratar de perfeccionar cada vez más esta área para lograr el aumento de producción de acuerdo a las necesidades de esta época y de obtener no solo la cantidad de piezas necesarias, sino de que estas tengan además la calidad y perfección que son necesarias.

En función de la actualidad que vive hoy en día la Industria de la Fundición Nacional, se tratarán en este estudio los cuatro procesos que se consideran más importantes y que han sido parte fundamental en el constante desarrollo y progreso de esta industria.

Los procesos que se tratarán con el mayor detalle posible son:

1. Proceso de Autofraguado
2. Proceso de Caja Fría
3. Proceso de Caja Caliente
4. Proceso de Cáscara

Cada uno de estos procesos se tratará independientemente, considerando el tipo de aglutinante que usa, tipo de arena, sus ventajas y desventajas al emplearlo y la mayoría de las consideraciones necesarias para poder hacer la mejor selección de alguno de estos procesos en la ma-

nufactura de los moldes y corazones y así lograr obtener un trabajo ca
da vez más perfecto dentro de las actividades que realiza una fundi- -
ción.

1. PROCESO DE AUTOFRAGUADO

Este proceso orgánico de autofraguado fué inventado por Augusto Tobler y se introdujo desde Suiza en el año de 1953. Se ha convertido en uno de los sistemas más empleados hoy en día, aunque inicialmente - solo fué usado para la producción de corazones.

Una resina de autofraguado cuando es mezclada con un catalizador y arena, produce una masa de arena moldeable que tiene una dureza especial sin la necesidad de aplicar calor externamente. Estas resinas polimerizan en presencia de un catalizador para dar una macromolécula o polímero.

Los principales aglutinantes de autofraguado a temperatura ambiente comunmente usados en las fundiciones, son los siguientes:

- a) Resinas Furánicas
- b) Resinas Fenólicas
- c) Resina Fenólica-Isocianática
- d) Aceites Secantes-Resinas Alkídicas o Uretánicas
- e) Sistema Uretano-Fenólico

Las resinas furánicas son básicamente polímeros líquidos de cadenas largas, estos son obtenidos de la combinación de monómeros (com-puestos orgánicos simples) en presencia de la acción de un catalizador para transformarse a dímeros, trímeros y finalmente a polímeros líquidos de diferentes pesos moleculares. Estas resinas, en presencia de un catalizador ácido, se polimerizan y se transforman a un sólido a temperatura ambiente que actúa como aglutinante entre los granos de arena.

Tres polímeros son los principales con los que se manufacturan - las resinas furánicas para fundición:

Resina Urea-Formaldehído	UF
Resina Fenol-Formaldehído	FF
Alcohol Furfurílico	AF

Para la fabricación de estos polímeros se parte básicamente de - cuatro monómeros que son:

- a) Alcohol Furfurílico
- b) Formaldehído
- c) Urea
- d) Fenol

Al combinar cada uno de estos monómeros se producen las siguien- tes reacciones:

1. Urea + Formaldehído	---catalizador---	Polímero
2. Fenol + Formaldehído	---catalizador alcalino---	Polímero Resole
3. Fenol + Formaldehído	---catalizador ácido---	Polímero Novolac
4. Fenol + Formaldehído	-- Urea -----	Copolímero

El copolímero indica que es una mezcla compleja de polímeros.

Debido a la naturaleza especial del alcohol furfurílico, este -- puede ser usado para modificar los siguientes grupos de resinas o polí- meros, como el 1, 2 y 4 para obtener las resinas furánicas modificadas; de aquí se pueden formar 4 tipos de resinas furánicas que son:

Resina Urea-Formaldehído/Alcohol Furfurílico

Resina Fenol-Formaldehído/Alcohol Furfurílico

Alcohol Furfurílico/Formaldehído

Fenol-Formaldehído

La influencia de cada una de las resinas básicas por separado se resume como sigue:

Costo: A mayor porcentaje de resina de urea-formaldehído, más - bajo será el costo, a mayor porcentaje de alcohol furfurílico, más bajo será el costo.

Contenido de Nitrógeno: El nitrógeno se encuentra presente en - las resinas de urea-formaldehído, entre un 20 a 25%, pero no en las -- otras resinas, de aquí que resinas completamente libres de nitrógeno se pueden producir con resinas de alcohol furfurílico y de fenol-formaldehído.

Esfuerzo a la Tensión y Compresión: Las resinas de alcohol furfurílico y urea-formaldehído, producen esfuerzos similares, los cuales son muy superiores a los de las resinas de fenol-formaldehído.

Fragilidad: La resina de urea-formaldehído es ligeramente superior a la resina de fenol-formaldehído, la cual es la peor por ser muy frágil.

Dureza Superficial: La resina de alcohol furfurílico es ligeramente superior a la resina de urea-formaldehído y a la resina de fenol-formaldehído que es baja comparada con las anteriores.

Viscosidad: La resina de más baja viscosidad es la de alcohol furfurílico, la de urea-formaldehído es intermedia, la de fenol - formaldehído es de viscosidad muy alta. La resina de alcohol furfurílico mejora considerablemente la viscosidad de las resinas de urea- - formaldehído y fenol-formaldehído.

Reactividad y Curado Uniforme y Completo: La resina de urea formaldehído es la más rápida en curado, la de alcohol furfurílico es la más reactiva comparada con las resinas de urea formaldehído y fenol-formaldehído. Pequeñas adiciones de alcohol furfurílico a las anteriores resinas mejoran sus propiedades de curado uniforme y completo.

Evolución de Gases en la Reacción de Curado: La evolución - de gases es debida a la presencia de formaldehído libre en la resina, la resina de urea-formaldehído tiene la menor cantidad de formaldehído libre, mientras que la resina de fenol-formaldehído tiene mayor -- cantidad.

Las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de resinas furánicas se pueden resumir como sigue:

Resinas de Urea-Formaldehído: Tienen muy buenas propiedades en todos los aspectos, pero cuando se necesita bajo contenido de nitrógeno, se hacen caras por el alto contenido de alcohol furfurílico que se necesita. Aproximadamente los niveles de nitrógeno son como se muestra a continuación:

% UREA FORMALDEHIDO	% ALCOHOL FURFURILICO	% NITROGENO
45	55	8
30	70	5
20	80	2.5
10	90	0.5

Resina de Fenol-Formaldehído: Su principal ventaja es que es completamente libre de nitrógeno, pero esta propiedad es obtenida sacrificando resistencia y tenacidad, además de que tiene la tendencia en las piezas vacías de formar el defecto llamado aletas de pescado.

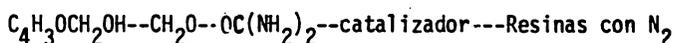
Resina de Alcohol Furfurílico-Formaldehído: Es una resina de bajo contenido de nitrógeno que se puede obtener a un buen costo; con ella se pueden obtener buenas resistencias pero no tan buenas como con las resinas de urea-formaldehído y no son tan frágiles, además tienen una tolerancia razonable al curado uniforme.

Polímero de Fenol-Formaldehído: Tienen un magnífico comportamiento a la reacción de curado, con baja evolución de gases, además de una buena resistencia en caliente. Con esta resina el tiempo de fraguado es menos dependiente a variaciones de temperatura. Los esfuerzos a la tensión y compresión son moderados, de aquí que se requieren altas adiciones, además de que esta resina es de un alto costo.

En general en todos estos tipos de resinas furánicas el contenido de nitrógeno varía de 0% hasta 12%, el contenido de agua de 2% -- hasta 20% y el contenido de alcohol furfurílico puede variar desde el-

35% hasta el 95%.

La reacción entre:



Todas las resinas antes mencionadas se usan con catalizadores ácidos; generalmente se usa el ácido fosfórico para las resinas de -- urea-formaldehído, mientras que el ácido paratoluensulfónico es usado para las resinas de fenol-formaldehído. La razón de usar diferentes catalizadores está asociada a la mutua solubilidad de la resina con el catalizador.

El catalizador activa a la resina furánica, efectuándose una reacción química exotérmica e irreversible, no habiendo forma de detener, en ningún momento, la reacción resina-catalizador, dependiendo de este último la velocidad y efectividad del curado del molde; por lo tanto la elección del tipo de catalizador dependerá de su clase y concentración, así como del tipo de trabajo y materia prima con que se -- cuenta.

Las características más importantes de las resinas son:

- El porcentaje de nitrógeno
- El porcentaje de agua, el cual retarda la reacción

- El porcentaje de formaldehído libre que trae problemas de contaminación ambiental
- El P.H. que si es alcalino se necesita una mayor cantidad de catalizador
- La viscosidad que le confiere a la arena muy buena fluidez y se requiere muy poco apisonado
- Alta resistencia a la tensión y al rayado que desarrollan estas resinas, a lo que se debe la buena calidad de la pieza

La segunda parte del sistema furánico, como ya se mencionó anteriormente, es el catalizador, el cual puede ser cualquiera de los tres siguientes ácidos:

Acido Fosfórico ----- H_3PO_4 (inorgánico)

Acido Bencensulfónico ----- $C_6H_5-SO_3H$ (orgánico)

Acido Para-Toluen Sulfónico ----- $CH_3-C_6H_4-SO_3H$ (Orgánico)

El producto de la reacción entre la resina y el catalizador es un plástico termofijo que tiene gran fuerza de cohesión entre los granos de arena y se destruye al ser quemado por el metal, produciendo carbón, elevando con esto la resistencia a la penetración de metal al molde de arena.

Las características más importantes de estos ácidos son:

- El Tipo de Acido: El ácido Para-Toluen Sulfónico tiene una acción catalizadora más fuerte que el ácido fosfórico y, a su vez, el ácido Bencen Sulfónico es un ácido especial que se emplea cuando se

necesitan altas resistencias y mayor velocidad de curado. Estos ácidos derivados del ácido sulfúrico son más costosos que el ácido fosfórico.- El hecho es que ambos ácidos se usan en las fundiciones con buen éxito.

- La Concentración: Debido a que existen diferentes criterios para el tiempo de desmoldeo en las fundiciones, existe una gran variedad de ácidos con diferentes concentraciones

Los solventes en los que están diluidos los ácidos orgánicos - generalmente son agua o alcohol, siendo los más rápidos los que contienen alcohol.

Factores que Influyen en el Funcionamiento de las Resinas Furánicas:

1. Arena, Características, Tamaño de Grano, Forma y Distribución.

Como en cualquier sistema en el que se aglutinen partículas -- por medio de resina, la superficie de las mismas específicamente tiene un efecto profundo sobre la cantidad de resina requerida para producir la resistencia deseada.

Conforme la superficie específica del grano de arena aumenta, - se debe incrementar la cantidad de aglutinante, por lo tanto, mientras más fina sea la arena, se requerirá mayor cantidad de resina para dar - las propiedades físicas adecuadas. Es por esto muy importante, al seleccionar la arena, escogerla lo más libre de finos posible y con un número AFS bajo.

De esta manera una arena sílica con un número AFS de 70 proba-

blemente necesitará 2% de resina, mientras que una arena con un número AFS de 50 necesitará de 1.8% de resina.

La angularidad de la arena también afectará la cantidad de -- aglutinante requerido. Una arena angular o subangular demandará mayor cantidad de resina que una arena de grano redondo, debido a que la densidad disminuye conforme se aumenta la angularidad. Todo esto se puede ver en la siguiente tabla:

Forma de Grano	Arena Sílica AFS 53 sup/ton. m ²
Subangular	12725
Redonda	10907
Angular	15725
	Granos de arena en 100 g.
Malla 30	250 000
Malla 140	18 000 000

De igual manera las impurezas que trae la arena, como la arcilla, aumentan la superficie a recubrir y, por lo tanto, aumenta la cantidad de resina necesaria.

Muchas arenas empleadas en las operaciones de la fundición -- contienen diferentes cantidades de materiales alcalinos, como carbonatos. Como el curado de las resinas furánicas de autofraquado depende de la presencia de una cantidad específica de catalizador ácido, la velocidad y el grado de curado se verán afectados por los materiales o - impurezas que trae la arena.

Parte del ácido se neutraliza y, por lo tanto, no será capaz-

de llevar a cabo la polimerización completa o curado de la resina. En estos casos se requiere de mayor cantidad de ácido para compensar la alcalinidad de los materiales y así poder obtener el tiempo de curado deseado.

2. Preparación de la Arena o Mezclado

En general, los rangos más usados de resina y catalizador que se deben mezclar con la arena son los siguientes:

De 1.5% a 2.5% de resina base arena.

De 20% a 60% de catalizador base resina.

En el mezclado por lotes, en los que se usan cantidades determinadas de arena, catalizador y resina, primero se carga la arena al mezclador, enseguida se agrega el catalizador y se mezcla hasta que la arena se ve humedecida uniformemente y, finalmente, se agrega la resina mezclando hasta que la mezcla sea uniforme. Se agrega el catalizador antes que la resina porque si se agrega la resina antes que el ácido se tendrán en la mezcla causados por resina quemada por el ácido, dando resultados inferiores.

Es importante que el equipo de mezclado esté bien limpio, ya que los materiales contaminantes, como arcillas o aceites puedan afectar el tiempo de curado de la mezcla autofraguante.

Una vez que el ácido y la resina se han puesto en la mezcla de arena, empieza la reacción de curado. Por lo tanto, los lotes de mezcla tienen un tiempo de uso limitado, es decir, un período de tiempo durante el cual la mezcla permanece moldeable.

Por esta razón es necesario planear la producción adecuadamente, de tal forma que la mezcla arena-catalizador-resina, se pueda usar durante este período. Cuando la arena está ya muy avanzada, no se puede usar o reprocesar. Cualquier mezcla de arena preparada que sobre, si no se utiliza durante el tiempo de trabajo de la mezcla se debe eliminar, resultando un desperdicio de arena y aglutinante.

Dado que el diseño del mezclador influye en el tiempo de curado debido al calor que pueda desarrollarse en el mezclado, es importante emplear mezcladores tipo chileno o de aspas en forma de S, cuidando de no excederse en el tiempo de mezclado y manteniendo las tolerancias de ruedas, cuchillas y aspas con el fin de evitar fricciones entre grano y grano de arena y entre grano y la superficie del molino.

En el "mezclador continuo" el problema de la vida de banco inherente al mezclado por lotes se elimina. Este tipo de mezclador está diseñado para medir la arena, catalizador y resina en las proporciones correctas y producir así una mezcla de todos estos elementos en forma continua.

Debido a que el proceso es relativamente simple, la mayor parte del equipo empleado en las fundiciones es adecuado para usarse con los aglutinantes furánicos. Es tan versátil este proceso que se puede emplear desde las fundiciones más pequeñas hasta las más grandes, en -- donde se requiere una alta productividad empleando el equipo adecuado -- como es:

En Producción: Mezcladores continuos, mezcladores tipo chileno, cajas de moldeo, cajas de corazones, mesas vibratoras, transporta-



dores, shake out.

En Laboratorio: Balanza granataria, mezclador tipo chileno o de aspas, caja para corazones, probador de resistencias a la tensión, al rayado y al impacto.

3. Humedad en la Arena

La presencia de humedad en la arena tiene un efecto diluyente sobre el catalizador, reduciendo la velocidad de curado, es por esto - que conforme aumenta el contenido de agua en la arena las resistencias disminuyen rápidamente y también es perjudicial este aumento para los catalizadores cualquiera que se emplee, por lo que se refiere al tiempo de desmoldeo.

4. Temperatura de la Arena

La temperatura de la arena, así como la temperatura ambiente, afectan la vida útil y el tiempo de fraguado en este proceso. Conforme la temperatura aumenta, la velocidad de curado también aumenta para un mismo contenido de catalizador, siendo aproximadamente el doble por cada 7°C de aumento en la temperatura. De preferencia la arena debe estar entre 21°C y 28°C. Por lo tanto, si la temperatura de la arena o la ambiente varían, es necesario hacer ajustes en la cantidad de catalizador para compensar esta diferencia. Es necesario hacer lo anterior debido a que la temperatura de la arena tiene una influencia principal en el proceso de polimerización.

5. Contenido de Resina

Se debe de optimizar el contenido de resina en la arena con el fin de obtener los mejores resultados, es decir, una menor evolución de gases, resistencias adecuadas para obtener una buena calidad de vaciado, buena colapsibilidad, redundando todo esto en una máxima economía.

Para optimizar dicho contenido se debe evitar usar resina en exceso, emplear menor o mayor cantidad de catalizador, ver que el mezclado sea eficiente, emplear la mejor arena que se pueda conseguir.

6. Cantidad y Tipo de Catalizador

El optimizar este elemento solo se puede lograr haciendo pruebas en el laboratorio con los catalizadores disponibles, variando las cantidades bajo las mismas condiciones de trabajo y haciendo una buena comparación entre todos con el fin de utilizar la cantidad óptima de catalizador (ni en poca ni en mayor cantidad que aquella en la que obtienen las máximas resistencias) y por lo tanto el tipo de este que va a ser empleado.

A la vez se debe establecer la mayor velocidad de curado usando los niveles más bajos de catalizador y no se debe de salir de un rango de 0 a 65%. La evolución de gases es otro factor que se debe establecer para utilizar la cantidad y tipo de catalizador que será más adecuado para lograr las condiciones óptimas de trabajo.

7. Humedad Relativa

Dado que la reacción entre las resinas furánicas y los catalizadores ácidos es una reacción exotérmica y de condensación, la humedad relativa reduce la velocidad de curado.

Se puede decir que el aumento en la humedad relativa decrece la velocidad de curado y evaporación del agua presente en la resina y en el ácido también, como la velocidad de evaporación del agua producida en la reacción de condensación de la resina.

8. Temperatura Ambiente

Es un factor que es sumamente importante, ya que de su buen control se tendrá el tiempo de curado adecuado, empleando la misma -- cantidad de catalizador.

El contenido de humedad en el proceso de autofraguado, como ya se dijo, es virtualmente de 0%, mientras que la materia combustible varía de 2 a 2.5%. Dado que los gases generados por la descomposición de las resinas de autofraguado son del tipo no recondensable -- (CO, CO₂, H₂, N₂, etc.) no se forma pared con agua que haga débil la -- arena y contribuye a los defectos de expansión, siendo la expansión -- típica en este tipo de moldeo del 1%.

La falta de movimiento de la pared del molde explica porque los vaciados de autofraguado pesan menos, por lo que se tiene que modificar los modelos cuando se cambia de arena en verde a autofraguado.

La expansión de la arena y la descomposición del aglutinante ocurren ambas en el corazón y el molde a diferentes proporciones, todo alrededor del metal que está solidificando, creando áreas de ten-- sión. Estas tensiones dan como resultado varios cambios dimensiona-- les en la cavidad del vaciado.

Cuando todo el recubrimiento de la resina es suficiente para resistir los efectos combinados de la descomposición térmica y la ex-

pansión relacionada a esfuerzos físicos, se obtendrá un buen vaciado.- Si la resina no tiene suficiente resistencia en caliente, o si el soporte de cualquier parte del sistema de arena es insuficiente para resistir la expansión de la interfase arena-metal, se producirán los defectos en la pieza.

Economía del Proceso Autofraguante

El proceso de autofraguado se utiliza básicamente en la elaboración de moldes y corazones grandes, tanto para una producción grande como reducida; este proceso tiene muchas ventajas que reducen significativamente los costos en la fundición y son las siguientes:

1. Eliminación del Horneado: Esto es una virtud de que los corazones y moldes se producen sin la necesidad de hornear y se elimina el uso de hornos, carros de corazones, secadores, etc.

2. Disminución de la Cantidad de Trabajo: Al haber menos manejo de corazones y moldes, se disminuye el trabajo.

3. Menos Desgaste de los Modelos y Cajas: Debido a que la arena fluye relativamente fácil, la necesidad de compactar fuertemente se reduce dando como resultado un menor desgaste del herramental.

4. Reducido Uso de Varillas y Alambres: Debido a la gran resistencia que imparten las resinas furánicas, no requieren tantos esfuerzos de varillas y alambres para manipular los corazones y moldes.

5. Consolidación de Varias Piezas en Una: Se pueden consolidar varias piezas en una sola eliminando piezas de ensamble, otra vez -

debido a las altas resistencias que desarrollan las resinas furánicas.

6. Reducción de Costos de Operación y Equipo: Como el acabado de los moldes y corazones es excelente, se reducen considerablemente las operaciones de limpieza. Como resultado de la reducción de costos operativos se reducen los requerimientos de maquinaria y equipo.

7. Eliminación de Instalaciones Costosas para los Modelos y las Cajas de Corazones: Esto es debido otra vez a las razones expuestas en el punto anterior.

8. Poco tiempo para la Elaboración de Moldes y Corazones: Esto es debido a la gran rapidez con que se puede manejar la arena ya preparada sin la necesidad de otros aditamentos especiales.

9. Empleo de Obreros no Calificados en la Fundición: El material humano para trabajar en este tipo de proceso no requiere de una preparación especial por la facilidad de las operaciones que se realizan en este proceso.

10. Alta Precisión de Medidas en las Piezas Hechas: Los corazones y moldes reproducen fielmente y con la mayor exactitud el modelo, por lo que los vaciados son más precisos en los detalles y en las dimensiones.

11. Menor Rechazo: Su alta resistencia en caliente y su excelente colapsibilidad hacen mínimos los defectos de vaciado.

12. Posibilidades de Ahorro de la Arena Aglutinada: Por la poca cantidad, tanto de resina como de catalizador que se usa, se puede lograr una buena economía. Además los corazones y moldes se pueden almacenar durante largos períodos sin efectos perjudiciales.

13. Menores Costos de Acabado: Esto se logra por la gran calidad de acabado superficial que tiene la pieza colada y porque ésta se encuentra libre de sopladuras y porosidad interna.

Para obtener los mejores resultados en la producción de los corazones y moldes por este sistema, es necesario seguir las siguientes reglas básicas:

a) La caja de corazones puede ser construída de madera o de metal. Es necesario preparar el interior de la caja adecuadamente, debido a que el aglutinante, al curar, toma una alta resistencia; no es posible retirar el corazón cuando las cajas tienen forma de embudo invertido. La presencia de cortes y fisuras en las cajas es también malo. Es necesario usar cajas cuyos barnices no sean atacados por el alcohol furfurílico contenido en los aglutinantes, debido a que este último es un fuerte solvente.

