

# Capítulo I

## INTRODUCCIÓN

La industria automotriz es uno de los sectores industriales que más auge han otorgado al desarrollo tecnológico debido a las necesidades crecientes de un mercado extenso y muy competido. Desde décadas pasadas en el renglón que se refiere a las cabezas de motor se ha desarrollado una tecnología necesaria para llegar a un estado del arte en producción de esta pieza

Hoy en día la necesidad se ha vuelto más extensa, tratar de fabricar el monoblock de aluminio. La sustitución de monoblocks de hierro por piezas de aluminio ha creado constantes propuestas para desarrollar esta meta por diferentes procesos de fundición. La idea de introducir el aluminio es para hacer más eficientes los motores de los vehículos reduciendo el peso. En la actualidad sólo el 15% de los vehículos cuenta con el monoblock de aluminio pero esta participación aumentará conforme se llegue a una estabilización en la producción, como ocurrió con las cabezas de aluminio que a principios de los ochentas su participación era de un 10%, actualmente es del 65% y las expectativas es para que al año 2005 el 90% de los vehículos y camionetas utilicen motor con cabeza de aluminio<sup>1</sup>.

La necesidad de buscar procesos de fundición más consistentes es para obtener los productos, cabeza y monoblock de aluminio con un desarrollo tecnológico tal que dejen atrás los viejos procedimientos de moldeo en verde tan poco eficientes, llegando a procesos de alta ingeniería que utilizan componentes químicos y equipo periférico de alta tecnología.

La gran ventaja de estos sistemas es que tienen tiempos cortos en los cuales diversos corazones pueden ser utilizados. Los tiempos en los cuales se pueden usar las mezclas de arena con resina varían desde 2 hasta 24 horas, dependiendo del sistema de resinas utilizado. El corazón al soplar se alcanza inmediatamente solo alrededor del 60% de su resistencia total, por lo que se puede dejar almacenado para que alcance una resistencia superior y así tener menos problemas por moldes o corazones débiles<sup>2</sup>.

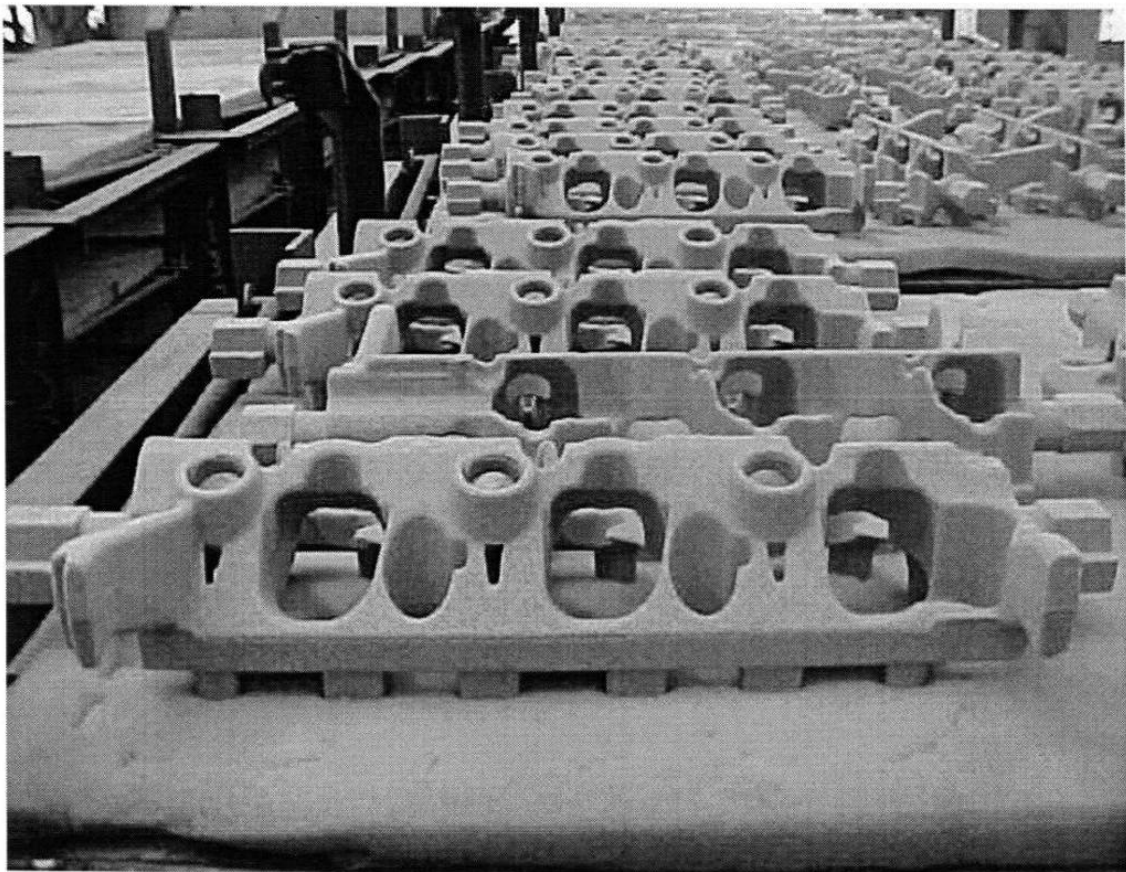


Figura 1. Aspecto de la chaqueta de enfriamiento de una cabeza de motor.

Los procesos de fundición necesitan una materia prima seleccionada, cuidando su origen como en el caso de las arenas, las cuales se cuida que tengan una granulometría, forma y constituyentes determinados, esto en óptimo comportamiento en conjunto con los sistemas de resina.

El desarrollo de este trabajo tiene como objetivo el determinar el comportamiento de las materias primas utilizadas en la fabricación de corazones mediante diferentes pruebas, se registró y analizó el comportamiento de un corazón fabricado mediante el proceso fenol uretano en caja fría.