Los mejores resultados se han obtenido con pinturas a base de aluminio y barnices que no son atacados por el alcohol.

b) La humedad de la arena debe ser controlada lo más bajo posible, por lo que siempre debe de utilizarse arena seca.

c) Se debe de controlar la temperatura de la arena; ésta-

debe de estar entre 21 y 27°C.

d) Es posible manejar la velocidad de curado por la variación en la cantidad de catalizador usado. A continuación se transcribe la siguiente tabla en donde se indica la vida útil y el tiempo requerido para retirar los corazones.

Aglutinante %/peso de la arena	H ₃ PO ₄ 85%, %/peso de la arena	Vida Util	Tiempo p/retirar
2	0.4	30-40 min.	60-80 min
2	0.5	20-30 min.	40-60 min
2	0.6	10-20 min.	30-40 min

e) La arena debe de ser usada tan pronto como la mezcla se ha completado debido a que su grado de fluidez y su cualidad de compactación están en óptimo grado.

f) Al introducir la arena en la caja de corazones o en la caja de moldeo, se debe de presionar ligeramente para asegurar una densidad uniforme en la superficie de estos. Después de que el molde o el corazón se han hecho, se debe de permitir un tiempo de reposo para su completo fraguado; este tiempo es de aproximadamente 2 o 3 veces la vida útil de la arena. Es conveniente retirar el corazón o el molde de la caja inmediatamente después de comprobar que es resistente, asegurando de esta forma su curado fuera de la caja y haciendo que la caja pueda ser usada en la fabricación de un nuevo molde o corazón.

g) El contenido de aglutinante deberá ser un máximo de 2.5% -

ya que la resistencia se incrementará conforme el aglutinante se incrementa hasta llegar al 2.5% en peso sobre la resina; no se debe utilizar cantidades de aglutinante mayores a 2.5%.

Aglutinantes de Uretano

Poco tiempo después de la introducción de los aglutinantes furánicos de autofraguado, se introdujo el tipo de Uretanos. Estos dos tipos de aglutinantes de autofraguado son diferentes químicamente, sin embargo el resultado final en forma de arena aglutinada es similar en muchos aspectos.

El uso de los uretanos como aglutinantes ha crecido rápidamente. La razón principal de dicho crecimiento y su preferencia sobre los furánicos es la facilidad de desmoldeo de las matrices.

El término "Aglutinante Poliuretano" se usa para describir un tipo de materiales resinosos capaces de reaccionar químicamente con un isocianato con o sin aceleradores, convirtiéndose por sí mismo rápidamente de líquido a sólido, a temperatura ambiente. Actualmente se dispone de varios tipos diferentes, los cuales difieren principalmente en la velocidad de fraguado y curado.

Con el fin de obtener los máximos resultados, es necesario -- mantener el balance correcto de resina a isocianato sin variaciones -- que puedan provocar problemas, ya que un exceso de isocianato no mejora el tiempo de fraguado de una mezcla preparada, sino que lo hace más largo.

El sistema de uretano se ve seriamente afectado por la temperatura y la humedad. Las variaciones fuertes de cada una de estas con

diciones pueden hacer cambiar el tipo usado o la fórmula de la mezcla con arena.

Como cualquier aglutinante, se unen partículas pequeñas para formar una masa sólida densa. La superficie específica total tiene un efecto muy importante en las resistencias que se obtienen. Conforme la superficie específica aumenta con la granulometría, se debe aumentar también el contenido de aglutinante a fin de producir resistencias equivalentes.

La acidez o alcalinidad de la arena no tiene influencia en el resultado final cuando se usan los aglutinantes de uretano. La arena a usar debe de estar seca, puesto que la reacción química entre la resina base y el isocianato se ve afectada adversamente por la humedad.

El agua es un factor muy importante en la reacción de los uretanos, ya que un 3% de agua, basado en el peso de isocianato, lo descompone completamente y casi de manera instantánea. Se debe evitar el almacenamiento del isocianato en recipientes abiertos, pues la humedad atmosférica es suficiente para descomponerlo rápidamente.

La vida útil, el tiempo de fraguado y las resistencias obtenidas varían considerablemente con los cambios de temperatura, -- los cuales si son inferiores a 25°C retardarán la reacción, mientras que si son superiores a 25°C pueden requerir de algún reajuste en la formulación para proporcionar el mejor resultado.

Para todos los usos generales, deben evitarse los cambios en las proporciones de resina-isocianato. Los cambios requeridos --

deberán hacerse en el tipo de producto usando un acelerador o catalizador.

La resina base en el sistema de uretano, generalmente es libre de nitrógeno; sin embargo, el isocianato requerido contiene 10% de nitrógeno. Basados en lo anterior, cada 1% de resina base usada en la arena con 20% de isocianato en la resina, producirá el 0.020% de nitrógeno en la mezcla total.

Las características más importantes en el sistema de autofraguado de uretano, son las siguientes:

- La resina de uretano fragua en forma suave
- Proporcionan una baja resistencia a la temperatura, debido a que no tienen la habilidad para formar carbón durante la descomposición

Proceso de Autofraguado Fenol-Uretano

Los aglutinantes de autofraguado fenólico-uretano fueron introducidos a la industria de la fundición en 1970. Han tomado una gran posición de primera importancia pues logran una gran producción de corazones y moldes.

Las resinas de autofraguado fenólico-uretano son una prolongación de la misma resina química uretano-fenólica usada para desarrollar el catalizador de gas de amina utilizado para resinas de caja fría. En el inicio, durante el desarrollo de estos nuevos aglutinantes, se descubrió que varios catalizadores podían ser empleados para afectar la reacción de curado. En lugar de introducir el catalizador en forma de gas, se utiliza un catalizador líquido basado en Piridina,

el cual es añadido directamente a la resina durante el mezclado de la arena obteniéndose un curado en pocos segundos.

Este tipo de resinas proporcionan una atractiva alternativa para la alta producción de corazones y moldes, ya que también no es requerido ningún tipo de calentamiento para iniciar el curado, por lo que proveen un importante factor para la conservación de la energía.

Los componentes de la resina líquida usados para fabricar -- las resinas uretano-fenólicas, son especialmente formulados de resinas que son aptas para facilitar el mezclado. Este sistema se compone de dos partes:

Las resinas de la parte I están compuestas de una resina -- eterpolibencílica-fenólica, mezclada con solventes seleccionados como los ya mencionados en capítulos anteriores. La parte II es un diisocianato polimérico, también disuelto en solventes.

Generalmente el nivel total de resina va de 1 a 2% (basado -- en la arena) y provee excelentes propiedades de aglutinamiento a la -- arena.

Las dos resinas son normalmente usadas en proporciones de -- 55/45 o 60/40 de parte I a parte II; estas son usadas para reducir -- el costo de la mezcla de arena y minimizar la cantidad de nitrógeno -- que es proporcionado por la resina de poliisocianato (parte II).

Se utilizan dos tipos de catalizadores para el mejor curado -- de estas resinas, derivados ambos de la Piridina y difiriendo solo en el solvente.

Las características de curado de estas resinas dependen de -- la reactividad de la resina, nivel de catalizador, temperatura de la-

arena y de la superficie específica, propiedades que ya fueron explicadas anteriormente, pero si se discutirá la siguiente:

Tipo de Arena.- Los parámetros de la arena ejercen un profundo efecto en el funcionamiento de cualquier tipo de aglutinante de autofraguado; la mayoría de las fundiciones emplean arena de grano subangular o grano angular en distribuciones de malla de 50 a 60 AFS. Aunque el valor de la demanda de ácido es una consideración importante -- cuando se usan sistemas catalizados con ácido, usualmente no es un factor importante que afecte el funcionamiento de este tipo de resinas -- uretano-fenólicas, porque éstas son fraguadas con catalizadores básicos. Es por esto que la presencia de impurezas alcalinas como carbonato de calcio y otros componentes básicos aumentan la velocidad de curado y la arena que tenga tendencias a ser bastante ácida ocasionará que disminuya el curado.

Los problemas de fabricación de moldes y corazones que son -- más frecuentemente encontrados cuando se utilizan las resinas uretano-fenólicas están asociados con las siguientes áreas:

- a) Variables en la calidad de la arena
- b) Mezclado de arena y resina
- c) Consistencia del catalizador
- d) Uso no adecuado de las resinas

Cualquier caso anterior en el que se caiga al fabricar los corazones o moldes, puede ocasionar que estos no cumplan con los estándares de fabricación.

Proceso de Autofraguado Isocianato-Fenólico

Durante los últimos años, un nuevo concepto en aglutinantes de autofraguado ha sido establecido en la Industria de la Fundición; el principio químico que rige este proceso se basa en el uso de una resina fenólica, con combinación con un isocianato y un catalizador.

Con este sistema algunos de los problemas inherentes a los aglutinantes de autofraguado han sido eliminados, pero se debe de -- ver primero la reacción básica:

La resina fenólica básica especial y el catalizador se combinan y coexisten en este sistema de equilibrio con el isocianato, - se puede controlar el tiempo necesario para que la resina fenólica - se libere del catalizador, produciendo una resina fenólica, más un - isocianato, más un catalizador. El catalizador recibe gas instantáneamente para formar un uretano curado; en este caso no hay cambio en la viscosidad del aglutinante, sino hasta después de que el catalizador es liberado de la resina fenólica.

Esto significa que la fluidez de la arena no se pierde a lo largo del tiempo de trabajo de la mezcla de arena-resina. Con esto como base, este sistema proporciona un tiempo de extracción de aproximadamente 30 a 60 segundos, lo que se traduce en un nivel de productividad de los corazones y los moldes nunca antes alcanzado. En este caso anterior se tiene un tiempo de trabajo de 4 minutos, pero este tiempo de trabajo se puede extender hasta 20 minutos, sin embargo, en todos los casos en que se realice esta variación, existe un tiempo más corto de extracción en relación con el tiempo de trabajo. Traduciendo lo anterior a resultados en piezas coladas, se puede de-

mostrar que las piezas hechas con corazones y moldes producidos al principio, a la mitad y al final del tiempo de trabajo de aglutinante, tienen las mismas características superficiales y de terminado final.

Se ha eliminado con esto otro problema en los sistemas de autofraguado. Los corazones y moldes pueden ser utilizados casi inmediatamente. En la actualidad se llegan a colocar piezas a los 30 minutos de que la arena ha sido preparada. Esto abre nuevos horizontes al uso de los aglutinantes de autofraguado, tales como el moldeo continuo, el uso como careo, la producción más completa de moldes y aún la producción de corazones de menos de 12 kilos para lograr una producción de piezas mucho más importante.

Un fenómeno único del sistema de isocianato-fenólico es la alta fluidez de la resina; este sistema de baja viscosidad con buenas características de humedad para la arena da el máximo de fluidez.

La máxima fluidez permite que la resina llene los huecos entre los granos de arena de manera instantánea, obteniéndose así el máximo de resistencia. Donde se usa resina de alta viscosidad, se tiene una deficiencia del aglutinante, esto significa que la cantidad de aglutinante necesario para dar las máximas propiedades de fluidez será menor.

En general las fundiciones han estado usando exitosamente un contenido total de resina de 0.9% a 1.25%, lo que representa no solo mayor eficiencia en la resina, sino también costos más bajos y menos problemas de evolución de gases, además de una mejor colapsibilidad.

Las demás propiedades y características que influyen en el funcionamiento de este sistema de autofraguado son semejantes a las ya men-

cionadas anteriormente, por lo que aquí no se mencionan.

Proceso de Autofraguado con Resinas Fenólicas

Las resinas fenólicas utilizadas para el sistema de autofraguado son resinas de fenol-formaldehído como las ya mencionadas anteriormente, solo que en este sistema utiliza como catalizador el ácido sulfónico, que es un ácido bastante fuerte. Al utilizar este catalizador se obtienen mejores resultados en cuanto a velocidad de curado que con las resinas furánicas.

Este tipo de resinas fenólicas son más populares por tener un precio más bajo y porque son libres de nitrógeno; las adiciones de esta resina son más altas que las furánicas y son también mucho más sensitivas a la temperatura. Su funcionamiento con el tipo de arena y demás condiciones de manejo son equivalentes a las de autofraguado furánicas.

En la siguiente tabla se detalla la influencia de algunos de los elementos más importantes que componen las resinas de autofraguado.

**INFLUENCIA DE ALGUNOS DE LOS COMPONENTES DE LAS RESINAS
DE AUTOFRAGUADO**

INFLUENCIA	U R E A	A G U A	RESINA FENOLICA
Precio	Disminuye	Disminuye	Disminuye
Pinholes	Aumentan	No hay	No hay
Fragilidad	Menor	Menor	Aumenta
Evaporación de Gas	Más fuerte	Más fuerte	No hay
Colapsibilidad	Mejor	Mejor	- - -
Velocidad de Curado	Fuerte	Lenta	Fuerte

2. PROCESO DE CAJA FRIA

Este es uno de los métodos más nuevos utilizados actualmente en la producción de corazones y moldes, ya que desde su introducción en la industria de la fundición se le ha dado gran impulso y desarrollo.

Fué originalmente concebido y diseñado para fundiciones automotrices de alta producción, donde la velocidad fuera dos o tres veces más alta que los otros procesos usados normalmente.

El proceso de caja fría está basado en la química de la resina uretano-fenólica. Esta resina es lo que normalmente se conoce como un poliol en un sistema balanceado de solventes. Puede ser una resina fenólica o una base química alta en grupos hidróxilo (OH). La parte resínica se combina con un isocianato, el cual se encuentra en solución balanceada de solventes.

La reacción de la resina y el isocianato al mezclarse con la arena, se activa posteriormente con aminas en forma gaseosa como la trietilamina (TEA) o la dimetiletilamina (OMEA). Aunque la OMEA crea una reacción más rápida que la TEA, generalmente no se usa por ser más tóxica y más costosa. La reacción del poliol o resina base e isocianato juntos, forman un poliuretano. Las características finales del aglutinante son por lo tanto similares a las obtenidas con los tipos de uretanos de curado en frío.

En la mayoría de los casos se usan partes iguales de resina e isocianato, ya sea en peso o en volumen, con un contenido total de

aglutinante entre 1.5% y 2.0% sobre la arena.

Hay un gran número de ventajas del proceso de caja fría, las cuales son las siguientes:

- a) Eliminación de calor
- b) Produce gran precisión dimensional
- c) No hay tiempo de calentamiento
- d) Existe una fácil reparación y cambio de herramientas, sin esperar a que estas se enfríen
- e) Por la alta resistencia a la tensión de los moldes y corazones, los rechazos de estos son reducidos
- f) Hay un rápido tiempo de curado
- g) Se logra una alta productividad
- h) Existe una gran versatilidad en el diseño de los moldes- y corazones
- i) No se requiere un sobrecurado
- j) Se puede vaciar dentro de los 5 minutos siguientes a la fabricación de los moldes y corazones
- k) Proporciona un excelente acabado por la reducción de las asperesas
- l) Le da una gran fluidez a la mezcla de arena
- m) Proporciona un excelente desmoldeo
- n) El medio ambiente es más adecuado para el fundidor, hay menos fatiga por el calor y menos peligros
- o) Los costos del herramental son bajos y la vida es larga

El porque de estas ventajas, el costo de cada corazón producido, incluyendo la mano de obra y materia prima, se ha promediado en un 5 a 50% menos que con una buena operación de "caja caliente" o "shell" y se pueden reducir más los costos con la posibilidad de combinar dos o más cajas a la vez.

Otras ventajas que se tienen con el proceso de caja fuerte -- son:

1. Alta productividad. Reduce requerimientos de mano de obra por su facilidad de manejo
2. Necesita un reducido capital para expansión o para implementarlo
3. El rechazo de moldes y corazones es reducido
4. El pintado de moldes y corazones es reducido
5. Los modelos y herramientas pueden ser de cualquier material disponible
6. Reducidos costos de maquinado y limpieza

Resinas y Catalizadores para el Proceso de Caja Fría

Los dos componentes líquidos de la resina usada en este proceso orgánico son formulados especialmente porque necesitan proporcionar una gran fluidez a la mezcla de arena por su baja viscosidad.

Las resinas de la Parte I están compuestas de una resina ether-fenólica-polibenzflica, mezclada con una compleja mezcla de solventes orgánicos; la selección del sistema de solventes imparte una gran variedad de características de funcionamiento.

Dependiendo de la selección del solvente, los sistemas de resinas pueden ser fabricados para proveer propiedades de tensión alta, resistencia a la humedad y vida de banco.

La Parte I y la II son combustibles pero no explosivas. La Parte II es una resina que contiene un polímero MDI (Metileno-difenil-isocianato) también disuelto en solventes; aunque se agregan pequeñas cantidades de ácidos orgánicos a la parte II para neutralizar las impurezas alcalinas y extender la vida útil.

El mecanismo de curado involucra la acción rápida de los grupos hidróxilo de la Parte I con los grupos isocianato de la Parte II. Como se mencionó anteriormente, cuando al componente de la resina se le hace pasar un catalizador de amina, se forma rápidamente una película de uretano que liga los granos de arena en unos cuantos segundos.

Los catalizadores más usados para acelerar el curado de este tipo de resinas son la trietilamina y la dimetil-etilamina; ambos son de color rojo y deben ser almacenados en extremas precauciones contra fuego y se debe evitar su contacto con la piel y con las membranas mucosas.

Ambos en forma de vapor son considerados como tóxicos para el personal de la planta cuando están presentes en cantidades promedio de 25 ppm en el aire.

La cantidad de catalizador usada actualmente depende del diseño y complejidad del molde o corazón, pero son adecuadas cantidades en el rango de 0.05 a 0.08%.

El nivel total de resina depende de las características de la-

arena y de la resistencia requerida. La cantidad óptima de resina total se determina por medio de experimentos en el laboratorio y es influenciada grandemente por el método de compactación de arena que se empleó, pero este nivel total no debe pasar del 2%.

La vida útil de la mezcla de arena varía de 1 a 5 horas, ejerciendo una gran influencia sobre ésta la calidad de la arena, la temperatura y las otras variables que existen en una fundición a las que ya se hizo referencia.

Tipo de Arena para el Proceso de Caja Fría

Se pueden usar muchos grados de arena sílica con este proceso. La mayoría de las fundiciones usa satisfactoriamente arena de grano angular o redondo, con una fineza de grano en el rango de 50 a 65 en el número AFS.

Las consideraciones importantes en la selección de la arena -- como la forma del grano, distribución del grano y otros factores ya -- fueron discutidos anteriormente.

Uno de los valores más importantes en las características de la arena para este proceso es el tener un valor bajo en la demanda de ácido, ya que las impurezas alcalinas como el carbonato de calcio y -- los demás compuestos metálicos de hierro, aluminio y sodio, incluidas en la arena, pueden reducir grandemente la vida útil.

Otros factores que afectan la vida útil son la alta temperatura de la arena y el contenido de humedad.

La temperatura alta reduce la vida útil porque el calor acelera la reacción entre el hidroxol fenólico y los grupos isocianato. - -

Además una temperatura de la arena arriba de los 35°C promueve la volatilización de ambos sistemas de solventes aromáticos y alifáticos. La remoción de estos solventes disminuye la fluidez de la arena y promueve la vida útil reducida.

La forma del grano y el número de fines de grano tienen la misma importancia en caja fría como en cualquier otro proceso de fabricación de moldes y corazones. La fineza de la arena y la forma de grano más angular, hace que una mayor cantidad de resina se requiera para dar una resistencia a la tensión determinada.

La preparación de la arena se puede hacer de la siguiente manera:

- Agregar la resina a la arena y mezclar 1 minuto. Agregar el isocianato y mezclar 3 minutos o
- Premezclar la resina con el isocianato y después agregarlo a la arena y mezclar 4 minutos.

Las resistencias a la tensión se obtienen al máximo cuando la mezcla está fresca y disminuyen conforme la mezcla envejece.

El curado de la mezcla se realiza más rápidamente haciendo pasar la corriente de gas TEA por el molde o corazón y luego se purga con aire para eliminar la TEA remanente. La TEA se inyecta en la corriente de aire para luego inyectarse a través del molde o corazón.

En este sistema el aglutinante se convierte, por la acción de la TEA del estado líquido al sólido casi instantáneamente; el desarrollo de la resistencia es más lento y puede variar con la cantidad de aglutinante usado.

La resistencia a la humedad del proceso de caja fría es bastante reducida, especialmente cuando se aplican a las partes del corazón o del molde pinturas a base de agua y luego se secan en horno a temperaturas elevadas. La humedad que emana de la superficie pintada afecta las resistencias del molde o corazón entero. Si se hornean -- los corazones a temperaturas de 200°C, se aumentan las resistencias -- considerablemente, sin embargo, si se hornean en atmósfera húmeda, se reducen estas resistencias. Además, los moldes o corazones que se -- han debilitado por un almacenamiento prolongado, se pueden hornear para restablecer sus propiedades.

Los problemas de fabricación de moldes y corazones que son -- más frecuentemente encontrados en la producción, se encuentran asociados con las siguientes áreas:

1. Variables en la calidad de la arena
2. Mala distribución de la resina
3. Mal mezclado
4. Inadecuada aplicación del catalizador
5. Problemas por utilizar equipo no adecuado
6. El catalizador utilizado presenta riesgos de toxicidad
7. El olor producido es bastante objetable
8. La resistencia a la humedad es baja
9. Existen algunos problemas de desmoldeo
10. La vida de uso requiere de un mayor control

Las variaciones en las especificaciones de la arena provocan

usualmente graves problemas en los moldes y corazones fabricados, además incluye los deterioros producidos por un alto valor en la demanda de ácido y el no control de la fineza de la arena o distribución de malla, lo que origina un gran problema por el enorme rechazo producido.

Si la arena y la resina no son mezclados suficientemente -- bien o en la proporción correcta, también ocasiona un gran rechazo, -- junto con la incapacidad para vaporizar la amina líquida o la mala -- distribución de la arena en las cajas de los moldes y corazones.

Se ha hecho un gran esfuerzo en el desarrollo de los aglutinantes para fundición, buscando más que nada costos de materiales más bajos y mayor producción por unidad disponible, como lo indica la -- gran variedad de aglutinantes y métodos que se han desarrollado en la industria de la fundición en la última década.

Actualmente existe una amplia variedad de materiales y procesos que permiten la producción de moldes y corazones con la máxima -- eficiencia y el mínimo costo.

La primera operación esencial en cualquier fundición, es -- producir piezas que se puedan vender en un mercado cuya demanda se está haciendo cada vez más precisa. Por lo tanto se debe dar prioridad a las consideraciones económicas y a la calidad, factores importantes que han contribuido a la aceptación cada vez mayor que día con día -- tiene el proceso de caja fría.

3. PROCESO DE CAJA CALIENTE

El proceso de caja caliente es una modificación del proceso de cáscara. La diferencia estriba en que se usa una mezcla húmeda en lugar de una mezcla seca de flujo libre, produciendo un corazón principalmente sólido y no hueco, aunque se pueden adaptar los mandriles o insertos para producir corazones huecos, pero ésta no es una práctica común.

Este proceso se utiliza básicamente para la producción elevada de corazones en las fundiciones automotrices.

La mayor ventaja del método húmedo de caja caliente sobre el de cáscara, reside en la velocidad de producción, aunque con este método no se pueden fabricar moldes y con el de cáscara si se puede trabajar con bastante éxito con ciclos mucho más rápidos.

El principio básico en el que fundamenta este proceso es el de producir una cáscara curada lo suficientemente fuerte para soportar el peso completo de los corazones, permitiendo por lo tanto al operador, sacarlo de la caja sin perder su forma o romperse. Al sacarlo el corazón continuará su curado y el interior quedará completamente curado y endurecido antes de estar completamente frío.

Las principales ventajas del proceso de caja caliente son:

1. El bajo costo del aglutinante
2. Alta velocidad de producción
3. Fabricación de corazones sólidos

La principal desventaja es el olor por lo que el equipo debe estar habilitado con campanas de extracción, de tal forma que los gases liberados al sacar los corazones calientes de sus cajas se pueden expulsar a la atmósfera.

Dada la naturaleza de este proceso, este es más adecuado en los sitios en que se producen piezas relativamente pequeñas como sucede en las fundiciones de la industria automotriz. En otras operaciones su uso es muy limitado o prácticamente no existe.

Resinas para el Proceso de Caja Caliente

Actualmente existen dos tipos de aglutinantes principales utilizados en este proceso:

1. Resinas Fenólicas
2. Resinas Furánicas

Los componentes de las resinas, tanto fenólicas como furánicas, no son satisfactorios por sí solos, ya que requieren algunas modificaciones con urea para producir las características de un fraguado rápido.

Es por esto que los aglutinantes fenólicos se pueden clasificar como productos de reacción de fenol-urea-formaldehído.

Las resinas para caja caliente, sin importar su tipo, se aceleran con compuestos de tipo ácido. Las arenas varían considerablemente - como se vió ya en su valor de demanda de ácido, según su localización, - de tal forma que este sistema de caja caliente se debe ajustar sin considerar de que tipo es. Dicho ajuste se puede llevar a cabo modificando el tipo y cantidad de catalizador usado.

Las resinas fenólicas para el proceso de caja caliente producen resistencias a la tensión finales superiores que las furánicas. - La velocidad de desarrollo de las resistencias en caliente es un factor muy importante para propósitos de producción, ya que determinan - el momento en que el corazón se puede sacar de la caja sin romperse.

A este respecto ambas resinas son más o menos iguales; habiendo comparativamente, los aglutinantes fenólicos producen resistencias al calor y a la humedad considerablemente mejores. En presencia de un acelerador ambos sistemas son reactivos a cualquier temperatura y conforme aumenta la temperatura ambiente o de la arena, la reactividad también aumenta. La vida de uso de la mezcla arena-resina con -- cualquiera de estos aglutinantes a una temperatura de 25°C es de tres horas aproximadamente.

La mezcla de arena se puede hacer en cualquier mezclador de arena adecuado. Generalmente se coloca la arena en el molino y posteriormente se agrega el acelerador; se mezcla durante minuto y medio y enseguida se agrega la resina y se mezcla por dos minutos, con lo - que la mezcla queda lista para usarse.

La formulación consiste generalmente de 1 a 1.5 o 2% de resina basada en el peso de la arena y 20% de catalizador líquido con respecto al peso de la arena.

El tiempo de mezclado se estima en función de las pruebas experimentales realizadas en el laboratorio y será el tiempo en el cual se obtengan las más altas resistencias y la menor evolución de gases - posible principalmente.

Los detalles específicos de utilización y manejo tanto de las resinas furánicas como de las fenólicas, ya fueron discutidos anteriormente, ya que se considera que su comportamiento tanto en este proceso como en los anteriores, es semejante.

4. PROCESO DE CÁSCARA

Los aglutinantes resinosos utilizados para el proceso de cáscara fueron introducidas por primera vez en la industria de la fundición en el año de 1929; este tipo de resinas se denominaron termofijas y fueron patentadas en 1930. Siendo el primer sistema de aglutinantes dependientes del calor y completamente independientes de la oxidación y evaporación para su fraguado.

Su introducción fué en forma de una mezcla seca de arena y una resina fenólica pulverizada; este proceso de cáscara se ha extendido rápidamente desde su introducción hasta el punto que ahora, aproximadamente el 75% de todos los corazones pequeños producidos, se hacen con este proceso y el resto en caja caliente u otros métodos, no así la producción de moldes en donde su empleo sigue aún bastante reducido.

Las resinas fenólicas son las únicas resinas termofraguantes adecuadas para el proceso de cáscara. En la preparación de una mezcla de arena-resina, el requisito de mayor importancia es que ésta última debe permitir ser aplicada por sí misma a la superficie de la arena de manera uniforme, produciendo un recubrimiento seco, no pegajoso y una mezcla que fluya libremente sin ningún cambio apreciable en sus características físicas.

El segundo requisito es que la resina en la partícula de arena debe fundir dando una viscosidad relativamente baja al contacto con una matriz caliente para pasar rápidamente a un estado infusible o insoluble.

Las resinas uréicas se pueden aplicar a la arena, aunque care-

cen de la propiedad importante de fundirse con baja viscosidad a la -- temperatura de la matriz.

Las resinas fenólicas como ya se vió anteriormente, son pro-- ducto de la reacción de fenol con formaldehído. Se pueden producir en forma de líquidos, soluciones en solventes o sólidos. Se producen básicamente dos tipos: el primero se conoce como "novolak" o de "dos pa sos" y el segundo como "resol" o de "un paso". La diferencia real se puede describir de la siguiente manera:

El "novolak" o de "dos pasos" es una resina fenólica deficiente en el contenido de formaldehído necesario para producir sus propiedades termofraguantes. Es un producto fusible como la trementina o - la brea; para endurecer en forma termoestable, debe tener más formaldehído. Esto se logra siempre agregando hexametilentetramina o hexa para abreviar el término. La hexa es un compuesto cristalino seco de -- formaldehído y amoniáco. Los "novolaks" o de "dos pasos" son los más- adecuados para el proceso de cáscara.

El "resol" o de "un paso", es una resina fenólica que contiene todos los ingredientes en la proporción molecular adecuada para pro ducir propiedades termoestables, en el estado inicial, sin necesidad - de agregar aditivos posteriormente, o catalizadores. Desgraciadamente este tipo de resina es extremadamente difícil de producir en estado só lido, por lo que su disponibilidad se limita a la forma líquida o en - soluciones de solvente.

Los "novolaks" son estables por tiempo indefinido, mientras - que los "resoles" son muy inestables al almacenarse; su reactividad a

cualquier temperatura crea serios problemas en todas las operaciones de recubrimiento de arena y en todos los usos prácticos de la fundición, por lo que no son satisfactorias para el proceso de cáscara.

Quando se agrega la hexa a la resina de "dos pasos", en presencia de calor, se descompone y el formaldehído catalizado por el amoniáco reacciona con la resina. El amoniáco se desprende como amoniáco libre produciendo, en la resina, propiedades de termofraguado. Es por este motivo que las propiedades de fraguado y las características finales pueden variarse con la cantidad de hexa que se use.

La facilidad de producción y la sencillez de las preparaciones de mezcla de arena-resina explican porqué las resinas de "dos pasos" se usan en forma excepcional en el proceso de moldeo de cáscara.

El iniciador del moldeo de cáscara fué Johannes Cronning, el cual empleó una mezcla de arena seca y resina pulverizada sobre un modelo. Cuando se logró el desarrollo de las arenas recubiertas el proceso de cáscara fué aceptado rápidamente; las razones principales de esta aceptación son:

1. Excelente acabado superficial
2. Eliminación de horneado y soportes
3. Disponibilidad y uso inmediato de corazones y moldes
4. Uso posible de cajas de mayor tamaño, aumentando el número de corazones por soplado
5. Obtención de corazones de una sola pieza
6. Logro de corazones huecos
7. Facilidad de programación con su consecuente aumento en -

la producción por hora-hombre

8. Almacenamiento de arena preparada por un tiempo indefinido
9. Almacenamiento indefinido de corazones y moldes
10. La limpieza es bastante simplificada
11. Solo una pequeña cantidad de arena es usada
12. Se logra mayor producción en menos espacio
13. El proceso puede ser automatizado a un grado muy alto

Las principales desventajas son:

1. Alto costo de los moldes
2. Aumento de los costos de mantenimiento de los modelos, - debido a las altas temperaturas de operación
3. La preparación de la mezcla de arena-resina implica un - mayor costo
4. Se tienen problemas con los gases desprendidos al producir los moldes o corazones, a causa del formol residual

Arena para el Proceso de Cáscara

En México la arena más usada para este proceso es la arena sílica, con un contenido mínimo de sílice de 96%. El tipo de grano de arena ideal para recubrir con resina es el tipo redondo; en México no se cuenta con este tipo, pero se usa con magníficos resultados la arena sílica subangular.

La granulometría usada depende únicamente del empleo que vaya a darse a las piezas; para controlar el tamaño de grano se usan -

como también, ya se mencionó en capítulos anteriores, las normas AFS.

Es importante mantener el contenido de arcilla en la arena lo más bajo posible, ya que de lo contrario este cubre el grano absorbiendo la resina e impidiendo que sea ella quien lo cubra. Otro factor importante es controlar el PH dentro de un rango de 6.8 a 7.2, debido a que al aumentar la alcalinidad disminuye la velocidad de curado y consecuentemente las propiedades de resistencia.

La resina se puede utilizar en forma sólida o líquida, dependiendo esto del equipo con que se cuente; la resina sólida se encuentra normalmente en polvo con el hexa ya incluido en la formulación y únicamente se debe incorporar el lubricante y el alcohol en el momento de usarse. La calidad de la resina líquida va a depender principalmente del porcentaje de sólidos que contenga y el hexa y el lubricante se incorporan durante la operación de mezclado arena-resina, ya que el alcohol ya viene incluido en la resina como solvente.

El catalizador empleado es la hexametilentetramina, la cual se puede encontrar solo o mezclado con el lubricante. Al manejar estos materiales hay que hacerlo con bastante cuidado, debido a que son polvos muy finos y fácilmente vuelan ocasionando pérdidas económicas y reacciones alérgicas a los operarios en algunas ocasiones.

Como lubricante se usa el estearato de calcio en un porcentaje con respecto a la resina del 7 al 8%. Cuando se usa resina en polvo primero se mezcla durante 1 minuto la arena-resina-lubricante y después se incorpora el alcohol.

Cuando se usa resina líquida se debe mezclar el lubricante,--

primero con el hexa si estos vienen separados y cuando vienen juntos se mezcla primero la arena y el catalizador durante 1 minuto y a continuación se agrega la resina.

Como solvente se recomienda utilizar alcohol metílico o etílico industrial, procurando que venga con algún enmascarador como el toluol para evitar posibles equivocaciones; se usa solamente con la resina en polvo adicionándolo a la mezcla arena-acelerador-lubricante; 1 minuto después de haber mezclado se recomienda medio litro de alcohol por kilogramo de resina empleado.

Preparación de la Arena para el Moldeo de Cáscara

Se pueden considerar como fundamentales los ocho pasos siguientes:

1. Pesar la arena que se va a usar
 - a) Pesar la resina que se vaya a emplear ya sea sólida o líquida
 - b) Pesar el acelerador ya mezclado con el lubricante - (si es resina sólida pesar solo el lubricante)
 - c) Medir el alcohol en caso de ser sólida la resina
2. Colocar la arena ya pesada en el interior del molino
3. Agregar a la arena el catalizador y el lubricante (si es resina líquida) y colocar la resina y el lubricante (si es resina sólida).
4. Moler o mezclar durante 1 minuto lo agregado al molino en el paso anterior.

5. Pasado el minuto de mezclado, adicionar la resina líquida o agregar el alcohol si la resina es sólida. Mezclar de 6 a 15 minutos dependiendo del tipo de molino usado, de si la arena se precalentó o si durante el mezclado se inyectó aire caliente.
6. Pasado el tiempo marcado para el mezclado descargar la arena cuando el homogeneizado sea completo en el interior del molino.
7. Pasar a un aereador la arena ya preparada eliminando los-residuos de materias volátiles y evitando así que la arena preparada se endurezca.
8. Muestrear la arena para realizar las pruebas de resistencia a la tracción en caliente y en frío. Si la arena está bien formulada la resistencia deberá estar entre 1241-Kpa y 1724 Kpa(*).

Para fabricar los moldes de cáscara es necesario que los modelos sean metálicos ferrosos o no ferrosos y que soporten temperaturas de 280°C, debido a las temperaturas de operación de 200 a 225 °C.

El calentamiento de los moldes se puede realizar por medio de electricidad o empleando gas. Los modelos pueden ir colocados en máquinas, ya sean fabricadas en el extranjero o nacionales, los cuales pueden ser manuales, semiautomáticas o automáticas, con sistemas de extracción mecánico o hidráulico. Pero como esto sea, las máquinas deberán operar en perfectas condiciones para lograr llenar los siguientes requisitos que son necesarios en la elaboración de los moldes:

(*) Kpa = Kilo Pascal = $\frac{\text{Kilo Newton}}{\text{m}^2}$

1. Recubrimiento

Al iniciar el moldeo es necesario verificar los puntos a con
tinuación citados:

- Calentamiento uniforme a una temperatura de 200 a 225° C
- Extracción adecuada
- Curado adecuado
- Modelos en buenas condiciones

Verificando todo lo anterior se procede a la fabricación de-
los moldes. La operación de recubrimiento se deberá llevar a cabo du
rante un tiempo predeterminado, ya que el espesor del molde de cásc-
ra varía de 6 a 19 mm, dependiendo de la pieza y metal con que vaya a
ser llenado. Es recomendable que el peso sea en una relación de 0.4-
a 1.0 de molde por cada kilogramo de metal a vaciar, si el molde es -
muy delgado puede ocasionar que se rompa y estelle durante el vacia-
do, si es muy grueso impedirá que sea permeable originando en ocasio-
nes explosiones del mode proyectando el metal líquido sobre los opera-
rios. Una vez obtenido el espesor de recubrimiento deseado se proce-
derá al curado.

2. Curado

Este puede llevarse a cabo por medio de calor radiante o por
flama directa. El tiempo de curado también será de acuerdo con el es
pesor del molde y el medio usado para llevar a cabo esta operación. -
Una vez curado se procede a su extracción.

3. Extracción

Puede ser manual, semiautomática, automática, mecánica, hidráulica o neumática. Sea cualquiera el método que se use los botadores deben subir uniformemente para evitar que el molde se estrelle o rompa.

4. Pegado

Una vez extraído el molde este deberá ser pegado o unido para ser llenado con metal. Deben retirarse todos los sobrantes y rebabas con que haya salido el molde, limpiando manualmente o con aire a presión la arena suelta, evitando así que sea arrastrada por el metal y -- salga en la pieza.

Una vez puesto el cordón de pegamento sobre las dos mitades -- del molde este debe de colocarse en un dispositivo que sirva para mantener unidas las dos mitades mientras efectúa su acción el pegamento. Pasado esto el molde puede ser retirado del dispositivo de sujeción y ser trasladado al lugar de almacenamiento.

5. Almacenamiento

Los moldes obtenidos pueden ser almacenados por tiempo indefinido, tomando la precaución de que no entren objetos extraños al interior del molde.

Para obtener piezas de buena calidad, los moldes deben estar -- muy bien hechos, para lo cual se debe de verificar lo siguiente:

a) Calidad de la arena preparada:

- Que sea de la granulometría requerida, generalmente -- en los rangos de 60 a 160 AFS

- Su contenido de arcilla sea lo menor posible
- Que la forma de grano sea redonda o subangular
- Su contenido de sílice sea mínimo de 96%
- Que no tenga humedad
- La resistencia en caliente sea de 1379 Kpa a 1655 Kpa
- La resistencia en frío sea de 1379 Kpa a 1793 Kpa
- Que esté exenta de materias volátiles para impedir que se compacte formando bolas
- Que el grano sea lo mejor recubierto de resina posible

b) Calidad de los modelos

- Que no tengan negativos
- Que estén perfectamente limpios
- Que tengan la temperatura deseada
- Que funcionen mecánicamente bien
- Que los dispositivos para el recubrimiento funcionen correctamente
- Que sean curados con silicón cristalizado

c) Recubrimiento

- Que la arena caiga de un solo golpe si es por gravedad, si es soplada que tenga la presión adecuada el inyector
- Que el tiempo de recubrimiento sea el establecido para obtener el espesor de molde deseado

- Que no se desprenda la arena, si esto resulta se debe a la baja resitencia de la arena

d) Curado

- El tiempo de curado debe ser e: predeterminado para evitar que el molde quede crudo o muy cocido. Si queda crudo desprenderá muchos gases que pueden ser atrapados por el metal líquido saliendo porosa la pieza, si la arena queda quemada, ésta pierde resistencia y es arrastrada por el metal saliendo defectuosa la pieza.

e) Pegado

- Vigilar que no entre pegamento en la pieza, lo que puede ocasionar que la pieza salga defectuosa
- Que el molde tenga la suficiente presión para unir las dos mitades o partes
- Que la unión sea lo más cerrada posible para evitar fugas de metal
- Protejer al molde tapando la colada para evitar entren objetos extraños al interior del molde. Terminado el pegado se deben de colocar los moldes en soportes adecuados para evitar su destrucción.

El molde de arena de "Shell" es altamente permeable, sin embargo la permeabilidad efectiva cambia drásticamente y se ha comprobado que se acerca al nivel de cero momentáneamente en presencia del me

tal fundido.

Aproximadamente la mitad de los constituyentes volátiles de una mezcla de Shell, incluyendo el nitrógeno se pierden durante el recubrimiento y curado del molde o corazón.

El contenido de nitrógeno de la mezcla disminuye durante el curado a un mínimo basado en la mezcla de arena. La disponibilidad de este nitrógeno al metal se reduce aún más por el hecho de que solo una pequeña porción del molde de cáscara se descompone y libera su nitrógeno disponible antes de la solidificación del metal.

Al ocurrir la descomposición en ausencia de oxígeno, las resinas fenólicas dejan aproximadamente el 50% de su peso como carbono. El aglutinante de resina en un molde de arena se descompone con la presión del metal fundido y deja una fuerte liga carbónica que permanece intacta hasta que se le expone al oxígeno, entonces se combina con el oxígeno y se elimina como CO y CO₂.

El molde de arena de "Shell" es dimensionalmente inestable y la reproducción exacta de los modelos es imposible, excepto por medidos desviados. Por lo tanto el problema es de estabilizar dimensionalmente el molde de cáscara; en presencia del metal fundido el período importante es cuando el metal pasa de líquido a sólido, creando una contracción volumétrica. Cualquier cambio dimensional en el molde durante este corto período puede provocar reproducciones secundarias por agrandamiento del molde y mala superficie y porosidad debido a la incapacidad de los alimentadores para alimentar volúmenes adicionales.

Se obtienen mejores resultados cuando se substituye la arena-

de sílice por la de zirconio. La diferencia básica entre éstas dos reside en sus características de dilatación térmica; la arena de zirconio se dilata menos de la mitad de lo que la de sílice lo hace, proporcionando entonces una mayor estabilidad dimensional, a la vez la arena de olivina produce una mejora debido a su baja temperatura de descomposición y a la suspensión resultante en la dilatación.

Con el fin de producir la máxima unión entre dos partículas de arena, en el proceso de cáscara es esencial que dichas partículas estén recubiertas de manera uniforme. La resina en la partícula debe fundir con muy baja viscosidad, de modo que al aplicar calor, pueda fluir al punto de unión del grano de arena y en ese momento cambiar de baja a alta viscosidad creando una alta concentración de aglutinante como puente en el punto de contacto de las partículas para luego endurecese.

Durante este período el factor más importante es la viscosidad de la resina, pues si se encuentra alta como puede suceder en algunas ocasiones, no fluye hacia el punto de unión, dando resultados no deseables.

La medida de la resistencia a la tensión en frío es una buena indicación de las propiedades de manejo de las cáscaras, también es útil para determinar la plasticidad térmica que existe en la masa de arena curada. Así se tiene que el grado de curado de una masa de arena es en gran parte función de la cantidad de hexa agregada a la resina, usando un mínimo de 6% de hexa, basado en el peso de la resina, la diferencia entre las resistencias en frío y en caliente puede -

ser hasta de 90%, mientras que usando de 15 a 18% de hexa, la diferencia es aproximadamente de 25% a 39%. Conforme se aumenta el contenido de hexa de 18% a 20% sobre la resina, la resistencia en caliente aumentará proporcionalmente indicando mayor rigidez al estar caliente.

Las resistencias en caliente altas también pueden producir fragilidad y la alta sensibilidad a los cambios térmicos violentos, -- por otra parte las resistencias bajas son muy susceptibles a la deformación térmica.

El costo de producción de un molde de "Shell" es más alto -- que el que corresponde al de moldeo de arena en verde. El costo de este proceso se debe primero por la diferencia en el precio de la resina usada. Pero en general el costo alto del proceso de shell se puede minimizar por:

- Usar la arena adecuada para producir la pieza final deseada, ya que una arena adecuada requiere menos resina.
- Usar una cantidad mínima de resina.
- Producir el espesor de molde más práctico.
- Disminuir el tamaño de áreas no productivas.

Los corazones y moldes fabricados por el proceso de cáscarase pueden usar con todos los metales a excepción del acero de bajo carbono, en el que aún prevalece la teoría de que el contenido de nitrógeno de las cáscaras es responsable de los defectos que se producen en la pieza vaciada. El mayor uso de este proceso se encuentra en la industria automotriz, la de válvulas y la de tubería y sus conexiones.

CAPITULO V

V. EFECTO ECOLOGICO DE LAS ARENAS AGLUTINADAS

Uno de los principales problemas que ha provocado el empleo de los aglutinantes resinosos en la industria de la fundición y que ha sido hasta ahora la única objeción de mayor peso para su uso más generalizado, es el grado de contaminación ambiental y su influencia en el medio ambiente dentro y fuera de la fundición, así como la calidad del aire durante las operaciones de moldeo y vaciado.