La metodología seguida durante el desarrollo de la presente investigación es la siguiente, se seleccionó un tipo de corazón sobre el cual se basa el estudio, siendo éste la chaqueta de enfriamiento de las cabezas y monoblock de aluminio, figura 1 que tiene la cualidad de ser un corazón de configuración compleja con paredes delgadas y quedar atrapado dentro de la pieza durante su vaciado. Al definir la pieza de estudio se propone el experimento sobre mezclas con composiciones cercanas a las normalmente se utilizan en planta para la elaboración de la chaqueta de enfriamiento. A estas formulaciones se le caracterizaron sus materias primas y su comportamiento como mezclas mediante pruebas normales de control de calidad, además se desarrollaron pruebas de resistencia a alta temperatura, resistencia a la compresión y evolución de gases. La correlación de estas pruebas permitió seleccionar la mezcla más adecuada para su aplicación en el proceso.

# Capítulo II

## Moldeo con arena

### 2.1 Introducción al moldeo con arena.

El moldeo con arena se puede dividir en dos grandes categorías (dependiendo de las materias primas utilizadas en el proceso). Estas dos categorías son, moldeo con arena verde y moldeo con aglomerantes químicos.

Estos dos métodos son usados para unir los granos de arena que constituyen los moldes para fundición; en el **moldeo en verde** se utiliza arcilla y agua para unir la arena, mientras los métodos de **moldeo de arena unida con resina** utilizan diferentes sistemas químicos de unión para hacer el molde. Los procedimientos y componentes de estos dos sistemas son sumamente diferentes como para tratarlos por separado.

Los productos de fundición de aluminio fabricados mediante el moldeo con arena representan casi el 11% mundial del total en peso de fundición de aluminio<sup>3</sup>. Las piezas fabricadas son utilizadas en la industria aeroespacial y automotriz por la característica del aluminio de ser un metal ligero.

El moldeo con arena es el más simple y versátil de los procesos usados para vaciar aluminio. Los moldes de arena generalmente son fáciles de hacer y la arena es reutilizable. Los métodos de fundición usados en fundición de metales ferrosos así como

no ferrosos son aplicables a la fundición de aluminio, los sistemas de producción se encuentran en su mayoría totalmente automatizados dándole mayor funcionalidad al proceso.

Las fundiciones de aluminio en moldes de arena abarcan piezas desde algunos gramos hasta más de 50 kilogramos de peso con un acabado exitoso. Las piezas fabricadas pueden ser de configuraciones sencillas, figura 2.1 hasta muy complicadas figura 2.2.

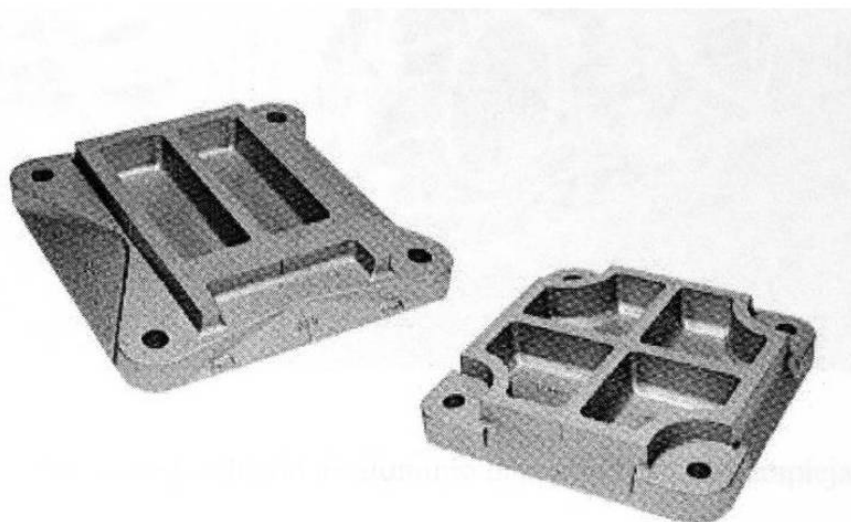


Figura 2.1 Piezas de fundición de aluminio de configuración sencilla.

El mejor sistema de resinas para aluminio sólo se puede determinar mediante un análisis basado en la disponibilidad del material, experiencia y resultados proporcionados mediante pruebas a nivel planta, tomando en cuenta las condiciones ambientales, factor a considerar dentro del proceso. Cada sistema de resina desarrollado en la industria se ha utilizado primeramente para producir fundiciones de aluminio<sup>3</sup>.