Para el área de moldeo, estas propiedades de los aglutinantes incluyen las viscosidades más bajas, ausencia de solventes no reactivos, presencia de componentes reactivos y el tipo de resinas y catalizadores.

Para el área de vaciado, estas propiedades cubren la generación más baja de humo y trazas de otros gases, características de sacudido fácil y finalmente el tipo de arena usada.

Se define el Medio Ambiente como todos los factores que actúan sobre una comunidad o un organismo y que determinan finalmente su forma de vivir o supervivencia. Estos factores incluyen las aguas, el aire, los suelos y todas las cosas vivientes; pero lo más importante, es determinar como cada uno de estos factores interactúan e impactan sobre los otros.

Todas las cosas que se hacen tienen un efecto sobre el medio ambiente. El Medio Ambiente a la vez, tiene la última palabra de como nuestra vida presente y futura deberá ser.

Las principales áreas del medio ambiente que serán cubiertas incluye lo siguiente:

- 1.- Salud y Seguridad
- 2.- Calidad del Aire en el Area de Moideo
- 3.- Calidad del Aire en el Area de Variado
- 4.- Influencia de la Arena Usada

1.- Aspectos de Salud y Seguridad.-

El Alcohol Furfurílico y varios alcoholes furfurílicos como componentes principales de algunas resinas utilizadas actualmente se ha estado empleando ampliamente y es altamente sensitivo a la Prueba de Ames. Esta prueba es un método aceptado que checa la habilidad de un material para cambiar la materia genética de un determinado número de especies y está correlacionada con la carcinogenicidad.

Los resultados obtenidos realizados por el Gobierno de los Estados Unidos con las resinas químicas basadas en alcohol furfurílico hechos con esta prueba han sido negativos, lo que indican que las resinas basadas en el alcohol furfurílico, no son consideradas como mutagénicas o carcinogénicas.

Las dos principales clases de catalizadores para resinas de Autofraguado Furánicas son como ya se dijo el ácido fosfórico y el ácido sulfónico; estas dos clases de catalizadores deben de ser almacenados separadamente y no mezclados.

La resina y el catalizador deben ser colocados por separado y no mezclados directamente en ausencia de arena. La reacción entre la resina y el catalizador es menos violenta si la arena está presente, la

arena sirve para diluír y absorber la mayor porción de la energía y calor producido.

En general, cuando estos materiales son probados en su forma pura con animales, todos los tipos de Resinas de Autofraguado se encuentran que producen irritaciones en la piel y severa irritación en los ojos, debido a que los catalizadores usados para las resinas furánicas de Autofraguado, son ácidos fuertes y dañan severamente la piel y los ojos. Se recomienda utilizar agua para lavar las partes tocadas con una resina o un catalizador.

Por lo anterior se requiere que los operadores usen guantes y lentes de seguridad y se tomen todas las medidas de protección para evitar el contacto con el cuerpo de la mezcla de arena.

2.- Calidad del Aire en el Area de Moldeo.-

En el área de mezclado de la arena, los factores de primera importancia a considerar son los de los sistemas furánicas de autofraguado, los cuales desprenden vapores de alcohol furfurílico, formaldehído (para aquellos aglutinantes que están formulados con formaldehído) y tolueno o benceno (para aquellos sistemas que son curados con tolueno o ácido bencen sulfónico); el tolueno y/o el benceno se encuentran ausentes cuando se usa el ácido fosfórico como catalizador.

Las resinas furánicas de autofraguado no contienen solventes orgánicos, como algunos destilados del petróleo; contienen solventes no reactivos que escapan a la atmósfera y son usados principalmente para disminuír la viscosidad de algunos otros sistemas de autofraguado;

pero básicamente los sistemas de autofraguado furánicos no requieren -
contener tales solventes.

Es por esto, que la naturaleza reactiva del alcohol furfuri-
lico en combinación con la ausencia de solventes no reactivos, dá por
resultado bajas emisiones de vapores durante el mezclado, moldeo y cu-
rado de los aglutinantes de autofraguado furánicos.

Muchos de los gobiernos en la actualidad han establecido es-
tándards de la calidad del aire que son considerados aceptables y segu-
ros para que los obreros y operadores puedan estar expuestos durante 7
ó 10 horas de trabajo al día y por semana de 40 horas.

Los empleados que trabajan en estas áreas pueden tener efec-
tos adversos si están expuestos durante un tiempo mayor que el permiti-
do, cosa que en la mayoría de los casos no ocurre; pero si puede haber
uno que otro empleado que por sus condiciones de desarrollo pueda ser
afectado seriamente.

Las pruebas realizadas en el laboratorio y en la fundición (1)
han confirmado que los siguientes factores influyen grandemente en la
calidad del aire cuando se usan resinas de autofraguado furánicas:

- a). Arena.- La clase y el tipo (calidad, grano, tamaño)
para una aplicación particular, resultaría en el uso óptimo
de niveles más bajos de resina o catalizador.

(1) Pruebas realizadas por Daniels P. Efta de la American Foundryman's
Society y presentadas en México en Octubre de 1979.

b) Ventilación.- Un mínimo de aire proporcionado sobre el mezclador no sólo libera arena sílica en polvo sino también vapores del sistema de resina. En el área de trabajo, un -- flujo de aire a través de los moldes y pasillos de los trabajadores limpiará la zona y será la prime a línea de defensa para obtener una buena calidad de aire.

c) Temperatura de la Arena.- A mayor temperatura de la -- arena mayor facilidad tiene ésta de desprender vapores. Una temperatura de 24 °C es buena para el inicio; pero hay fun-- diciones que operan aceptablemente a temperaturas de la are-- na mucho más altas. Altas temperaturas de la arena requie-- ren niveles de catalizador más bajos; y a la vez grandes va riaciones en la temperatura de la arena usualmente provocan variaciones en el tiempo de desmoldeo.

d) La Composición de la Resina.- Es otro factor sumamente importante, ya que si contiene formaldehído y en que propor-- ción o si está libre de él, brindará una información básica que permitirá la optimización del sistema entero y de lo cual dependerá la calidad del aire.

e) Resina y Catalizador.- Los niveles de estos dos compo-- nentes contribuyen grandemente a la calidad del aire durante el mezclado y vaciado, ya que a niveles altos la evolución - de gases será mayor.

Una vez que el molde está hecho, sigue la zona de vaciado. En esta área la opinión general es que los sistemas optimizados de resinas furánicas proveen una fundición limpia con poco humo visible sobre el vaciado y produce menor cantidad de polvo en el sacudido o desmoldeado comparado con sistemas de arena en verde, y a la vez permite controlar las emisiones de gas.

Los tipos de gases de descomposición producidos por los sistemas de aglutinantes mencionados en los capítulos anteriores en la fundición incluyen los siguientes: Amoníaco, HCN, SO_2 , H_2S , Metano Etano, CO_2 , Agua. El principal gas remanente es el Monóxido de Carbono CO, el cual para controlarlo durante el vaciado, en todos los sistemas de aglutinantes se debe de proporcionar una ventilación lo más adecuada posible.

Un sistema optimizado de aglutinamiento con resina, contendrá el nivel más bajo de resina y catalizador, lo que resultará en cantidades de gases producidas más bajas, principalmente el CO.

Si la resina es catalizada con ácido sulfónico, entonces el gas SO_2 se forma también durante el vaciado; por lo que los gases de mayor interés son por lo tanto el CO y el SO_2 .

La última área es la relacionada con la arena. Una vez que el molde ha sido terminado, el metal vaciado, la fundición extraída y la arena descargada en una tolva para ser eliminada y considerando -- que no existe recuperación, el 90 al 99% de la descarga es arena, el resto es materia inerte; por lo que siendo arena de deshecho ya quemada y aglutinada con resinas orgánicas, esta arena contribuye a la mis

ma degradación del medio ambiente como lo es la basura producida en la ciudad.

La calidad del aire fuera de la fundición depende en gran grado del aire dentro de esta. Un sistema optimizado de resinas contribuye grandemente a mantener limpias las dos áreas y a establecer las mejores condiciones de trabajo como sigue:

- Bajas emisiones durante el moldeo
- Emisiones controladas durante el vaciado
- Poco polvo de arena sílica.

Influencia en el medio ambiente de las resinas uretano-fenolicas de autofraguado:

La contaminación en el medio ambiente de la fundición puede resultar de la volatilización de los componentes de este tipo de resina, por vaporización de otros productos de reacciones químicas, los cuales ocurren en el proceso de fabricación de moldes y corazones y como productos de descomposición (humo y partículas de material) resultando de los efectos de descomposición que acompañan las operaciones de la fundición de metales.

Las resinas uretano-fenólicas se están usando ampliamente en la industria de la fundición y como los otros tipos de resinas también tienen límites establecidos de seguridad: sin embargo, se deben de tomar precauciones adecuadas para minimizar los vapores irritantes provenientes de la resina durante el mezclado. Esto puede llevarse a cabo fácilmente con una buena ventilación en el área de mezclado.

Los componentes de la resina pueden causar irritaciones en la piel y en los ojos y se debe evitar cualquier contacto directo cuando se trabaja con este tipo de resinas.

A calentamientos mayores de 400 °C todos los materiales orgánicos usados como aglutinantes en la fundición se pueden destruir por destilación y formar un número de productos de descomposición y humos irritantes que pueden ser bastante peligrosos; estos productos influyen en el medio ambiente y necesitan un control cuidadoso.

Generalmente, los resultados hasta ahora obtenidos muestran que la contaminación del medio ambiente por el uso de los aglutinantes orgánicos en la fabricación de moldes y corazones y mezclas de arena es bastante controlable.

En este proceso de autofraguado con resinas uretano-fenólicas el monóxido de carbono CO es el gas producido de mayor peligro; pero el nivel de este gas CO puede ser controlado con una buena ventilación, además de que esta ventilación diluye muchas de las otras sustancias químicas emitidas.

Los diferentes tipos de aglutinantes resinosos utilizados para producir los moldes y corazones en los diferentes procesos de fundición pueden ser usados con completa seguridad si se toman las precauciones adecuadas, por lo que se debe de considerar la naturaleza y características de estos materiales, un régimen de seguridad adecuado y las prácticas de higiene necesarias para evitar lo mayormente posible la contaminación del medio ambiente por el uso de este tipo de materiales.

Principales componentes de las resinas utilizadas en los distintos procesos que pueden afectar de alguna manera al medio ambiente:

Resinas para el Proceso de Cáscara de Revestimiento en Caliente:

- a) La mezcla de novolak consiste de:
- Polimero de Fenol-Formaldehído
 - Fenol libre
 - Trazas de Formaldehído
 - Hexametilentetramina
 - Agentes de Liberación
- b) Las resinas con agua consisten de:
- Polimero de Fenol-Formaldehído
 - Fenol Libre
 - Trazas de Formaldehído
 - Alcohol Etilico (4 a 9%)
 - Agua (5 a 25%)
 - Hexametilentetramina
 - Agentes de Liberación

Resinas del Proceso de Cáscara de Revestimiento en Frío

- a) Polvo seco conteniendo:
- Mezcla de novolak en polvo
 - Hexametilentetramina
 - Estearatos Metálicos

- Alcohol Desnaturalizado
- Agua

b) Solución alcohólica conteniendo:

- Mezcla de Novolak Disuelta
- Alcohol Desnaturalizado
- Hexametilentetramina
- Agentes de Liberación

Proceso de Cáscara Mezcla Seca:

El proceso de mezcla seca consiste del mezclado de los granos de arena con el polvo seco.

a) Resina Fenólica Líquida de Un Paso

- Bajo contenido de Fenol-Formaldehído
- Formaldehído libre (3 a 5%)
- Trazas de Fenol
- Agua
- Residuos de Catalizado Alcalino

b) Resina Fenólica en Polvo de Un paso

- Alto peso molecular de Fenol-Formaldehído
- Formaldehído libre
- Fenol
- Residuos de Catalizador Alcalino

c) Urea Líquida

- Formaldehído Libre

- Trazas de Urea
 - Agua
 - Residuos de Catalizador Inerte
- d) Urea en Polvo
- Alto Peso Molecular de Urea-Formaldehído
 - Formaldehído Libre
 - Urea Libre
- e) Resinas de Urea-Formaldehído con Alcohol Furfurílico
- Polimeros de Urea-Formaldehído Furfurilizados
 - Alcohol Furfurílico Libre
 - Formaldehído Libre
 - Trazas de Urea
 - Agua
 - Residuos de Catalizador

Resinas para el Proceso de Caja Caliente

- a) Resinas de Urea-Formaldehído conteniendo:
- Polimeros de Urea-Formaldehído Furfurilizados
 - Catalizador
- b) Resinas de Urea-Formaldehído Modificadas:
- Fenol-Formaldehído
 - Urea-Formaldehído
 - Fenol Libre
 - Formaldehído Libre

- Urea Libre
- Catalizador

Sistemas de Aglutinantes con Resinas de Autofraguado

- a) Aglutinante Furánico conteniendo:
 - Formaldehído y Alcohol Furfurílico
 - Alcohol Furfurílico Libre
 - Formaldehído Libre
 - Residuos de Catalizador Inerte
 - Catalizador Acido Fuerte

- b) Aglutinante Furánico conteniendo:
 - Aglutinante Furánico
 - Polimeros de Urea-Formaldehído-Alcohol Furfurílico

Toxicidad:

Todos los materiales y sus productos de descomposición usados en los procesos de fabricación de moldes y corazones son tóxicos, por ser compuestos orgánicos que facilmente pueden deteriorar el cuerpo o parte de él.

El principal efecto provocado al hombre es la Dermatitis; y cada problema de Dermatitis no ocurre de resinas curadas o polimerizadas completamente, pero si del exceso de fenol libre, formaldehído libre, hexametilentetramina o alcohol. En vista de lo anterior se discutirá enseguida el efecto producido por los principales componentes de las resinas empleadas en los procesos de fabricación de moldes y corazones.

Formaldehído:

El Formaldehído tiene un efecto irritante sobre los ojos, la membrana mucosa y la piel, tiene un picante y sofocante olor y crea -- una atmósfera tóxica intolerable para el hombre. Se presentan en algunas ocasiones numerosos casos de dermatitis cuando los operadores han estado en contacto directamente con este producto.

La máxima concentración permitida (1) en el aire es de 5 partes por millón, un nivel más elevado ocasionaría la contaminación del medio ambiente.

Fenol:

El Fenol es bastante conocido como un veneno y no solo es un irritante de la piel, su uso es mayor como anestésico local y no - ha provocado hasta ahora serios daños en la fundición.

Puede ser absorbido a través de la piel y aparecer en la orina a la que imparte un color de humo; es capaz de causar dermatitis y daños orgánicos al cuerpo.

La máxima concentración permitida en el aire (2) es de 5 partes por millón. Los problemas anteriores los puede causar si se permite que actúe con una suficiente concentración y por un largo - tiempo.

Alcohol Furfurílico:

Hasta ahora no se ha sabido de algún daño provocado por este material en la fundición, ya que una dosis de 150 mg. administrada

(1) (2) Las concentraciones permitidas de los componentes de las resinas han sido establecidas por la American Foundrymen's Society conjuntamente con el Gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica.

oralmente a un hombre no causa ningún problema en él. Sin embargo, como otros alcoholes altera a la piel y su contacto debe ser evitado tanto como sea posible. Reacciona con ácidos minerales y algunos ácidos - fuertes orgánicos con violencia explosiva, por lo que se debe evitar -- mezclar con estos ácidos para evitar accidentes.

Alcohol Etílico:

El Alcohol Etílico es prácticamente no tóxico y relativamente no irritante a la piel. Sin embargo, su contacto diario y continuo produce grietas en la piel.

Sus vapores son altamente irritantes a los ojos, la cantidad permitida en una fundición (3) es de 1000 partes por millón.

Alcohol Metílico:

El Alcohol Métilico algunas veces es usado en lugar del alcohol etílico. El alcohol metílico es venenoso. El proceso de envenenamiento puede ocurrir de la absorción a través de los poros de la piel - de una inhalación prolongada, tiene un efecto particular sobre el ner--vio óptico. |

La oxidación y remoción del alcohol metílico de los cuerpos requiere de un período de tiempo mayor que para el alcohol etílico, ya que el alcohol metílico tiende a acumularse en el cuerpo.

Los efectos sistemáticos son debidos a la conversión de alcohol metílico a los productos más tóxicos de oxidación, formaldehído y

(3) Las concentraciones permitidas de los componentes de las resinas - han sido establecidas por la American Foundrymen's Society conjuntamente con el Gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica.

ácido fórmico. Debe hacerse notar que el alcohol metílico puede generar concentración de vapores más grande que los producidos por el alcohol etílico.

De aquí el porqué de su naturaleza tóxica y más grande volatilidad y el porqué el alcohol metílico es mucho más peligroso que el alcohol etílico, por lo que se requiere una más efectiva y extensiva ventilación; es bastante tóxico. El máximo valor permitido de concentración de vapores en una fundición (4) es de 200 partes por millón.

Urea:

La urea se descompone en dióxido de carbono y amoníaco, siendo el amoníaco el que es considerado como peligroso por ser intolerable en concentraciones tóxicas.

Monóxido de Carbono:

El Monóxido de Carbono CO, se produce principalmente durante las operaciones de vaciado. La máxima concentración permitida en la atmósfera de la fundición (5) es de 100 partes por millón. Una comparación del monóxido de carbono (CO) producido por los diferentes sistemas de moldeo se muestra en la figura 7.

La concentración atmosférica de polvos tóxicos debe ser promediada por unas 8 horas al día. Una explosión de 400 partes por millón por una hora es lo máximo tolerable sin causar efectos graves - siempre y cuando la exposición por el resto del día sea de cero.

(4) (5) Las concentraciones permitidas de los componentes de las resinas han sido establecidas por la American Foundrymen's Society conjuntamente con el Gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica.

CONCENTRACION MAXIMA DE MONOXIDO DE CARBONO
PROVENIENTE DE LOS MOLDES

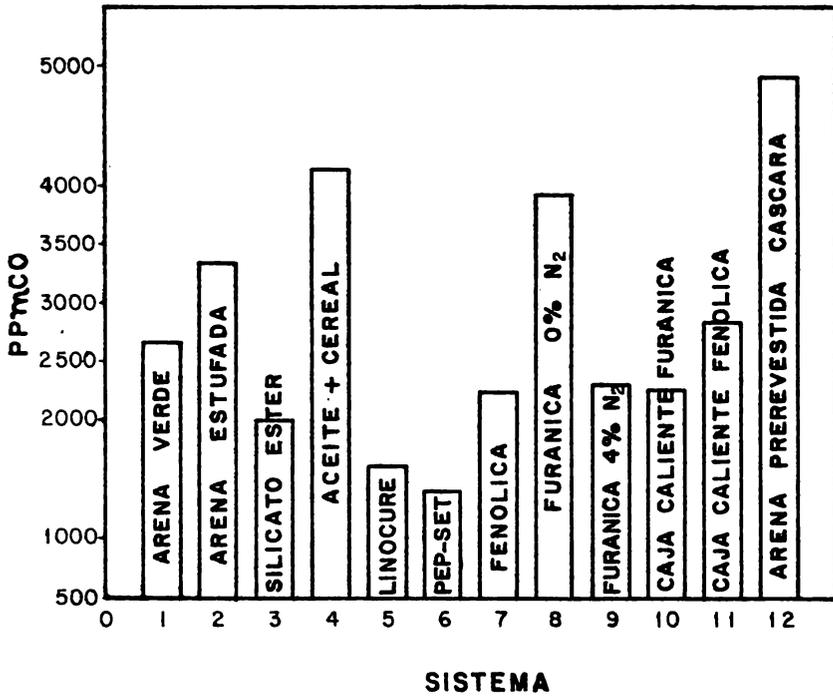


FIGURA 7

Los moldes de shell principalmente cuando son vaciados generan concentraciones de 600 a 700 partes por millón, por lo que en muchas fundiciones que no cuentan con la ventilación adecuada se pueden provocar efectos bastante graves.

Humo:

El Humo es un contaminante atmosférico resultante de una -- combustión incompleta y consistente predominantemente de gas y pequeñas partículas de material carbonáceo.

Se produce durante las operaciones de curado y vaciado principalmente, no es peligroso más que en concentraciones altas.

En general, los contaminantes atmosféricos irritantes se -- pueden controlar aplicando una ventilación y un cuidado extensivo en la fundición, con lo que se pueden evitar los posibles accidentes provocados por estos.

En la siguiente firuga No. 8 se puede observar una evaluación potencial de peligro de emisiones químicas producidas de los moldes de una fundición, considerando los principales productos de descomposición y si estos son o no peligrosos para la salud y por lo tanto para el medio ambiente.

Los resultados son medidos en partes por millón y en donde:

- A. Agente Químico Presente en Cantidades Suficientes para Ser Considerado como Peligro Definido para la Salud.
- B. Agente Químico Presente en Cantidades Suficientes para Ser Considerado como Peligro Posible para la Salud.

C. Agente Químico Presente en Cantidades Suficientes para Ser Considerado como **No Peligroso** para la Salud.

En esta gráfica se puede observar que solo el Monóxido de Carbono que se produce de todos los demás productos de descomposición es considerado como peligroso para la salud y el medio ambiente en todos los procesos existentes en la fundición; lo cual se puede evitar proporcionando una buena ventilación y teniendo las debidas precauciones en todas las operaciones de la fundición.

FUENTE: "Emisiones Químicas de los Moldes de Fundición"

Estudio realizado por: W.D. Scott, C.E. Bates, R.M. James

Publicado por la revista "Modern Casting". Diciembre de 1977.