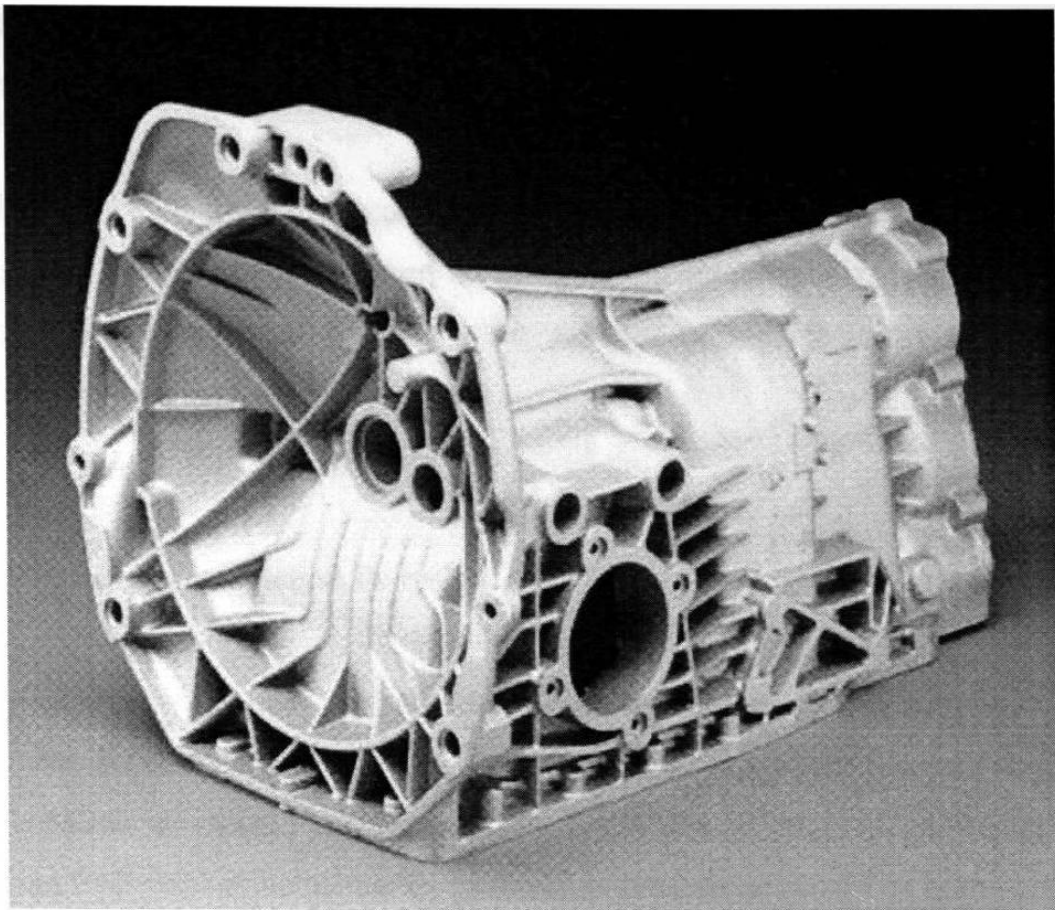


Figura 2.2 Piezas de fundición de aluminio de configuración compleja.

## 2.2 Sistemas de fundición automatizados.

En muchas industrias de moldeo se utilizan equipos mecanizados de alta producción de moldeo con la finalidad de obtener moldes a un costo unitario muy competitivo. Con los sistemas automatizados se llega a tener una amplia ventaja sobre los sistemas de operación manual.

Los sistemas automáticos de moldeo y sistemas de manejo de moldes ofrecen altas tasas de producción, buena calidad de piezas vaciadas y un alto grado de consistencia en las fundiciones. Para tener una adecuada operación de los sistemas automatizados se requiere que se les proporcione suficiente cantidad de metal fundido, un sistema de

dimensiones considerables para manejo de arena, así como también un conjunto de equipos periféricos disponibles para lograr un proceso continuo.

Las operaciones de desarenado, sistemas de limpieza, vaciado, y sistemas de recuperación de arena también deben ser apropiadamente automatizados para funcionar al mismo ritmo dentro del proceso y ser capaces de manejar altos volúmenes de fundiciones producidos por estos sistemas automatizados.

### **2.3 Desarrollo de sistemas de resina.**

Los sistemas de resina se han desarrollado constantemente desde su introducción a mediados de la década de 1940. El proceso de moldeo predominante durante esta época consistía en moldeo con arena verde. En la década de 1940, los corazones de arena eran fabricados principalmente mediante el proceso de curado en horno con arena aglomerada con aceite<sup>2</sup>.

El proceso de moldeo con aceite fue usado para construir paquetes de moldeo, que consisten en piezas para unión seccionadas que al juntarlas forman un molde. Estos corazones producían fundiciones con mejores características dimensionales que las que se consiguen con el moldeo en verde, en el cual los paquetes de moldeo generalmente están hechos de pocas piezas.

El desarrollo de los sistemas de moldeo tomó vertiginosos cambios después de la segunda guerra mundial. Los sistemas curados con calor, los sistemas de resina por moldeo en cáscara (shell), y sistemas endurecidos por gas dióxido de carbón-silicato fueron introducidos en la década de 1950. En las décadas posteriores, se utilizaron resinas curadas en caja caliente, sistemas de autofraguado (que curan químicamente sin la aplicación de calor) y procesos vapor catalizador en caja fría<sup>2</sup>.

En las últimas tres décadas se han introducido dentro del mercado 20 procesos de unión como se muestra en la Tabla 2.1, estos procesos han forzado un diseño y desarrollo de equipo nuevo e innovador, necesario para hacer corazones y moldes, así como recubrimientos para arena y equipo de manejo de arena.

Tabla 2.1 Sistemas de resina utilizados industrialmente <sup>2</sup> .	
Fecha de Introducción	Proceso
Antes de 1940	Moldeo con aceite
1950	Moldeo de cáscara (shell)
1952	Silicato/CO <sub>2</sub>
1953	Aceites autofraguantes al aire
1958	Autofraguante con catalizador ácido
1960	Caja caliente furánica
1962	Caja caliente fenólica
1965	Autofraguante uretano
1968	Caja fría fenol-uretano
1968	Autofraguante con catalizador ester-silicato
1970	Autofraguante fenol uretano
1974	Autofraguante fosfato alúmina
1977	Furano SO <sub>2</sub>
1978	Autofraguante polyol uretano
1978	Caja tibia
1982	<i>FRC</i> SO <sub>2</sub>
1983	Epoxi SO <sub>2</sub>
1984	Autofraguante éster fenólico
1985	Caja fría éster fenólico
1992	Fosfato / óxido metal



## 2.4 Clasificación e identificación de los sistemas de moldeo con unión química.

Existen cuatro categorías para catalogar los diferentes sistemas aglutinantes. La clasificación, de acuerdo con los componentes contenidos en los aglomerantes es, en orgánicos o inorgánicos, por el mecanismo de catalización, por el mecanismo físico de curado y por la forma en que el sistema es activado<sup>3</sup>.

Sistemas inorgánicos u orgánicos. Los sistemas aglutinantes inorgánicos son los que no contienen carbono en sus moléculas aglutinantes, los sistemas inorgánicos son por lo general muy poco reactivos y alcanzan menores resistencias por lo cual necesitan ser utilizados en tiempos de desarrollo de resistencia mayores; los sistemas inorgánicos de resina requieren mayor atención durante la fabricación del corazón, el moldeado y proceso de fundición que los sistemas orgánicos. Estos sistemas están basados en una tecnología silicato y fosfato/metal óxido. Todos los demás sistemas utilizados son del tipo orgánico.

Por mecanismo de catalización. Otra forma de clasificar a los sistemas es por el mecanismo por el cual se cataliza químicamente, Tabla 2.2. Los aglutinantes de tipo ácido, pH inferior a 7 curan mediante la adición de un material alcalino, los sistemas aglutinantes del tipo básico, pH mayor a 7 se curan al adicionar un material ácido. Existen otros sistemas que curan mediante diversos mecanismo químicos y son independientes del pH.

Tabla 2.2 Clasificación de los sistemas aglutinantes por el mecanismo de catalizado <sup>2</sup>		
Ácido	Básico	Otro
Silicato CO <sub>2</sub>	Autofraguante ester fenólico	Moldeo en cáscara
Caja tibia	Caja fría éster fenólico	Autofraguante silicato
Caja caliente	Autofraguante uretano	Core oil oxidación
SO <sub>2</sub> furano	Caja fría fenol-uretano	Fosfato/óxido metal
SO <sub>2</sub> acrílico epoxi	Autofraguante polyol uretano	

Por mecanismo físico de curado. Los sistemas de resinas también son clasificados basados en la manera en que el corazón o molde de arena endurece físicamente, Tabla 2.3. La resina cura en diferentes maneras, mediante el contacto con un catalizador vaporizado (caja fría); al ser expuesto al calor y promover su curado (caja caliente); y al ser mezclado con un líquido catalizador que reacciona con un aglutinante a temperatura ambiente (autofraguante). Cuando un aglutinante reacciona completamente se dice que ha polimerizado y alcanza un curado total, es decir se vuelve térmicamente estable.

Sistemas activados térmicamente. En estos sistemas el calor es el principal agente de curado, los sistemas más conocidos son el moldeo en cáscara (shell), caja caliente y caja tibia furánica. Estos sistemas son aglutinados y se curan aplicando calor al molde de arena recubierta con anterioridad.

Tabla 2.3. Categorías de los procesos de resina en moldeo de corazones <sup>2</sup> .		
<b>Caja Fría</b>	<b>Autofraguante</b>	<b>Activado térmicamente</b>
Fenólico/uretano/ amina	Furan/ácida	Shell
Silicato/CO <sub>2</sub>	Fenólica/ácida	Core oil
Furano/SO <sub>2</sub>	Fenólico/éster	Caja caliente fenólico
Acrílico/epoxi/SO <sub>2</sub>	Oil uretano	Caja caliente furánica
FRC/SO <sub>2</sub>	Silicato/éster	Caja caliente úrea formaldehído
Fenólico/éster (metil formato)	Fenólico uretano	Caja tibia
Fenólico/CO <sub>2</sub>	Fosfato/óxido metal	
	Polyol uretano	

## 2.5 Sistemas de caja fría

Los sistemas de caja fría son utilizados en las fundiciones de aluminio de más alta producción. La clasificación de los sistemas de caja fría incluye a:

Silicato/CO<sub>2</sub>.

Acrílico/Epoxi/SO<sub>2</sub>.

Fenólico/Metil Formato.

Fenólico/CO<sub>2</sub>.

Fenólico/Uretano/Amina.

El sistema de resinas utilizado en el desarrollo del presente trabajo fue el Fenólico/Uretano/Amina en caja fría, por lo que se procederá a ampliar las características de este proceso así como las materias primas que utiliza para la elaboración de moldes y corazones y pruebas de control de calidad a nivel laboratorio<sup>2</sup>.

## Capítulo III

### Materias Primas del Proceso de moldeo en Caja Fría

#### 3.1 Interacciones entre las materias primas utilizadas en el moldeo con arena químicamente unida.

Los moldes con arena químicamente unida con resinas están constituidos en un 98% de arena. Las mezclas de arena generalmente utilizan cantidades no mayores al 2% de resina (por ciento en peso sobre el peso de la arena), por lo que es preciso conocer las propiedades que definen a los materiales antes de utilizarlos para conocer el comportamiento que tendrán al mezclarse y así poder anticipar que tendrán un buen comportamiento cuando se encuentran mezclados.

En una buena práctica de moldeo con arena, se necesita que las materias primas, arena, resina, aditivos y catalizador, tengan un estricto control y un adecuado almacenamiento que no afecten o modifiquen las características finales del molde al mezclarlos.

En la arena se debe tener cuidado de no exponerla a contaminantes ambientales como tierra, arcillas o incluso agua, ya que estos contaminantes pueden provocar que el pH de la arena aumente. En la práctica se debe tratar de mantener el pH lo más neutro posible. La resina también se debe mantener adecuadamente almacenada en recipientes especiales para evitar posibles fugas o derrames y utilizar filtros que alejen las

formulaciones de la humedad. Tanto las arenas como las resinas deben de tener siempre líneas aisladas hasta el lugar de entrega para lograr un óptimo funcionamiento y obtener un molde o corazón con características consistentes<sup>4</sup>.

### **3.2.1 Definición y composición de las arenas para fundición.**

Existen muchos y muy diversos tipos de arenas sobre la superficie terrestre pero, pocas son las arenas que tienen características aceptables para su utilización en fundición. Una arena adecuada para utilizarla en fundición es aquella que mantiene sus propiedades físicas y químicas a temperaturas mayores a la del metal que se va a verter.