F I G U R A 8

EVALUACION POTENCIAL DE PELIGRO DE EMISIONES QUIMICAS PRODUCIDAS DE LOS MOLDES

	ARENA VERDE	ARENA SECA	SILICATO DE SODIO ESTER	ACEITE	ISO-CIANATO ALKIDICO	URETANO FENOLICO	AUTO FRAGUADO FENOLICO	FURANICO BAJO N ₂ H ₃ PO ₄	FURANICO MEDIO N ₂ ATS	CAJA CALIENTE FURANICO	CAJA CALIENTE FENOLICO	CASCARA
CO	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
CO ₂	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
SO ₂	B	B	C	C	C	C	S	B	B	C	C	B
H ₂ S	B	B	C	C	C	C	B	B	B	C	C	C
FENOL	B	C	C	C	C	B	B	C	C	C	C	C
BENCENO	B	B	B	B	B	B	B	C	B	B	B	B
TOLUENO	B	C	C	C	B	B	B	C	B	C	C	B
METAXILENO	C	C	C	C	B	B	C	B	B	C	C	C
ORTOXILENO	C	C	C	C	B	B	C	B	C	C	C	C
NAFTALENO	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
FORMALDEHIDO	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
ACROLINA	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
ACETALDEHIDO	C	C	C	C	B	C	B	C	B	C	C	C
OXIDO DE H ₂	B	C	C	C	B	C	C	C	B	B	B	C
H ₂ CN	C	C	C	C	B	B	C	B	B	B	B	B
AMONIACO	C	B	C	C	C	C	C	C	B	A	A	B
TOTAL AMINAS	C	C	C	C	C	B	C	C	B	B	B	B

CAPITULO VI

VI. GRAFICAS DE PRUEBAS EN EL LABORATORIO UTILIZANDO MEZCLAS DE RESINAS PARA LOS DISTINTOS PROCESOS.

Como se ha visto anteriormente son varios los factores que influyen en todos y cada uno de los procesos descritos, ahora se verá lo que sucede gráficamente con esas variantes en los siguientes procesos.

- A. PROCESO DE AUTOFRAGUADO
- B. PROCESO DE CAJA CALIENTE
- C. PROCESO DE CASCARA

El proceso de caja fría no se consideró en este trabajo experimental por no haber tenido el autor la facilidad para realizarlo.

En estas gráficas se muestra de una forma general el efecto de las variantes con las cuales es posible formarse un criterio acerca del comportamiento de los procesos.

Para la elaboración de estas gráficas se utilizaron condiciones prácticas y comunes de trabajo realizadas en cualquier fundición y son el resultado de toda una serie de experimentaciones llevadas a cabo por el autor, considerando los diferentes tipos de resinas y catalizadores con mayor disponibilidad en la industria de la Fundición Nacional.

Dichas resinas y catalizadores son los siguientes:

- A. PROCESO DE AUTOFRAGUADO:

RESINA A: Furánica Libre de Nitrógeno

RESINA B: Furánica 5% de Nitrógeno
RESINA C: Furánica 3% de Nitrógeno
RESINA D: Furánica con trazas de Nitrógeno
RESINA E: Fenólica libre de Nitrógeno y baja -
humedad
RESINA F: Fenólica libre de Nitrógeno
RESINA G: Fenólica con trazas de Nitrógeno
CATALIZADOR I: Acido Toluen Sulfónico en agua
CATALIZADOR II: Acido Toluen Sulfónico en Metanol
CATALIZADOR III: Acido Fosfórico al 85%

B. PROCESO DE CAJA CALIENTE:

RESINA H: Fenólica Estandar con 8% de Nitrógeno
RESINA I: Fenólica de bajo olor con 8% de Nitrógeno
RESINA J: Furánica líquida con 11% de Nitrógeno
RESINA K: Furánica modificada con Urea, con 11%
de Nitrógeno
CATALIZADOR IV: Mezcla de Amonio y Urea Estandar
CATALIZADOR V: Mezcla de Amonio y Urea con bajo olor

C. PROCESO DE CASCARA:

RESINA L: Fenólica líquida
RESINA M: Fenólica en polvo
CATALIZADOR VI: Hexametilentetramina con lubricante.

Se consideraron todas las variaciones posibles o de mayor influencia que pudieran afectar el desarrollo y el manejo de un proceso determinado tales como:

- Tipo de resina
- Tipo de catalizador
- Cantidad total de resina
- Cantidad total de catalizador
- Tiempo de trabajo de la mezcla
- Porcentaje de humedad en la arena
- Temperatura de la arena
- Temperatura del medio ambiente
- Tiempo de curado o fraguado
- Evolución de gas de la mezcla
- Humedad del medio ambiente

Con cada una de estas características se determinó la más -- adecuada con el fin de obtener la resistencia del molde o corazón más alta y que proporcione las exigencias de calidad necesarias para un - buen manejo del proceso de tal manera de poder determinar la cantidad o variación óptima de cada una de las características anteriores para hacer que el proceso que se está manejando proporcione los resultados más adecuados.

Los procesos anotados anteriormente se llevaron a cabo en - las siguientes condiciones:

PROCESO DE AUTOFRAGUADO:

Arena Sílica tipo Juanita Subangular de número AFS 50-55. Utilizando el molino mezclador tipo Hobart VI. El mezclado y curado de las mezclas de arena fue hecho a una temperatura de 24 °C y una humedad relativa de 70%, con un tiempo de mezclado de dos minutos para arena y catalizador y dos minutos adicionales con la resina furánica.

El tipo de probetas en forma de galleta, en lotes de 6 cada uno, con un leve apisonado a mano. Las pruebas de resistencia a la tensión se hicieron en el aparato Dietert Modelo 415 que es un instrumento de carga con peso muerto y con accesorio adjunto para probetas en forma de galleta estandar, según las normas actuales de la AFS.

PROCESO DE CAJA CALIENTE:

Se utilizó arena sílica subangular tipo Juanita de número AFS 50-55, utilizando el molino mezclador tipo Hobart VI, tipo de probetas en forma de galleta estandar en lotes de 3 cada uno. Utilizando una sopladora de corazones con una presión de 80 lb/in² y una temperatura en la caja de corazones de 250 °C y utilizando un tiempo de soplado variable.

PROCESO DE CASCARA:

Se utilizó arena sílica subangular tipo Juanita de número AFS 80-90. Las mezclas se hicieron en el molino mezclador tipo Hobart VI. Las probetas de forma estandar para "Shell" se fabricaron en

la unidad probadora de resistencia en caliente en lotes de una probeta por cada prueba:

El tipo de probetas fue de 1/4 de pulgada, fabricadas a una temperatura de 249 °C y con tiempos de curado variables de 3, 4 y 5 minutos.

Humedad de Arena:

La presencia de humedad en la arena tiene un efecto diluyente sobre el catalizador, ya que reduce la proporción de curado como se puede observar en la gráfica No. 1, en donde se compara el ácido Fosfórico al 75% en una proporción de 47.5% en base a la resina contra el ácido Toluen Sulfónico al 70% en Metanol en una proporción del 22.5% sobre resina.

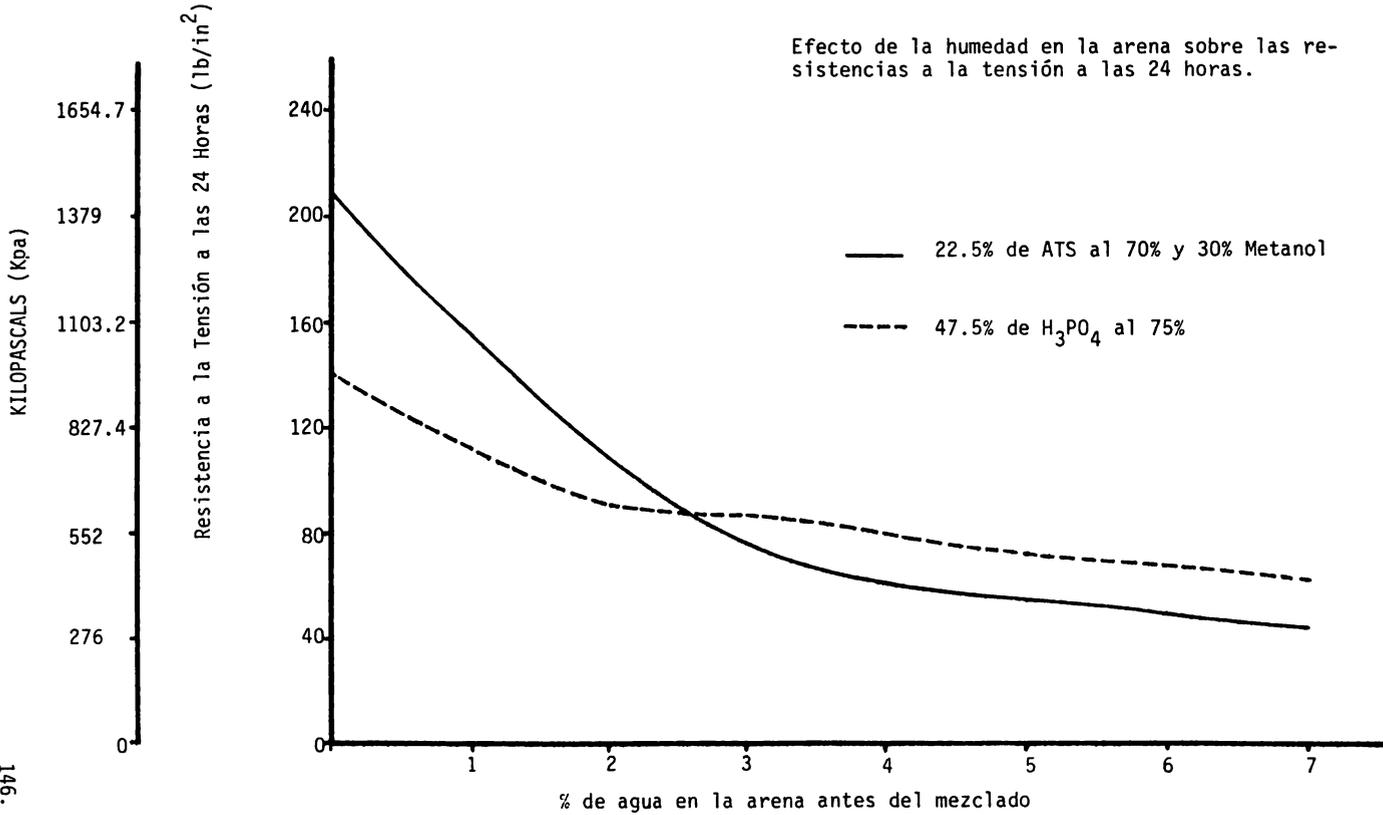
Como se puede observar, conforme aumenta el contenido de -- agua en la arena, las resistencias disminuyen drásticamente. También se nota que a un porcentaje menor de 2% de agua en la mezcla se obtuvieron mayores resistencias con el ácido Toluen Sulfónico. Se puede concluir que la humedad en general tiende a contrarestar el efecto del catalizador y el de la resina.

Temperatura de la Arena:

Tanto la temperatura de la arena como la temperatura ambiente afectan la vida útil de la mezcla y el tiempo de curado. Conforme la temperatura aumenta la velocidad de la reacción de curado también aumenta, manteniendo el mismo porcentaje de catalizador. De preferencia

AUTOFRAGUADO

Efecto de la humedad en la arena sobre las resistencias a la tensión a las 24 horas.



GRAFICA No. 1

la arena debe estar entre 21 °C y 28 °C, por lo que si la temperatura de la arena o el ambiente varían, es necesario hacer ajustes en la cantidad de catalizador para compensar esa diferencia. Este efecto se -- puede observar en la gráfica No. 2 en donde se comparan el ácido Fosfórico y el ácido Toluen Sulfónico, en las mismas proporciones que en el ejemplo anterior, manteniendo constantes la temperatura y la humedad relativa. El recipiente donde se mezcló la arena se enfrió o calentó para observar este comportamiento.

Como se puede ver el ácido Toluen Sulfónico presenta mayores resistencias a la tensión que el ácido Fosfórico y que conforme la -- temperatura aumenta las resistencias van disminuyendo.

Variación del Tiempo de Curado:

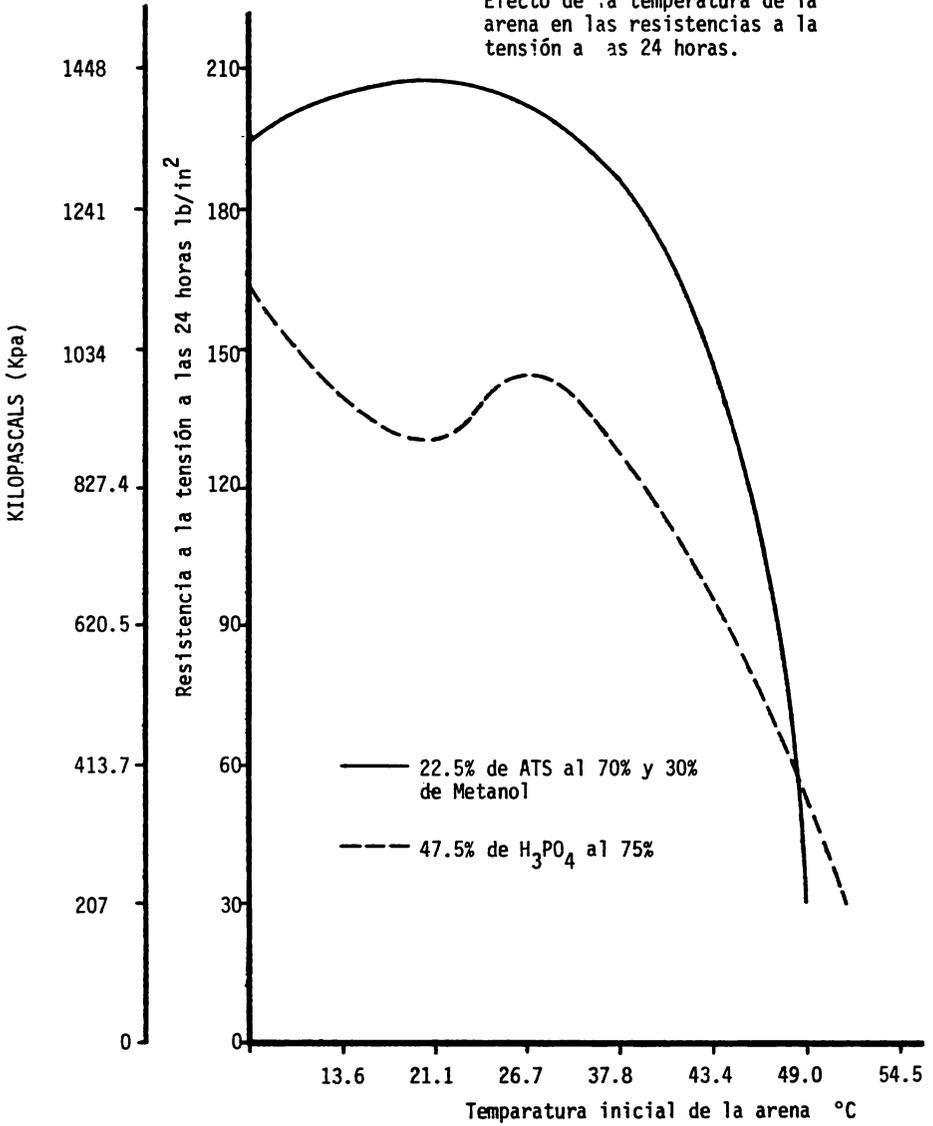
Esta variante se puede observar en la gráfica No. 3, en donde se demuestra que se tiene un curado más rápido y de buena resistencia con el ácido Toluen Sulfónico que con el ácido Fosfórico y también se ve que con un mayor tiempo de curado las resistencias aumentan con dos catalizadores, por otro lado, la cantidad de ácido Fosfórico podría aumentarse para obtener un menor tiempo de curado pero se ocasionarían problemas tanto prácticos como económicos.

Cantidad y Tipo de Catalizador:

Este efecto se puede observar en la gráfica No. 4, donde se ve que la máxima resistencia a la tensión para el ácido Fosfórico es de 954.2 Kpa. para un nivel de catalizador de 47.5% y la resistencia máxima para el ácido Toluen Sulfónico es de 1,396.2 Kpa. para un

AUTOFRAGUADO

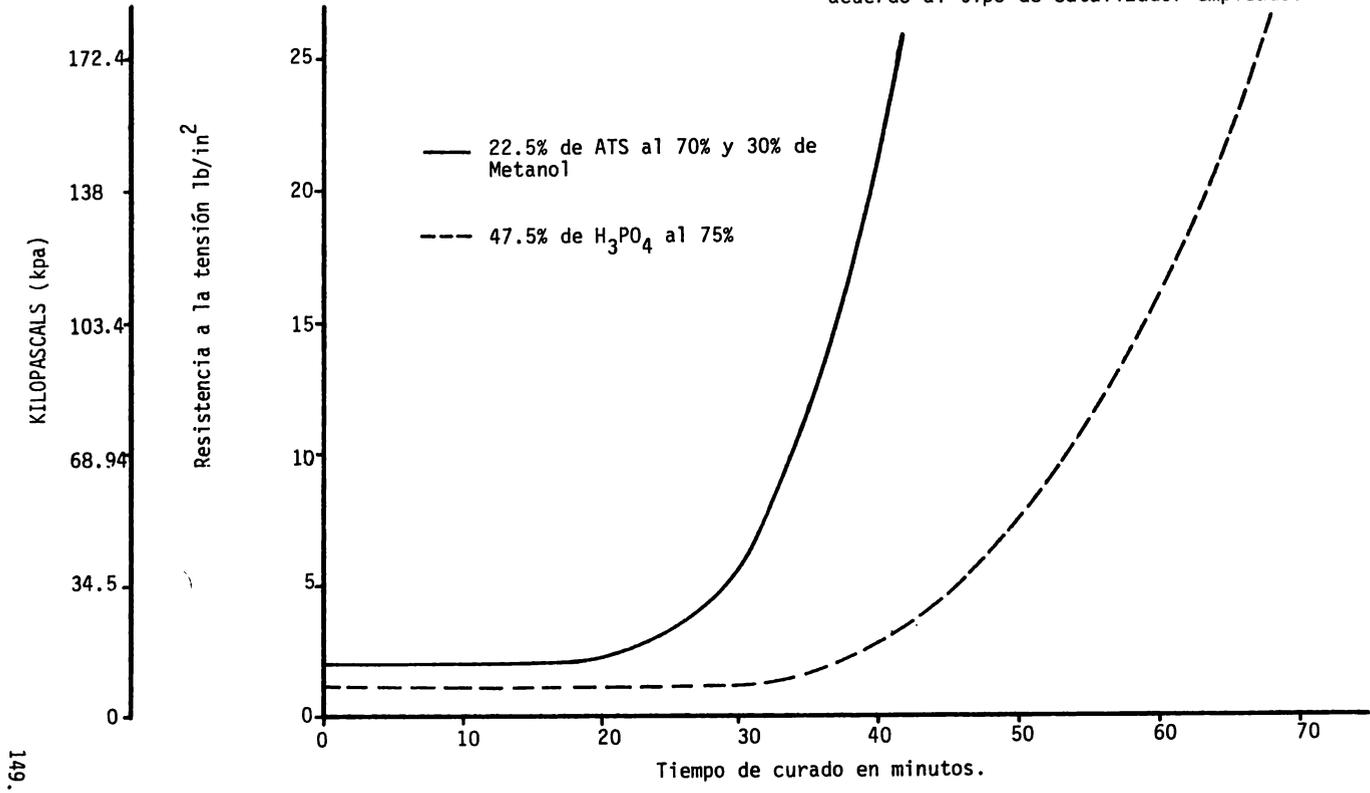
Efecto de la temperatura de la arena en las resistencias a la tensión a las 24 horas.



GRAFICA No. 2

AUTOFRAGUADO

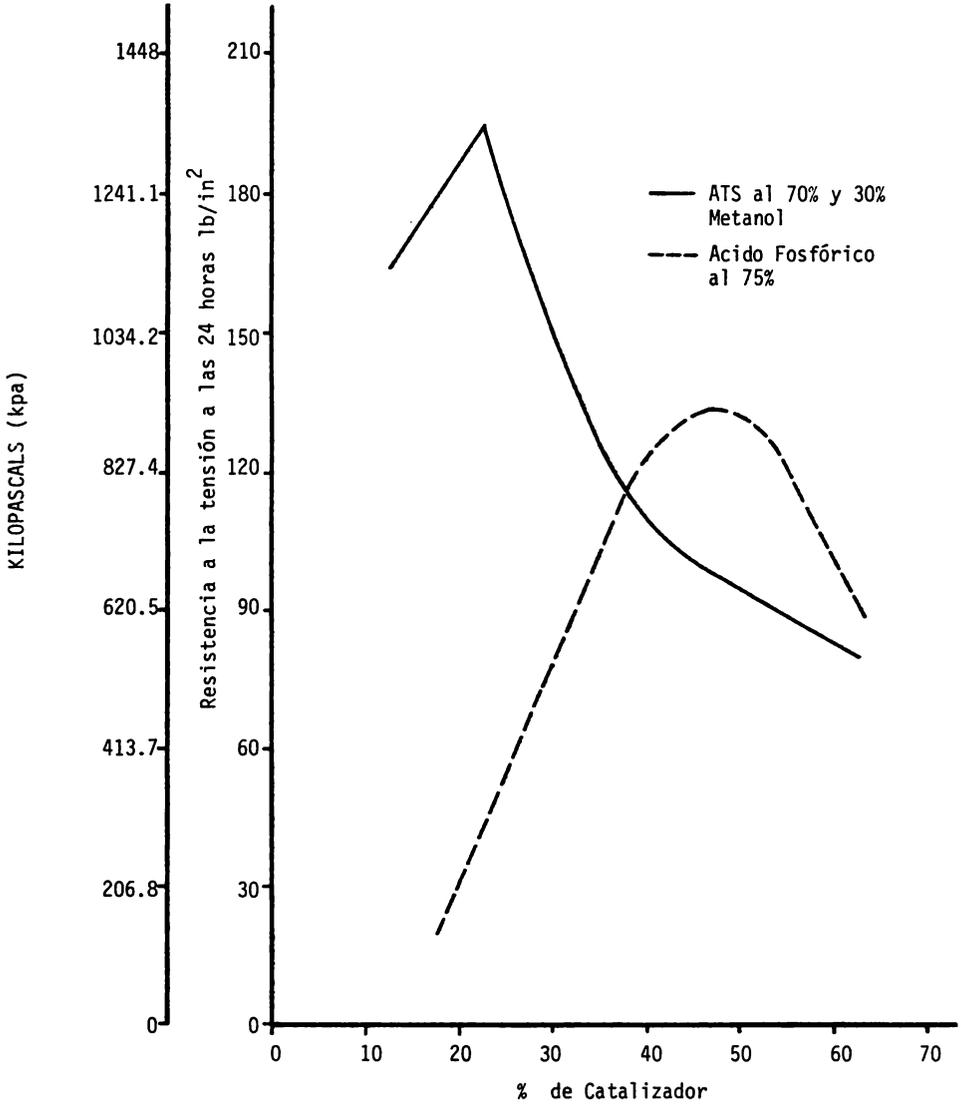
Variación del tiempo de curado y resistencia de acuerdo al tipo de catalizador empleado.