La arena puede definirse como un material compuesto por granos sueltos de materia mineral que varían en tamaño desde aproximadamente 2 a 0.05 mm (1/12 a 1/500 pulg.) en diámetro. Se debe notar que la definición de arena no hace referencia a la composición de los granos.

La mayoría de las arenas para fundición se componen amplia o totalmente de sílice ( $\text{SiO}_2$ ). En algunos casos los granos de sílice están asociados a diminutas cantidades de feldespato, mica y otros minerales comunes. Muchas arenas de fundición contienen pequeñas cantidades de minerales tales como ilmenita ( $\text{FeO-TiO}_2$ ), zirconio ( $\text{Zr-SiO}_4$ ) u olivina ( $\text{Mg-Fe}_2\text{-SiO}_4$ ). La olivina es un mineral natural que consiste de una solución sólida de ortosilicato de magnesio ( $\text{Mg}_2\text{-SiO}_4$ -forsterita) y un ortosilicato de hierro ( $\text{Fe}_2\text{-SiO}_4$ -fayalita). La composición de la olivina puede variar y sólo, la que tiene un elevado contenido de forsterita es útil como material de fundición. Una de las características principales de las arenas es su color, que depende de los minerales que contiene<sup>5</sup>.

### 3.2.2 Forma en que ocurren los depósitos de arena.

Los depósitos de arena para fundición son el producto de cambios en la superficie terrestre a través de los siglos por la acción del viento, el agua, el hielo y la nieve. La composición de los depósitos depende de la naturaleza de los materiales que fueron erosionados y la manera en que fueron depositados<sup>5</sup>.

Arenas de lago. Los ríos que fluyen sobre la superficie de la tierra pueden arrastrar una carga variable de minerales, la corriente rápida es capaz de acarrear materiales tanto finos como gruesos, la corriente lenta sólo puede transportar materiales finos, de esta forma, cuando un río entra en un lago la velocidad del agua disminuye y las partículas más gruesas se depositan primero, a continuación las medianas, en tanto que las partículas más finas son conducidas hasta aguas tranquilas. Por esta acción se clasifican los minerales cuando son depositados al ser arrastrados por una corriente de agua<sup>5</sup>.

Las arenas de sílice se acumularon por la deposición de arena a lo largo de las costas de los antiguos mares, en donde estos depósitos fueron enterrados bajo una capa gruesa de sedimento y posteriormente se consolidaron para formar piedra arenisca. El levantamiento y desplazamiento de la tierra en algunas áreas ha expuesto capas de piedra arenisca que afloran y surgen a través de la superficie de la tierra. Además, donde ha existido una fuerte erosión de los materiales que cubren la piedra arenisca, sólo queda una delgada capa que la cubre y permite la extracción de las arenas de sílice fácilmente.

Las arenas de lago son de origen geológico reciente y están compuestas de arenas producidas por erosión de rocas a lo largo de las orillas de los lagos, donde se han depositado para formar playas. Algunas arenas superficiales han sido desplazadas por el viento y en algunas áreas se les conoce como arenas de duna. Sin embargo, las dunas son parte del depósito de arena de un lago. Las arenas para fundición de diversos tipos se encuentran ampliamente distribuidas a través de la región de los grandes lagos en Norteamérica<sup>5</sup>.

Arenas de banco. Son el producto de la desintegración de piedra arenisca por la acción del tiempo. Estas arenas son esparcidas por el viento y cubren áreas extensas

amontonándose en forma de pequeños bancos. Las arenas de banco varían en pureza, dependiendo de los materiales extraños y minerales con los que se ha mezclado. En muchas áreas son de gran pureza y apropiados para su empleo en fundición<sup>5</sup>.

### 3.2.3 Constituyentes típicos de arenas sílicas tratadas.

Las arenas sílicas se caracterizan por tener una alta pureza y un comportamiento neutro. La mayoría de las partículas contenidas en las arenas son de naturaleza neutra, con la notable excepción de la olivina, las partículas contaminantes están contenidas en las arenas en un tamaño muy fino, en las mallas mayores al número de la serie 140 (106  $\mu$ m). Las arenas están compuestas casi en su totalidad de sílice, junto con esta se encuentran ciertos contaminantes que pueden ser benéficos para el momento de vaciar, algunos de los beneficios son reducción del carbón lustroso y control de los defectos por gases, estas mejoras se dan con los óxidos de hierro contenidos en la arena al poner en disposición oxígeno para las reacciones de descomposición de las resinas. Los constituyentes típicos de las arenas se pueden ver en la Tabla 3.1<sup>2</sup>.

Tabla 3.1 Constituyentes químicos típicos de arenas tratadas de lago y sílice tratadas <sup>2</sup> .		
	<b>Arena de Lago</b>	<b>Arena sílica</b>
% SiO <sub>2</sub>	94.122	99.880
% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.483	0.011
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.370	0.050
% K <sub>2</sub> O	0.110	0.003
% Na <sub>2</sub> O	0.760	0.007
% CaO	0.522	0.010
% MgO	0.240	0.003
LOI(pérdidas por ignición)	0.343	0.036
Temperatura de Fusión °C	1247	1718

### **3.3 Preparación de mezclas de arena para los ensayos.**

La base para todos los ensayos es la evaluación de las características de las mezclas de arena en forma normalizada y reproducible. El propósito de un ensayo es predecir el comportamiento de una mezcla durante la operación de colado.

Se ha cuestionado grandemente por la reproducibilidad de los resultados en los ensayos de arena, hay sectores que sostienen que es difícil obtener resultados consistentes por lo que cada prueba ha sido estudiada individualmente por la *American Foundrymen's Society* (AFS), la cual recomienda los siguientes puntos para obtener resultados confiables:

- 1) Las muestras de arena deben de ser siempre obtenidas bajo los mismos procedimientos establecidos.
- 2) Los ensayos sólo se podrán llevar a cabo bajo condiciones particulares bien detalladas.
- 3) El cuarto de ensayo debe estar libre de contaminantes.
- 4) Los ensayos deben de ser llevados a cabo por personal capacitado que se responsabilice de correlacionar la información obtenida en los ensayos<sup>5</sup>.