GRAFICA No. 3

AUTOFRAGUADO

Efecto del % de catalizador en las resistencias a las 24 horas.



GRAFICA No. 4

nivel de catalizador de 22.5%, por lo que el ATS alcanza con un menor porcentaje resistencias más altas que el ácido Fosfórico.

Efecto de la Velocidad de Curado:

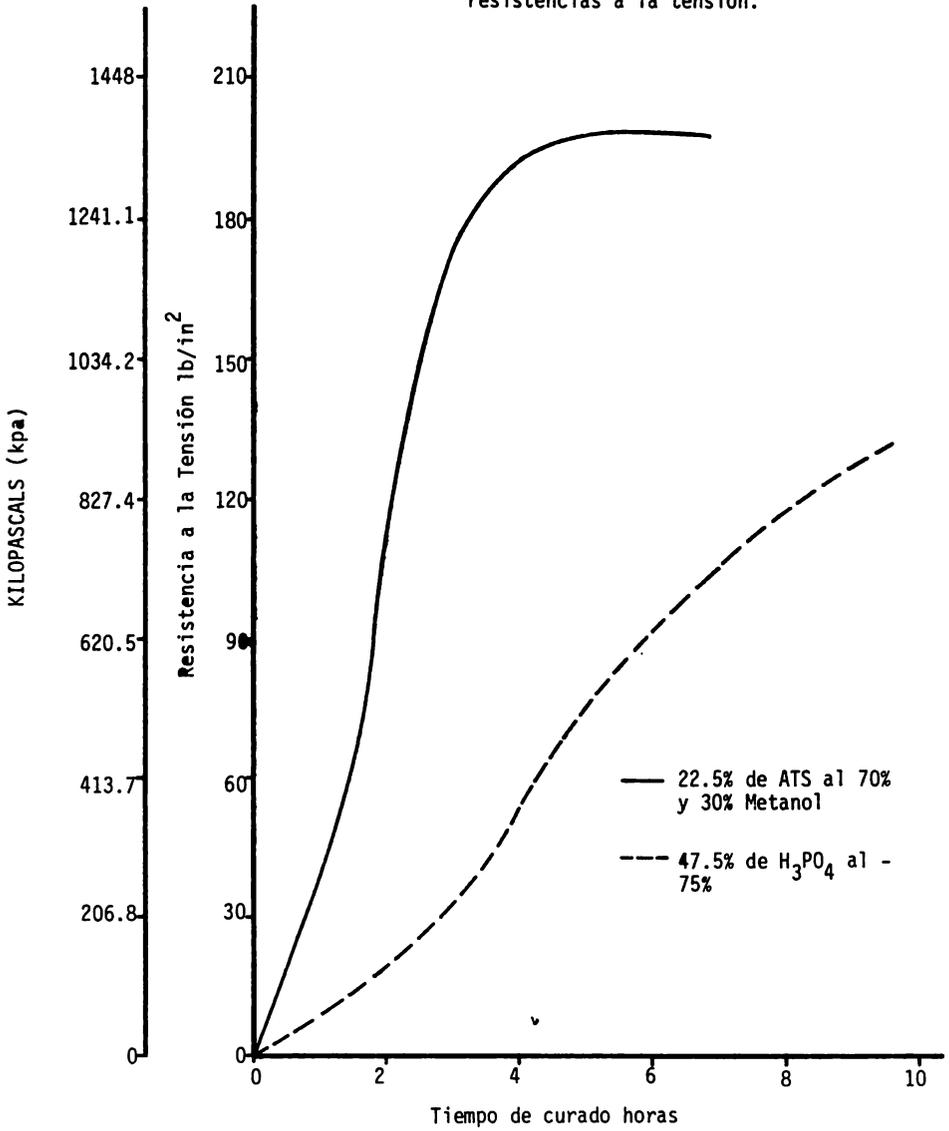
El efecto de la velocidad de curado se puede ver en la gráfica No. 5. Para este experimento se usaron los niveles más bajos de catalizador necesarios para producir la mayor resistencia a la tensión - a las 24 horas, se empleó, ácido Fosfórico a un nivel de 47.5% y ATS a un nivel de 22.5%. Se observa que cuando se utilizó ATS los corazones alcanzaron una resistencia máxima de 201 lb/in^2 (1385.8347 Kpa) en 5 horas y los corazones curados con ácido Fosfórico alcanzaron una resistencia máxima de 133 lb/in^2 (916.9951 Kpa) en 9 horas. Por lo que se puede concluir que ATS es más rápido y alcanza mayores resistencias que el ácido Fosfórico.

Evolución de Gases:

Para este experimento se empleo ácido Fosfórico a un nivel de 47.5% y ATS a un nivel de 22.5% en la gráfica No. 6 se representa en el eje de las abscisas el tiempo de exposición en minutos, y en el de las ordenadas el volumen de gas producido a 1371 °C en mililitros de gas -- por grano de arena. Como se podrá observar, la arena recubierta con resina y catalizador de ATS generó una mayor cantidad de gases que los corazones hechos con ácido Fosfórico; como conclusión, las soluciones de ATS producen corazones que desarrollan aproximadamente 40% más gas que los corazones hechos con ácido Fosfórico.

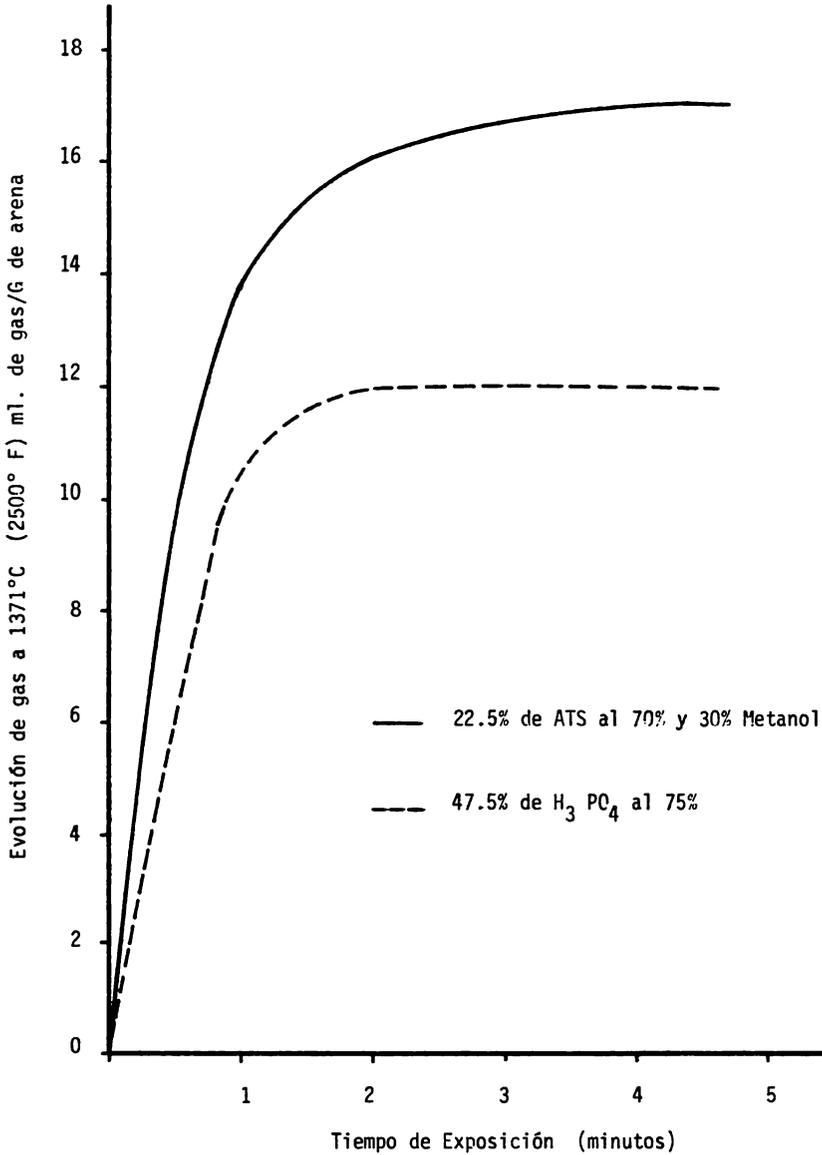
AUTOFRAGUADO

Efecto del tiempo de curado en las resistencias a la tensión.



GRAFICA No. 5

AUTOFRAGUADO
EVOLUCION DE GAS VS. TIEMPO DE EXPOSICION
A 1371° C (2500°F)



GRAFICA No. 6

Cantidad y Tipo de Resina:

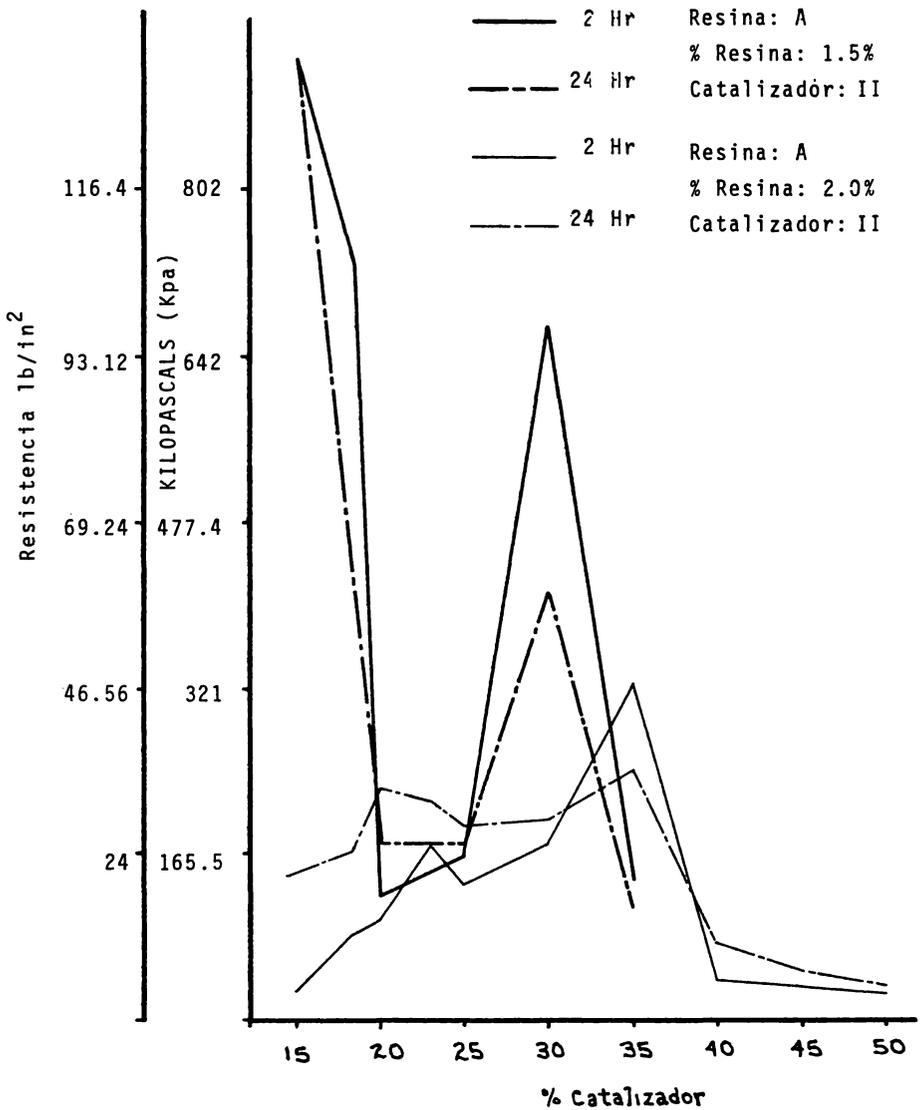
Como se puede observar en la gráfica No. 7 al utilizar el mismo tipo de resina (A) variando sus porcentajes de 1.5% a 2.0%, la resistencia a la tensión la presenta el menor porcentaje de resina con un nivel de catalizador también más bajo.

En la gráfica No. 8 se observa el mismo fenómeno con este tipo de resina, que presenta resistencias más altas con un nivel más bajo de catalizador y conforme este catalizador (Tipo II) aumenta, la resistencia disminuye drásticamente.

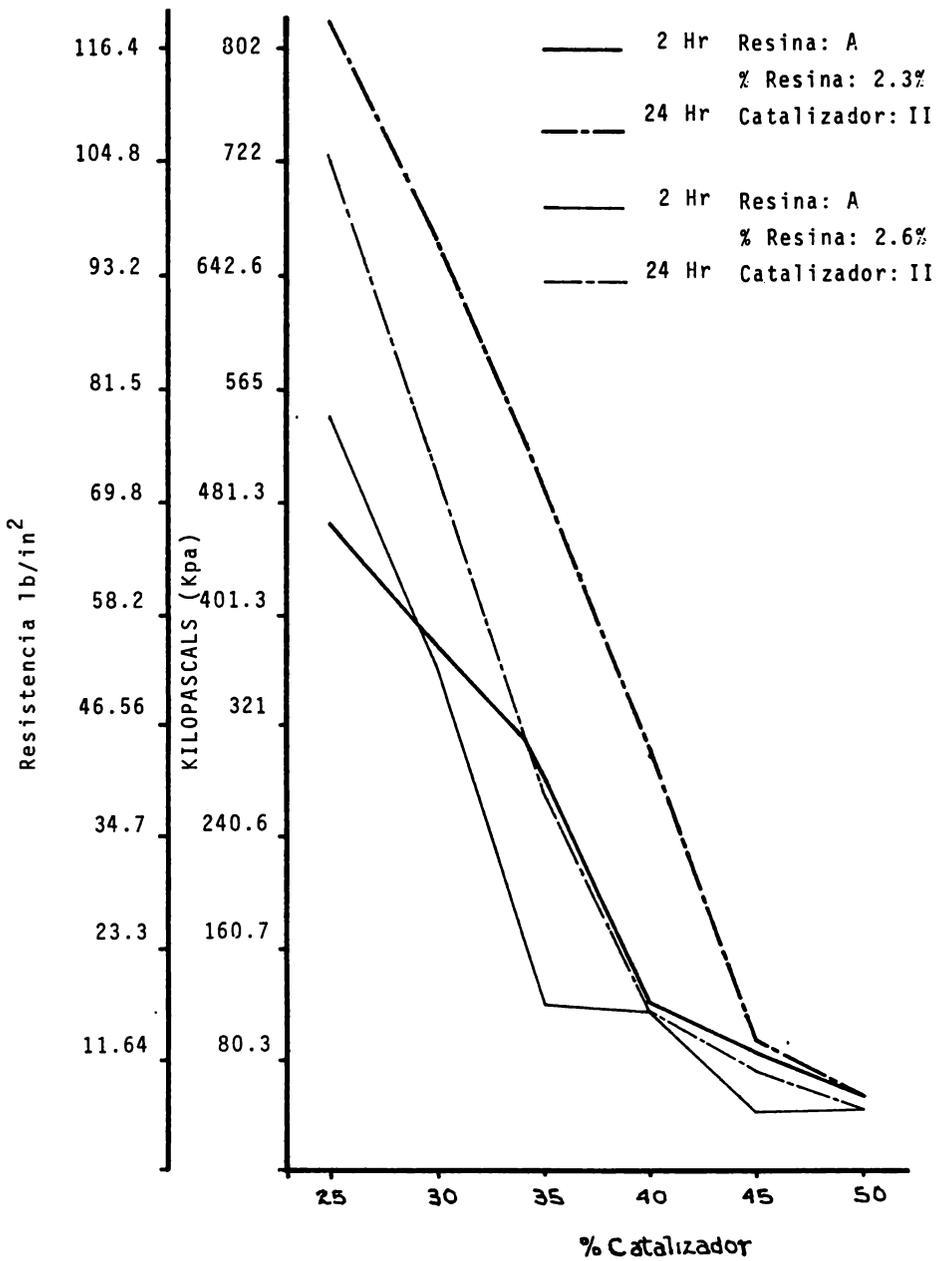
Lo que ha hecho en la gráfica No. 9 es cambiar únicamente el tipo de catalizador utilizando ahora el Tipo I, y se puede notar que -- con un nivel de 1.5% de resina, las resistencias tienden a aumentar conforme aumenta la cantidad de catalizador y también la velocidad de curado aumenta; no así con 2% de esta resina (A) en la que las resistencias disminuyen drásticamente conforme aumenta la cantidad de catalizador.

Con un nivel de 2.3% de resina (Tipo A) el comportamiento se mantiene homogéneo, tendiendo a aumentar las resistencias conforme aumenta la cantidad de catalizador (Tipo I), pero en este caso es más recomendable mantener el nivel más bajo de catalizador por razones de calidad y de economía, tal y como se puede apreciar en la gráfica No. 10.

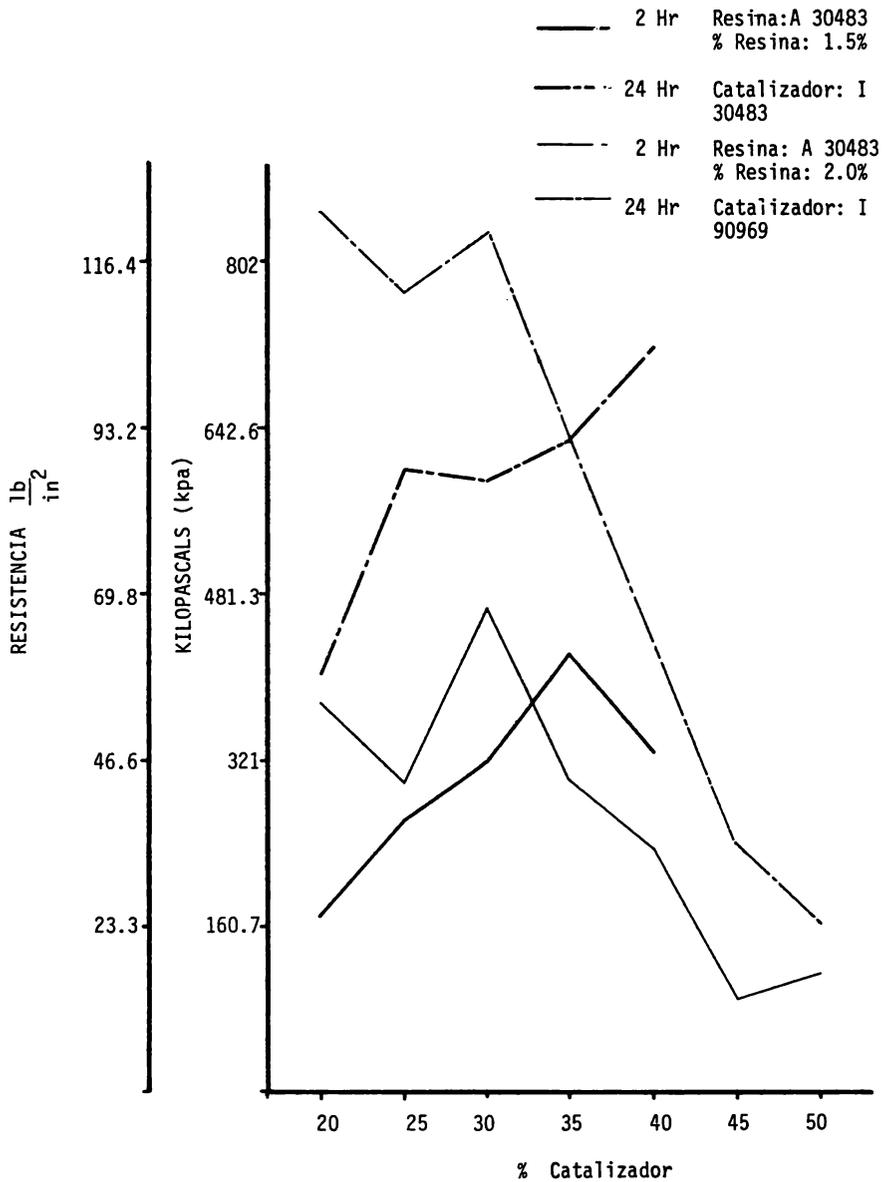
En la gráfica No. 11 y 12 se ha utilizado el mismo tipo de resina (Tipo D0 con un mismo nivel (2%)), cambiando únicamente el tipo de catalizador Tipo III. Las resistencias aumentan conforme éste aumenta, pero tienden a bajar a las 24 horas, mientras que con el catalizador Tipo I, las resistencias aumentan y llegan a un máximo con un nivel



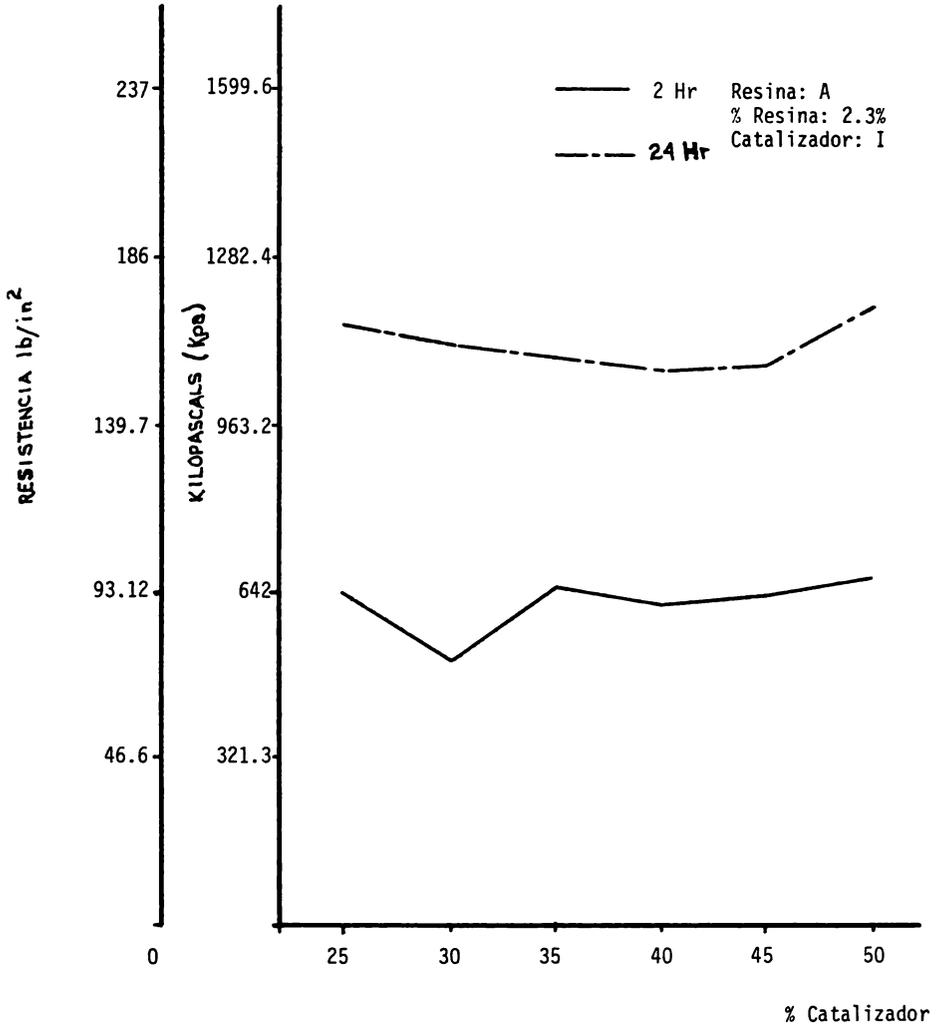
GRAFICA No. 7



GRAFICA No. 8

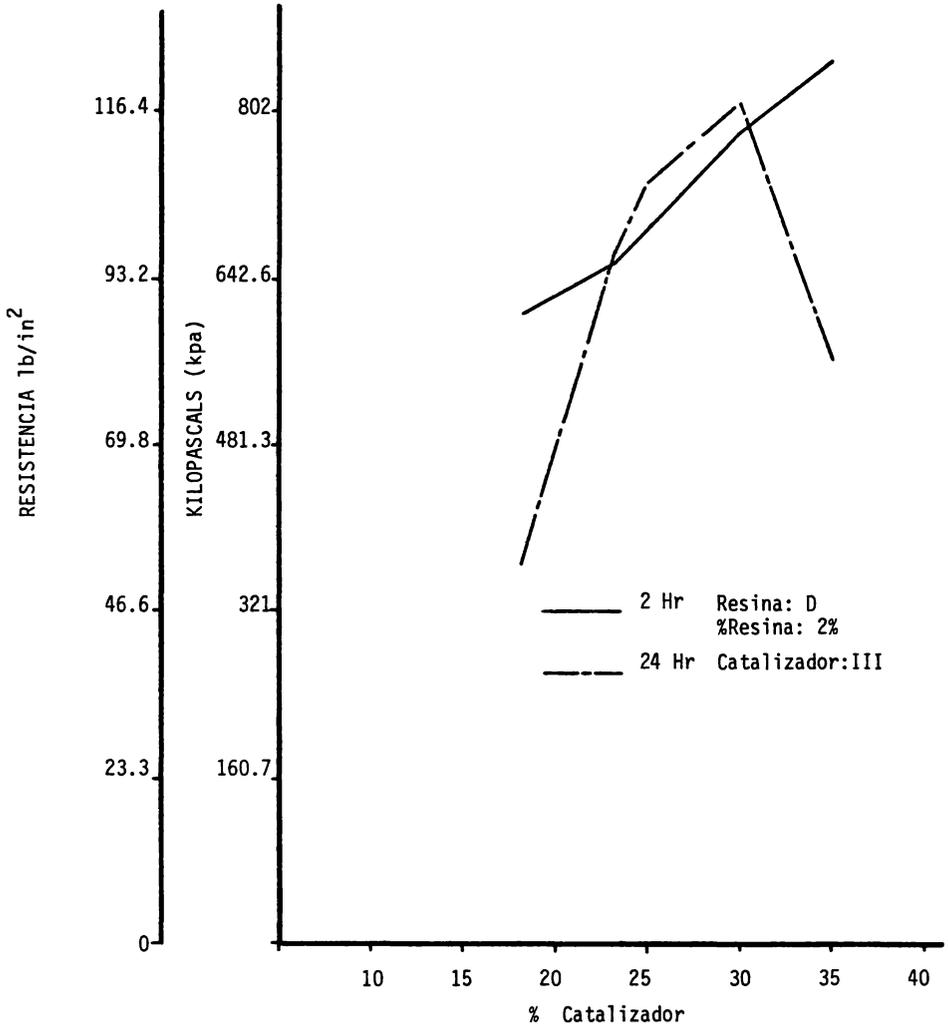


GRAFICA No 9



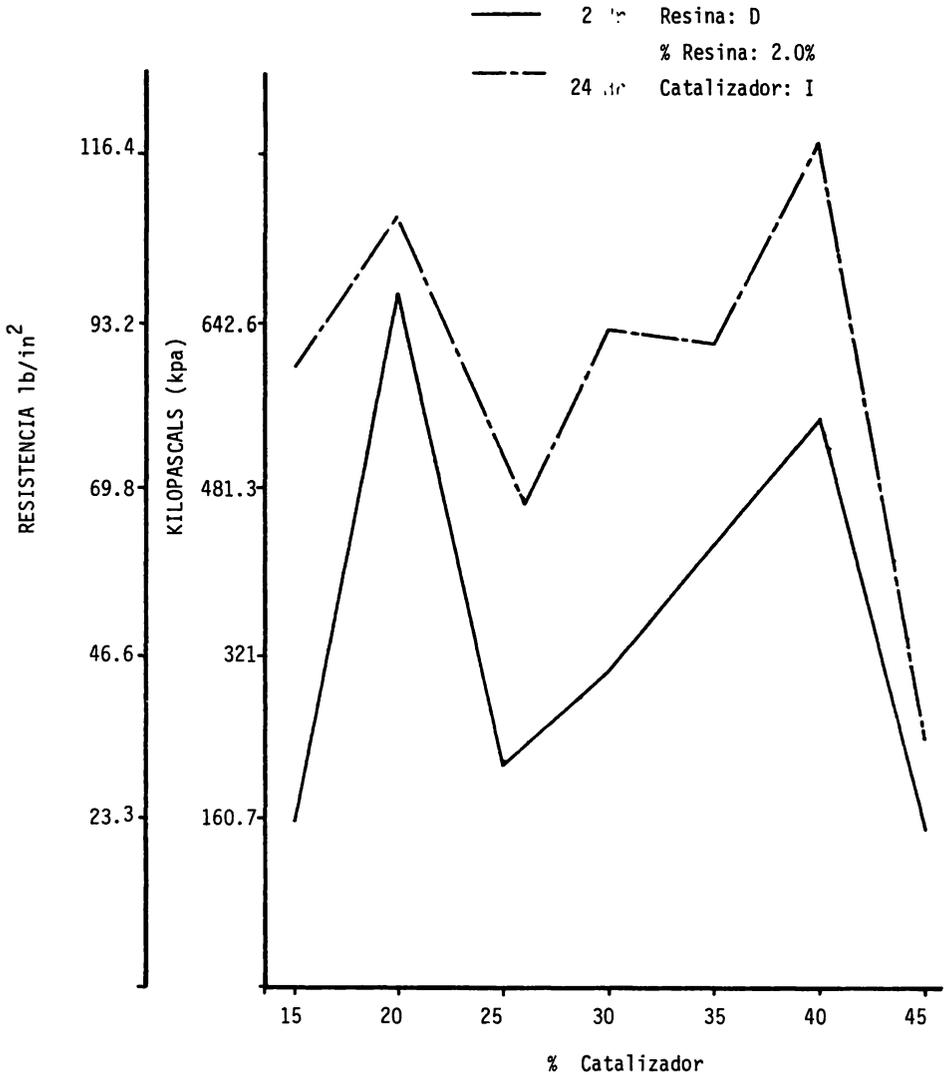
GRAFICA No. 10

AUTOFRAGUADO



GRAFICA No. 11

AUTOFRAGUADO



GRAFICA No. 12

de 20% y después disminuyen gradualmente al utilizar niveles mayores.

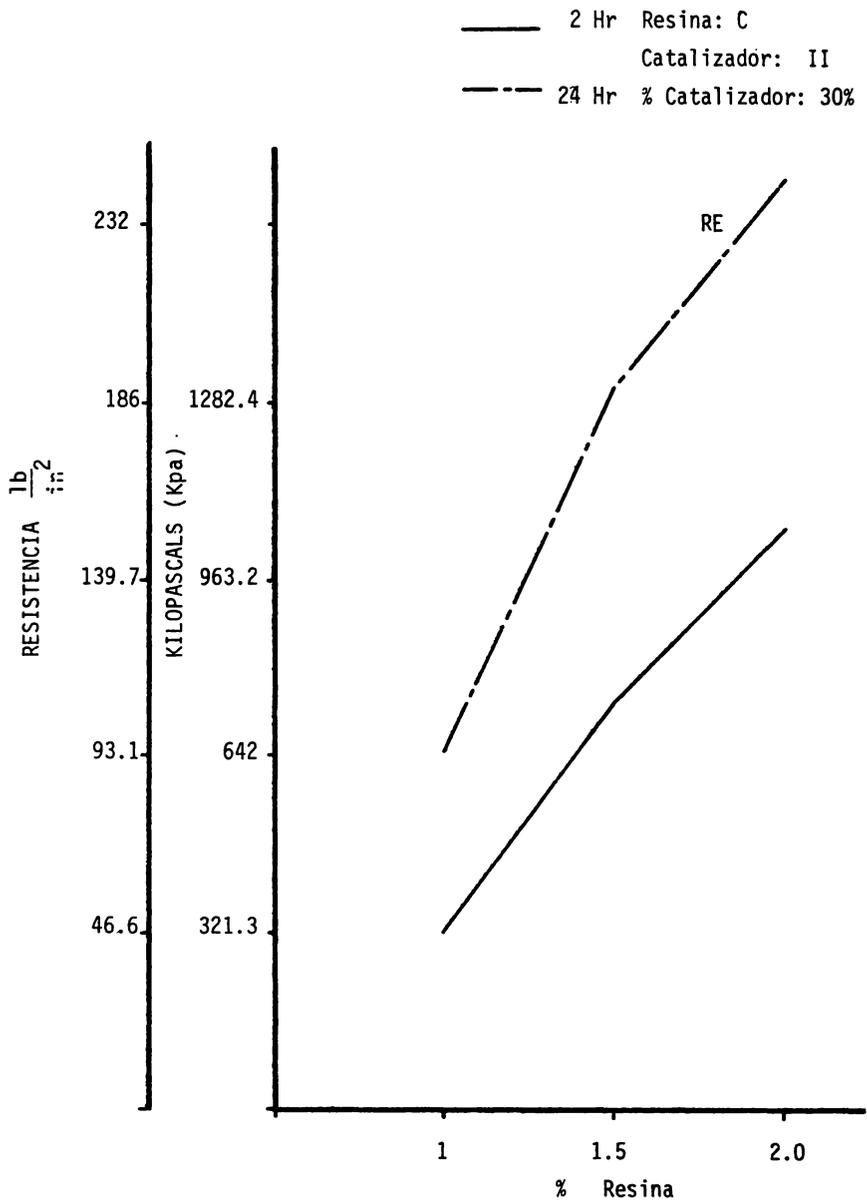
En la gráfica No. 13 lo que se ha hecho es mantener constante el catalizador (Tipo II) y variar el contenido de resina (Tipo C) en la mezcla de arena, observándose claramente que las resistencias aumentan a medida que el nivel de resina aumenta.

La gráfica No. 14 es otro experimento utilizando la resina -- Tipo D en los niveles de 1.8% y 2.2%, variando los niveles de catalizador Tipo I; en esta gráfica se puede ver que el porcentaje mayor de resina de 2.2% proporciona las resistencias más altas hasta un nivel de catalizador de 35% disminuyendo con porcentajes mayores que este.

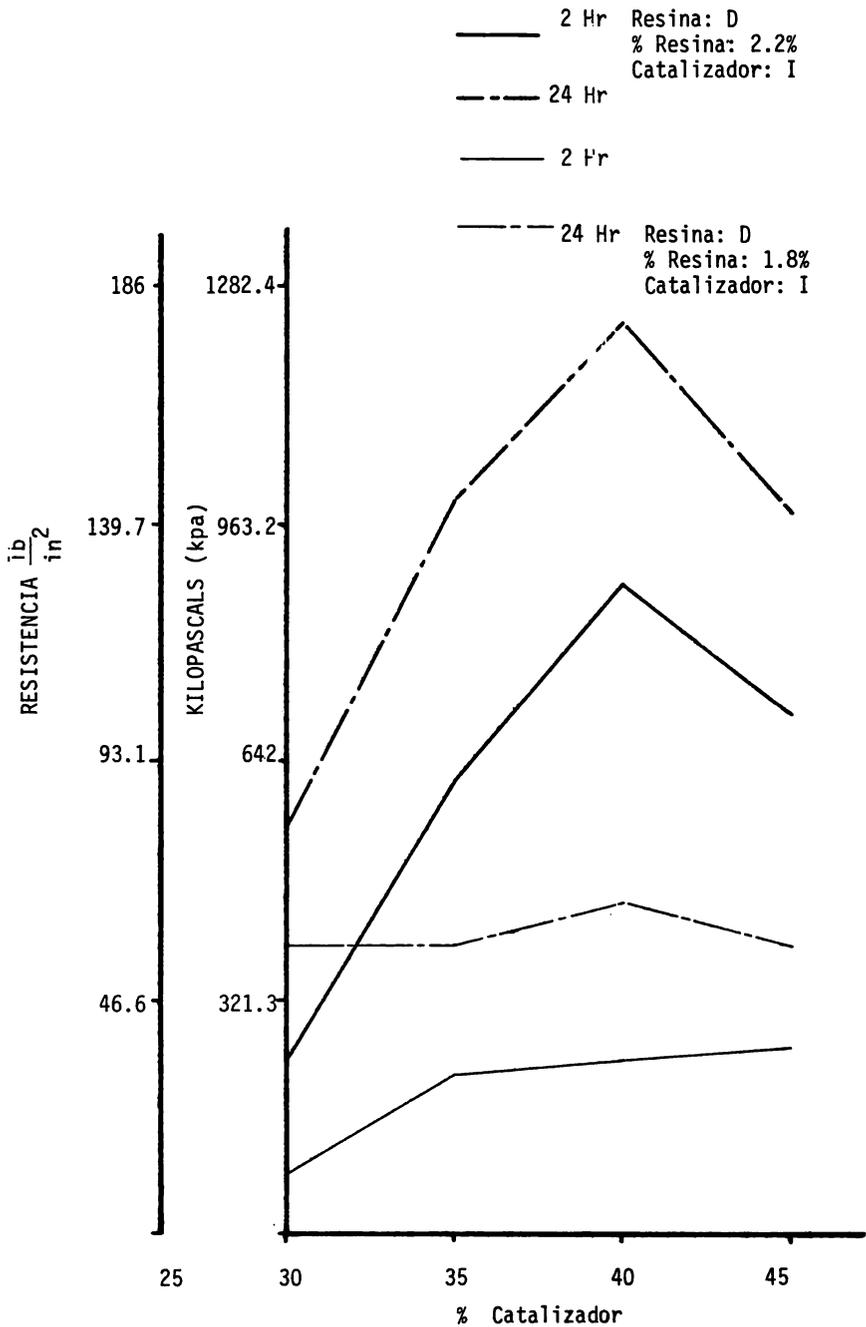
Un ejemplo típico del comportamiento de las resinas utilizadas para el proceso de caja caliente se muestra en la gráfica No. 15, en donde se ha utilizado la resina Tipo H y el catalizador Tipo IV, en los niveles de 11, 13 y 15% y se han comparado las resistencias contra el tiempo de curado en segundos.

Se puede apreciar que a medida que el tiempo de curado aumenta las resistencias también aumentan hasta llegar a un máximo y después disminuyen y que con el nivel de catalizador más elevado se obtienen -- las resistencias más altas utilizando un menor tiempo de curado, lo que redundaría en una buena economía y rapidez del proceso.

La gráfica No. 16 sirve para ejemplificar la influencia del tiempo de mezclado en el proceso de cáscara, en relación a las resistencias obtenidas; contra el tiempo de curado se utilizó la resina Tipo L con el catalizador Tipo VI, variando el tiempo de mezclado de este último y en donde se puede observar que aumentando el tiempo de mezclado --

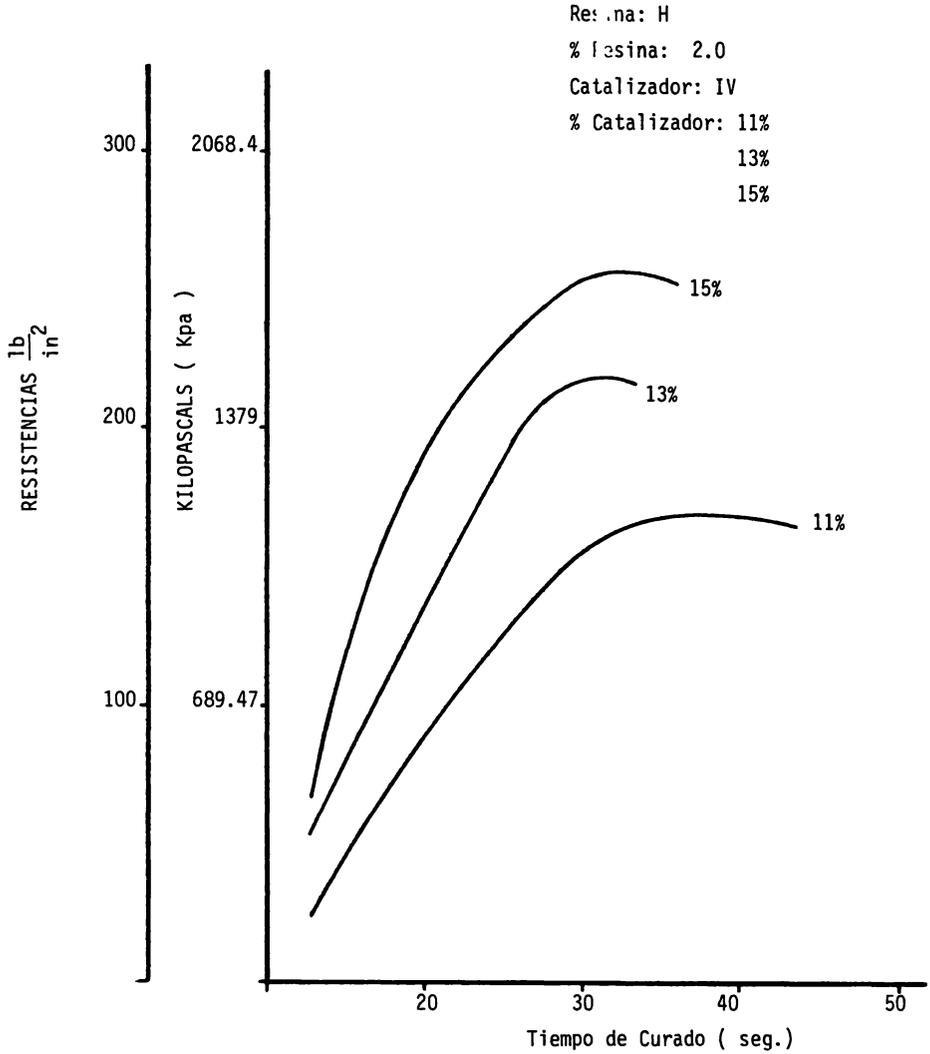


GRAFICA No. 13



GRAFICA No. 14

CAJA CALIENTE

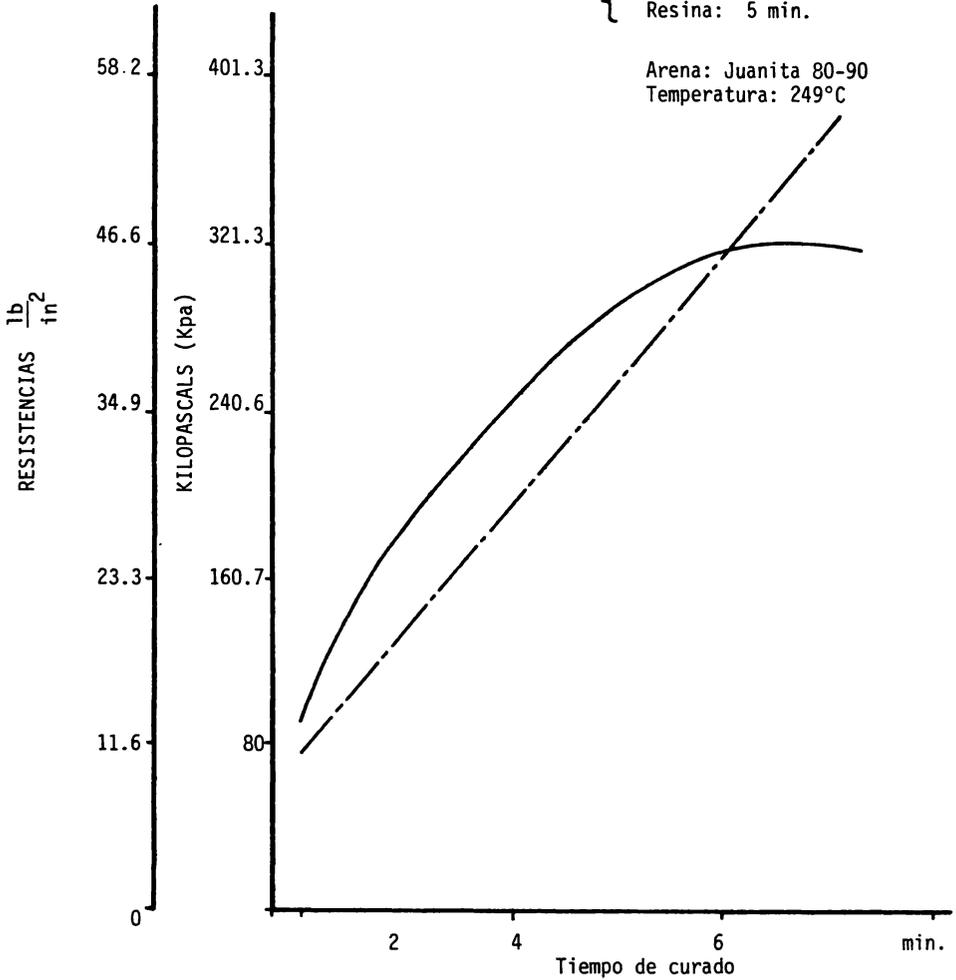


GRAFICA No. 15

PROCESO SHELL

Resina: L
%Resina: 3.8%
Catalizador: VI
%Catalizador: 17%
Tiempo de Mezclado:
Catalizador 1 min.
Resina: 5 min.
Catalizador 2 min.
Resina: 5 min.