#### **3.3.1 Probetas estándar utilizadas en los ensayos de mezclas de arena para fundición.**

Existen diferentes probetas estándar utilizadas en los ensayos para mezclas de arena, la probeta más utilizada es la de tipo hueso de perro o guitarra (*dog bone*). La diferencia entre las probetas es apreciable a simple vista ya que comprenden formas y secciones muy diferentes. La probeta tipo guitarra se utiliza en los ensayos de resistencia a la flexión y a la tensión a alta temperatura. Existen pruebas especiales donde se utiliza una configuración similar pero con una sección reducida<sup>5</sup>.



Existen otros tipos de probetas como son la circular, utilizada en los ensayos de resistencia a la compresión y resistencia transversal. Otras configuraciones de probetas están ligadas al tipo de prueba a la cual se va a someter, como son las probetas rectangulares para pruebas de distorsión en caliente y la probeta cilíndrica utilizada en ensayos de colapsibilidad.

### **3.4.1 Métodos para determinar la finura de las arenas y su distribución de tamaño.**

La finura de una arena para fundición se determina por el tamaño y distribución de sus partículas. El objeto del ensayo es determinar el porcentaje de los diferentes tamaños de grano y la cantidad de arcilla en la arena si se encuentra contenida en la misma. El tamaño de grano de una arena es determinado mediante una prueba de análisis de malla y se denomina tamaño de grano AFS (*American Foundrymen's Society grain fineness number*, el AFS gfn). El AFS gfn y la distribución de mallas pueden ser calculados mediante esta prueba. Durante el análisis de malla, se toma una muestra representativa de arena y se coloca sobre un juego estándar de mallas. Una malla o criba es un tejido de alambre definido por el número de aberturas por pulgada lineal. Los números de las mallas y el tamaño de sus aberturas están dados en la Tabla 3.2. En tanto sea mayor el número de la malla menor será la abertura. Las mallas se colocan dentro de un instrumento giratorio excéntrico colocando la de mayor abertura en la parte superior. Se agita durante 15 minutos permitiendo que la arena migre a través de las aberturas de las mallas, después de transcurrido el tiempo, el retenido de cada malla se pesa y se calcula un promedio siendo éste el AFS gfn. El número de finura es aproximadamente el número de mallas por pulgada del tamiz que justamente dejaría pasar la muestra si sus granos fuesen de tamaño uniforme; es decir, el promedio sobre el tamaño de los granos de las muestras. Es aproximadamente proporcional al área de superficie por unidad de peso de una arena exenta de arcilla<sup>5</sup>. En la figura 3.1 se muestra el instrumento tipo excéntrico donde se coloca el juego de mallas donde se evalúa el AFS gfn y la distribución de mallas.

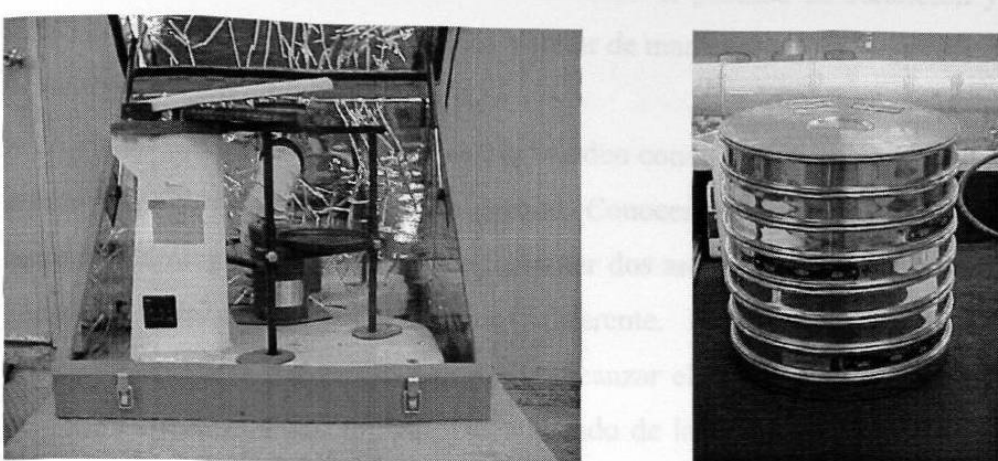


Figura 3.1 Instrumento tipo excéntrico Georg Fischer TM y su arreglo con las mallas USA Standard Testing Sieve para evaluar tamaño y distribución granulométrica en la arena.

El resultado del análisis indica si una arena es gruesa, mediana o fina. La arena es gruesa con AFS gfn menor a 45 y contenido de finos menor a 3%, la ventaja de este tipo de arena es que utiliza menor cantidad de resina para recubrir los granos, tiene mayor fluidez la mezcla y mejor permeabilidad de los corazones. La arena fina se considera con un AFS gfn mayor a 55 y un porcentaje de finos mayor a 7%, estos tipos de arena tienen una mayor área superficial lo que le otorga propiedades contrarias a las de una arena gruesa<sup>3</sup>. Los finos son las partículas contenidas en mallas mayores a la 140.

#### **3.4.2 Aplicación de los resultados de las pruebas de granulometría.**

La finura de la arena afecta algunas de las propiedades físicas que se pueden desarrollar en los corazones para fundición, entre estas están, resistencia, permeabilidad y así como el comportamiento en condiciones de humedad. La finura está relacionada también con la cantidad de material aglomerante a utilizar, así como con el aspecto del corazón y la textura que éste otorgará a la pieza fabricada. El ensayo es una herramienta

muy útil para obtener resultados consistentes en el proceso de fundición y como una forma de registrar resultados benéficos y tratar de mantenerlos.

En el ensayo de finura también se pueden conocer la distribución de grano de las arenas, no sólo el tamaño de los granos. Conocer la distribución de malla es una herramienta muy útil, ya que se pueden tener dos arenas con un mismo AFS gfn, pero con una distribución de grano muy diferente. La distribución de malla afecta principalmente a la resistencia que puede alcanzar el corazón, el acabado, así como su comportamiento a la penetración. Dependiendo de la distribución de malla presente en una arena se puede conocer el contacto entre los granos de arena<sup>6</sup>.

Tabla 3.2 Escala de las diferentes series de tamices <sup>3</sup> .						
U.S. Series Número equivalente	Tyler Screen Sieves (aberturas por pulg. lineal)	Aberturas (mm)	Aberturas (in) Razón de 1.1414"	Variación posible en aberturas (%)	Diámetro del alambre (Décimas de in)	Abertura de malla ( m)
4	4	4.699	0.1870	± 3	0.0650	4760
6	6	3.327	0.1320	± 3	0.0360	3327
8	8	2.362	0.0937	± 3	0.0350	2362
12	10	1.651	0.0661	± 3	0.0320	1651
16	14	1.167	0.0469	± 3	0.0250	1167
20	20	0.833	0.0331	± 5	0.0172	833
30	28	0.589	0.0232	± 5	0.0125	589
40	35	0.414	0.0165	± 5	0.0122	414
50	48	0.295	0.0117	± 5	0.0092	295
70	65	0.208	0.0083	± 5	0.0072	208
100	100	0.147	0.0059	± 6	0.0042	147
140	150	0.104	0.0041	± 6	0.0026	104
200	200	0.074	0.0029	± 7	0.0021	74
270	270	0.053	0.0021	± 7	0.0016	53

Las propiedades físicas de las arenas sólo pueden ser determinadas con ambas pruebas, análisis de granulometría y distribución de malla.

El ensayo puede utilizarse como guía para determinar la cantidad de materiales aglomerantes requeridos para producir las propiedades deseadas en una arena nueva y controlar las proporciones de material arcilloso, la cantidad de finos y la distribución apropiada de los tamaños de grano. El ensayo de finura también es una herramienta que muestra claramente en los sistemas que recuperan arena la cantidad de finos se crean al procesar la arena.

### 3.4.3 El área superficial en las arenas.

Las arenas que se utilizan en fundición son recubiertas con resina para provocar la unión de las mismas y formar corazones. La cantidad de aglomerante, tiempo y energía a utilizar para realizar esta operación está relacionada con el área superficial de las arenas. En la Tabla 3.3 se muestra como existe un sustancial incremento de área con el decremento del tamaño de las arenas<sup>5</sup>.

Tabla 3.3 Relación entre el tamaño de malla y el área superficial de las arenas <sup>3</sup> .		
Tamaño de grano (malla)	Área superficial (in <sup>2</sup> /lb.)	Área superficial (mm <sup>2</sup> /kg)
40	4300	13.52
50	6100	19.18
70	8600	27.04
100	12000	37.73
140	17000	53.45
200	24000	75.45

Se supone que arenas finas dan resistencias bajas a los moldes y corazones, debido al incremento de área superficial por lo tanto aumenta la cantidad de resina necesaria para llegar a las mismas resistencias que dan las arenas de granulometrías inferiores. Algunos investigadores han encontrado resultados contrarios a esta observación concluyendo que puede existir un aumento en la resistencia en arenas con granulometría fina al encontrarse más compactada<sup>3</sup>.

#### 3.4.4 Clasificación de la forma de grano según norma AFS.

Para describir las formas de grano se han adoptado los términos redondeado, subangular, angular y compuesto, figura 3.2. Un depósito de arena puede estar compuesto de un solo tipo de forma de grano de arena o una combinación de varios.

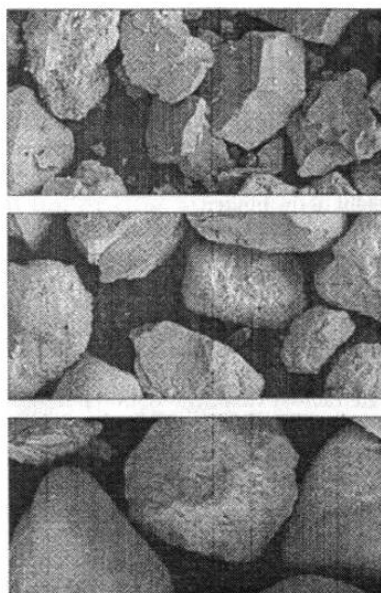


Figura 3.2 Clasificación de los granos de arena según su forma , arriba grano tipo angular, en medio grano tipo subangular, abajo grano tipo redondeado<sup>5</sup>.

La forma de grano afecta las propiedades físicas de los moldes<sup>5</sup>. Una arena con forma redondeada de grano requiere menores cantidades de aglomerante, comparada con las arenas que tienen forma angulares debido a que las arenas redondeadas tienen menor

área superficial, las arenas de forma redondeada también fluyen mejor y con esto conforman moldes y corazones más densos. Las arenas angulares son las de menor uso dentro de las fundiciones, ya que presentan muchos problemas de rompimientos de corazones por la configuración del grano además las arenas de forma angular tienen la desventaja de que los corazones muestran baja permeabilidad al acomodarse las partículas de una forma tal que obstruyen la salida de los gases de combustión de la resina.