Arena: Juanita 80-90
Temperatura: 249°C



GRAFICA No 16

del catalizador de 1 a 2 minutos, se obtienen resistencias más altas en menores tiempos de curado, lo que tiende a aumentar enormemente la producción.

En la gráfica No. 17 se utilizaron los mismos componentes anteriores bajo las mismas condiciones de trabajo, aumentándose los tiempos de mezclado de la resina, concluyéndose en esta gráfica que las resistencias no aumentan mayormente, sino que tienden a disminuir con un mayor tiempo de mezclado de la resina.

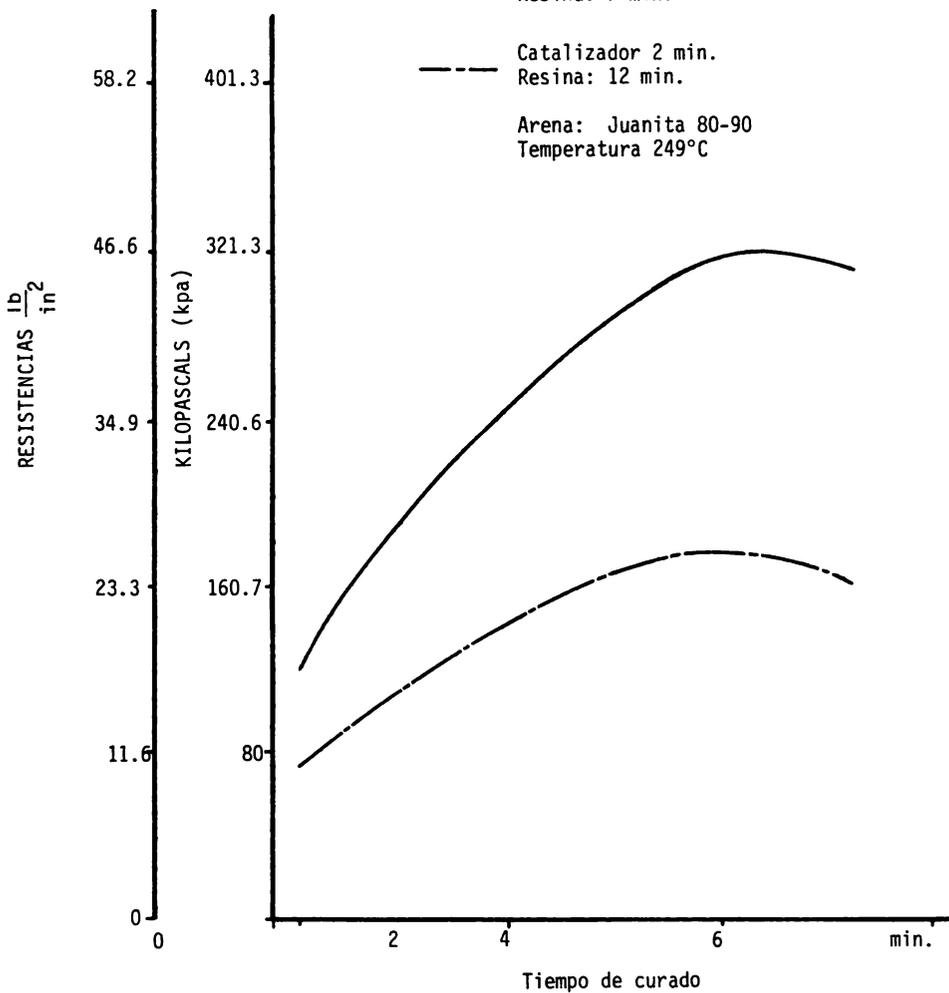
La gráfica No. 18 es un ejemplo del proceso de cáscara (shell) mezcla seca, en el que se usa la resina Tipo M en polvo con el catalizador ya integrado. En esta gráfica se observa que las resistencias aumentan conforme el tiempo de curado aumenta. Se puede concluir que con este proceso se logra una mayor velocidad de producción, siempre y cuando se hayan encontrado las condiciones óptimas de trabajo.

PROCESO SHELL

Resina: L
%Resina: 3.8%
Catalizador: VI
%Catalizador: 17%
Tiempo de Mezclado:
Catalizador 2 min.
Resina: 7 min.

Catalizador 2 min.
Resina: 12 min.

Arena: Juanita 80-90
Temperatura 249°C

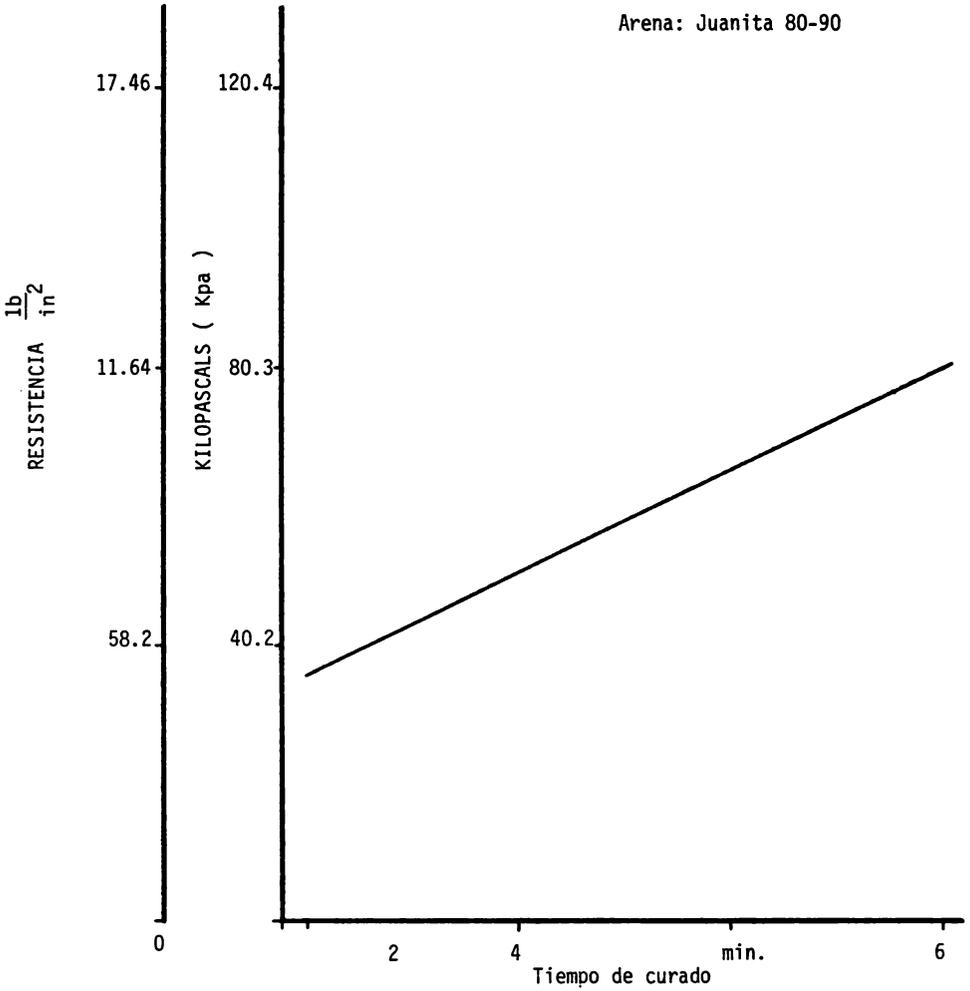


GRAFICA No. 17

PROCESO SHELL

Resina: M
% Resina: 5%
Temperatura de
Curado: 249°C
Tiempo de
Mezclado: 3 min.

Arena: Juanita 80-90



GRAFICA No. 18

CAPITULO VII

VII. ANALISIS DE RESULTADOS

Los grandes avances llevados a cabo últimamente en la Industria de la Fundición en lo referente a los aglutinantes resinosos utilizados para lograr cada vez con mayor precisión la producción de moldes y corazones, han sido de vital importancia para el continuo desarrollo de este tipo de industria.

El área de fabricación de los moldes y corazones, es una de las más importantes dentro del proceso de una fundición, pues de ella depende básicamente que la pieza final que se desee obtener tenga las características de calidad requeridas; se necesita por lo tanto que en área tan importante se ejerza un control estricto de cada uno de los siguientes factores:

- 1.- Tipo de proceso utilizado en:
 - a). Fabricación de moldes
 - b). Fabricación de corazones
 - c). Fabricación de moldes y corazones.
- 2.- Cantidad de moldes producidos o requeridos.
- 3.- Cantidad de corazones producidos o requeridos
- 4.- Tipo de arena
 - a). Granulometría
 - b). Contenido de humedad

- c). Forma de grano
- d). Superficie específica
- e). pH

5.- Resina utilizada

- a). Tipo de resina
- b). Cantidad de resina
- c). Tiempo de mezclado

6.- Catalizador usado

- a). Tipo de catalizador
- b). Cantidad de catalizador
- c). Tiempo de mezclado

7.- Efecto total del proceso utilizado sobre:

- a). El medio ambiente
- b). El hombre
- c). Seguridad en el manejo

En función de cada uno de los factores descritos anteriormente, los resultados obtenidos en cada proceso son:

Proceso de Autofraguado:

Actualmente en México y en algunos países latinoamericanos, el proceso de autofraguado se encuentra en pleno desarrollo, ya que es el más versátil en comparación con los otros procesos, los cuales se ven limitados por factores como: tipo de arena, composición química de la misma, costo de maquinaria y equipo, economía y recuperación de la -

inversión.

Muchas fundiciones contemplan y analizan ya, el empleo de este proceso por ser el menos complicado químicamente, por reportar buenas resistencias con excelentes resultados y por ser técnicamente más accesible; sin quitar mérito a los demás procesos que reportan buenos resultados dependiendo esto del criterio del fundidor.

Realmente el proceso de Autofraguado representa un nuevo campo en la fundición, con él se ha llegado a la modernización de antiguas plantas que trabajaban con métodos desuniformes y fuera de todo control verdadero tanto del moldeo en verde como de la fabricación de corazones, teniendo un elevado índice de rechazo.

Con el relativamente nuevo proceso de Autofraguado se pueden crear estándares de proceso continuo y tener un exacto control de todas las variables que involucran dicho sistema, esto conduce a que los rechazos causados por el moldeo y hechura de los corazones bajen significativamente.

En la actualidad se cuenta con toda una serie disponible de resinas y catalizadores como se pudo apreciar en las gráficas expuestas anteriormente, lo que lo hace ser un proceso de gran versatilidad. (Indicar en este punto cual será la resina más adecuada y la cantidad a emplear al igual que el catalizador es sumamente difícil). Este estudio trata que el fundidor adquiera una visión más amplia de la mayoría de los aglutinantes resinosos con que cuenta y pueda utilizar.

La instalación de un proceso completo de autofraguado es convincente y rentable cuando se desean obtener los mejores resultados en

todos aspectos y de hecho recibir las mayores utilidades en un tiempo de recuperación relativamente corto. Por lo tanto este proceso tiene de ser día con día el de mayor empleo en la industria de la fundición.

Los demás procesos tanto el de Caja Caliente, como el de Cáscara y el de Caja fría, se han discutido también en una forma bastante amplia, de una manera suficiente como para que el fundidor adquiera un criterio cada vez mayor y conozca las mejores opciones que deberá - - implantar en su fundición.

En la actualidad estos procesos están un poco limitados a la fabricación de corazones en gran escala, pero con los estudios e investigaciones que día a día se están realizando, se debe pensar que en el futuro estos sistemas deberán tener una aceptación y empleo cada vez mayor en la industria de la fundición nacional.

CAPITULO VIII

VIII. CONCLUSIONES

En vista de los muchos procesos que existen actualmente, la Industria de la Fundición se enfrenta a toda una serie de numerosos problemas para poder seleccionar el sistema de aglutinamiento más adecuado para la manufactura de los moldes y corazones.

Primero se necesita conocer cual es el mejor proceso y más -- adecuado para sus requerimientos particulares y decidir cual será el -- sistema más eficiente y apropiado para este propósito.

Agrupar los parámetros por los que ahora la Industria de la Fundición puede decidir para encontrar el sistema más adecuado para sus propios requerimientos especiales es un tanto difícil, pero algunas de las consideraciones y factores que se deben de considerar son las siguientes:

- a). Tipo de Metal a ser Vaciado
- b). Tamaño de la Fundición
- c). Rango de Producción
- d). Tipo de Maquinaria Disponible
- e). Capacidad de la Planta
- f). Tipo de Arena Disponible
- g). Facilidad de la Mano de Obra
- h). Restricciones de Espacio
- i). Requerimientos de Seguridad e Higiene
- j). Restricciones Totales de Costos

El estudio de cada uno de estos factores depende de cada fundición en particular, pero su análisis concienzudo es seguro que llevará a este tipo de industria a obtener resultados altamente satisfactorios.

Después de considerar los puntos de vista anteriores, es posible también preparar una especificación para cualquier nuevo sistema de aglutinamiento propuesto, lo cual hará que se reduzcan las pruebas en la fundición y el tiempo de desarrollo, y además minimizará el número de problemas que día con día deben ser resueltos por una fundición.

El aglutinante deberá tener las siguientes características:

- 1.- Permitir la preparación automática de la mezcla de arena.
- 2.- Facilitar la fabricación de corazones y moldes a temperatura ambiente.
- 3.- Requerir una complejidad mecánica mínima.
- 4.- Permitir la coordinación de moldes y corazones en la línea de producción.
- 5.- Permitir a la fundición hacer frente a un programa de fusión variado.
- 6.- Producir fundiciones sin problemas metalúrgicos.
- 7.- Producir corazones y moldes adecuados para ser manejados mecánicamente.
- 8.- Que el modelo esté libre de la necesidad de un tratamiento especial para su aplicación.

- 9.- Facilitar la utilización de arena recuperada.
- 10.- Ser insensible a la temperatura y calidad de la arena.
- 11.- Permitir el desmoldeo fácilmente.
- 12.- Producir corazones y moldes que tengan propiedades y estabilidad dimensional adecuadas.
- 13.- Producir fundiciones con un buen acabado superficial.
- 14.- Estar libre de vapor, humo y productos de descomposición peligrosa durante la manufactura de los moldes y corazones durante la fusión.
- 15.- Satisfacer los requerimientos económicos.
- 16.- No estar sujeto a los cambios y fluctuaciones del mercado.

Estas son algunas de las especificaciones que debería de tener un aglutinante para funcionar idealmente y que según los requerimientos actuales deben de buscarse diariamente.

CAPITULO IX

B I B L I O G R A F I A

Dr. George A. Smiernow

"EVALUACION DE LOS PROCESOS DE FUNDICION"

Drexel University

Congreso SMF 1976 MEXICO

Ing. José A. Rodríguez Luevano

"RECUPERACION DE ARENA SILICA POR EL METODO DE CALCINACION"

Cfa. Fundidora del Norte, S.A.

Congreso SMF 1973 MEXICO

Ing. Juan E. Basulto A.

"RECUPERACION DE ARENAS DE FUNDICION RECUBIERTAS CON
AGLUTINANTES DE AUTOFRAGUADO A TEMPERATURA AMBIENTE"

Fordath, S.A. de C.V.

Congreso SMF 1979 MEXICO

"SHELL PROCESS FOUNDRY PRACTICE"

AFS AFS Segunda Edición 1973 U.S.A.

"ARENAS DE MOLDEO"

Ignacio F. de Aguirre

Alberto Muro 1963 MADRID

Daniels P. Efta

"RESINAS FURANICAS Y EL GRADO DE CONTAMINACIONA AMBIENTAL"

Congreso SMF 1979 MEXICO

R.L. Naro

"EL USO DE RESINAS BASE FENOL URETANO AUTOFRAGUABLES DE
ALTA VELOCIDAD EN LAS FUNDICIONES DE U.S.A."

Ashland Chemical Company

Congreso SMF 1979 MEXICO

W.D. Scott

C.E. Bates

R.H. James

"EMISIONES QUIMICAS DE LOS MOLDES DE FUNDICION"

Modern Casting Dic. 1977 E.U.A.

Harry W. Dietert

"FOUNDRY CORE PRACTICE"

AFS 3a. Edición 1966 U.S.A.

Ing. Víctor M. García Sosa

"TECNOLOGIA DEL CONTROL DE CALIDAD DE
LAS ARENAS DE FUNDICION"

Sociedad Mexicana de Fundidores

Curso 1979 MEXICO

American Foundrymen's Society

"MANUAL DE ARENAS PARA FUNDICION"

AFS Inc. 1967 U.S.A.

Ing. Stanley S. Blomberg

"DEFECTOS DE LAS PIEZAS MOLDEADAS CAUSAS Y REMEDIOS"

Congreso SMF 1976 MEXICO

Marcelino Madrigal Duarte

"INGENIERIA DE FUNDICION"

Curso Facultad de Química 1978

UNAM MEXICO

Ing. Víctor M. García Sosa

"SOBRE EL CONTROL DE LAS ARENAS DE MOLDEO EN VERDE"

Congreso SMF 1976 MEXICO

Hooker Durez Division

"DUREZ GUIDE TO RESIN COATED SAND"

Hooker Chemical corporation 1968 U.S.A.

"RESING COATED SAND USING THE HOT PROCESS"

Service Bulletin No. 115

Hooker Durez Division AGOSTO 1970 U.S.A.

Durez-Stevens Foundry Supplies

"FOUNDRY NEWS"

Paper 3 1971 U.S.A.

Bruce R. Nelson

"UNA EVALUACION DEL ACIDO TOLUEN-SULFONICO Y EL ACIDO FOSFORICO
COMO CATALIZADORES PARA LOS AGLUTINANTES DE AUTOFRAGUADO FURANICOS"

AFS Transactions V.12 1973

J. Fonseca

"RECUPERACION DE ARENAS AGLUTINADAS CON SILICATO DE SODIO"

Congreso SMF 1976

G.S. Cole

J. Carretero

"ENTRENAMIENTO EN PLANTA PARA LA INDUSTRIA DE LA FUNDICION"

Congreso SMF 1976

Antom Dorfmueller

"LA EVOLUCION DE LOS AGLUTINANTES SIN HORNEAR"

Congreso SMF 1970

Frank W. Less

"LOS AGLUTINANTES RESINOSOS USADOS PARA LA FUNDICION"

Congreso SMF 1973,

Bruce L. Simpson

"INTRODUCTION TO THE CASTING OF METALS"

AFS Inc. 1976

Bruce L. Simpson

"HISTORY OF THE METAL CASTING INDUSTRY"

American Foundrymen's Society Inc.

2nd. Edition U.S.A.

U.D. Kim

"PHENOLIC NO BAKE BINDERS FOR CORE AND MOLD PRODUCTION"

AFS Transactions Vol. 72 1976

E.L. Kotzin

"75 AÑOS DE PROGRESO EN LA FABRICACION DE CORAZONES"

Modern Casting Junio, 1971

Charles W. Briggs

"FUNDAMENTALS OF CORE SAND AND BINDERS"

Steel Founder's Society of America

1971 U.S.A

F.W. Less

"AGLUTINANTES DE CURADO AL AIRE Y

SIN HORNEAR USADOS EN LA FUNDICION"

Congreso SMF 1970 MEXICO

Armando Ruiz

"RESINAS FURANICAS PARA EL PROCESO DE AUTOFRAGUADO"

Química Hooker, S.A.

1975 MEXICO

C.E. Bates

W.D. Scott

"THE DECOMPOSITION OF RESIN BINDERS AND THE RELATION SHIP BETWEEN
GASES FORMED AND THE CASTING SURFACE QUALITY"

AFS Transactions Vol. 72 1976

José Campos Caudillo

"BREVES NOTAS SOBRE MOLDEO EN CASCARA"

Congreso SMF 1976 MEXICO

Frank W. Less

"MOLDEO DE PIEZAS COLADAS DE ACERO DE BAJO CARRONO POR
EL METODO DE CASCARA (SHELL)"

Congreso SMF 1970 MEXICO

Division Durez

"THE SHELL MOLD PROCESS"

Química Hooker, S.A.

1978 E.U.A.

R.L. Naro

"FABRICAÇÃO DE MOLDES Y CORAZONES POR
EL METODO DE CAJA FRIA"

Curso SMF 1979 MEXICO

R.L. Naro

"PROGRESO DEL PROCESO DE CAJA FRIA EN NORTEAMERICA"

Congreso SMF 1976 MEXICO

H.J. Hendess

W. Wagner

B. Soltermann

"TECNOLOGIA DE ARENAS AUTOFRAGUANTES EN
LA INDUSTRIA DE LA FUNDICION"

Curso de Postgrado 1979 Ed. SEDI MEXICO

W.L.S. Hatton

"AGLUTINANTES QUIMICOS. EL PUNTO DE VISTA DE LOS PROVEEDORES"

Paper 2 Bcira 1976

A.D. Morgan

"AGLUTINANTES QUIMICOS. EL PUNTO DE VISTA DE LOS FUNDIDORES"

Paper 1 Bcira 1976

James Flood

"PROCESOS DE MOLDEO AUTOFRAGUANTE"

Curso SMF 1981 MEXICO

Robert J. Frederick

"LOS AGLUTINANTES SIN HORNEAR, FURANICOS PARA LA FUNDICION"

Congreso SMF 1970 MEXICO

R.L. Naro

"EL USO DE RESINAS BASE FENOL-URETANO AUTOFRAGUABLES DE
ALTA VELOCIDAD EN LAS FUNDICIONES DE U.S.A."

Congreso SMF 1979 MEXICO

W.B. Parkes

"CLAY-BONDED FOUNDRY SAND"

Applied Science Publishers LTD

1978 Londres

BCIRA

"CHEMICAL BINDERS IN FOUNDRIES"

Marzo 30 - 1° Abril 1976

University of Warwick

"MANUAL DE ARENAS PARA FUNDICION"

American Foundrymen's Society Inc.

1967 E.U.A.

"MOLD AND CORE TEST HANDBOOK"

American Foundrymen's Society Inc.

1972 E.U.A.