#### **3.4.5 Valor de demanda ácida y prueba de pH.**

Las pruebas del valor de demanda ácida (ADV) y pH son otros dos ensayos que indican que hay impurezas que se encuentran en la arena. La prueba del ADV determina la cantidad de elementos alcalinos solubles en ácido. La prueba de pH indica la cantidad de elementos alcalinos solubles en agua. La arena alcalina (ADV mayor a 7 y pH mayor a 8) da menor vida de banco debido a que los componentes alcalinos neutralizan una porción de la resina y aceleran drásticamente la reacción entre las dos resinas. Los factores que pueden hacer que aumente el pH y el ADV de la arena son alto contenido de partículas finas contenidas en malla 270 o al fondo, en esta malla se concentran las arcillas y los finos que son de naturaleza básica. En la recuperación térmica de la arena se generan componentes alcalinos que se van acumulando en cada reciclaje de la arena y provoca el aumento de ADV y pH por lo que es necesario monitorear para tener un control de ambos.

#### **3.4.6 Efecto de la humedad en la arena.**

La presencia de agua en las materias primas es uno de los más grandes problemas que se deben evitar para conseguir un desarrollo de resistencia adecuado en los moldes y corazones y mantener la vida de banco. La presencia de humedad en la arena mayor a 0.2% disminuye la vida de banco y resistencia del corazón debido a que una

parte de la resina reacciona con el agua y degrada sus propiedades. Las fuentes de contaminación por agua pueden ser por condensación en los serpentines del sistema de enfriamiento de la arena, silos o tolvas de almacenamiento mal aisladas, alta humedad ambiental en período de lluvias o depósitos de aditivos y resina mal sellados, la figura 3.3 muestra el efecto de la humedad en la resistencia a la tensión<sup>7</sup>.

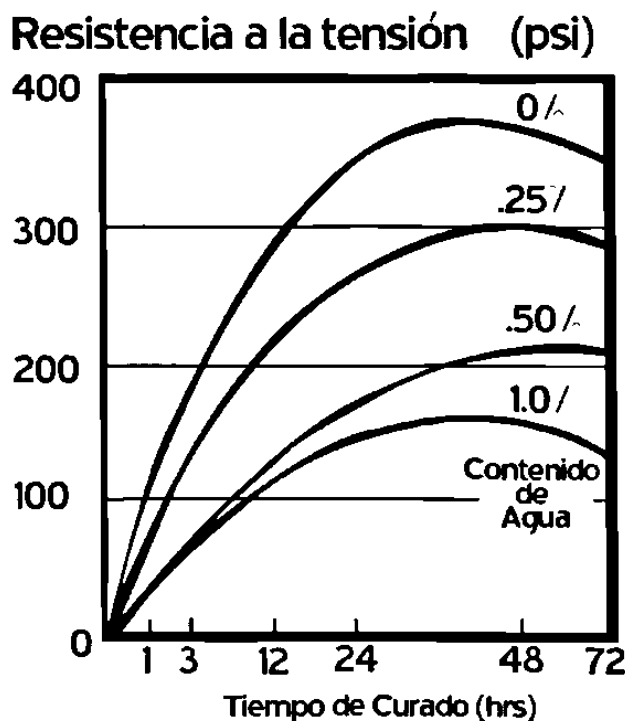


Figura 3.3. Efecto de la humedad en el desarrollo de la resistencia a la tracción<sup>2</sup>.

### 3.4.7 Permeabilidad en las mezclas de arena y resina.

El ensayo de permeabilidad mide la habilidad para que una mezcla de arena recubierta permita el paso de los gases a través de la misma. La compactación de la arena depende de la presión de soplado al conformar el corazón o molde. Se puede ver que los sistemas que utilizan arenas de granulometría muy fina tienen como característica perjudicial el tener una permeabilidad muy baja aunque la calidad superficial de los moldes aumenta en gran medida. El ensayo de permeabilidad no es un

ensayo que se utilice frecuentemente como modo de control de la calidad de las arenas debido a la pobre repetición de resultados que se encuentra en el ensayo.

#### **3.4.8 Temperaturas en las mezclas arena-resina.**

Cuando las materias primas de los moldes se encuentran mezcladas se debe tener un control de la temperatura a la cual se encuentran dentro del proceso, un intervalo ideal sería el comprendido entre los 18 y 26 °C. Este control es debido a que a una temperatura mayor a 30°C la reacción entre las resinas se acelera y se acorta en gran medida la vida de banco. La arena con temperatura inferior a las 15°C retarda la reacción entre los componentes de las mezclas provocando corazones sin curar. No tener un control de temperatura y no mantenerla en este intervalo provoca la inconsistencia en el proceso<sup>8</sup>.

#### **3.4.9 Características térmicas de la arena sílice.**

Las arenas de uso más difundido son las que están constituidas mayormente por sílice. Estas arenas tienen un cierto número de desventajas en el moldeo debido a sus propiedades térmicas con respecto a otro tipo de arenas que ofrecen características importantes al momento de utilizarse en los moldes. Estas arenas son las de zirconio, la de cromita y la de olivina.

La característica más importante de estos materiales es que tienen una conductividad térmica mucho mayor que la que presenta la sílice y una menor expansión térmica, lo que al momento de vaciar el metal ayuda a que no se presenten defectos relacionados con la distorsión del molde. En la Tabla 3.4 se presentan las características físicas principales de estas arenas comparadas con la de sílice. El uso de la sílice se justifica por el precio que tiene a comparación de los demás materiales además que esta disponible en una amplia gama de granulometrías<sup>9</sup>.



Tabla 3.4 Propiedades de las arenas comparadas con la arena sílica <sup>11</sup> .				
Propiedad	Sílica	zirconio	Cromita	Olivina
AFS gfn	60	102	74	65
Forma de grano	Redondeado	Redondo	Angular	Angular
Gravedad específica	2.65	4.66	4.52	3.30
Expansión térmica 20-1200°C	1.90% No lineal	0.45%	0.60%	1.10%
Aplicación	General	Resistencia a altas temperaturas	Resistencia a la penetración	Aceros al Manganeso

La arena sílice tiene una alta expansión térmica, la cual puede dar lugar a defectos en las piezas tales como problemas dimensionales, penetración de metal, grietas y escamas.

Hay que notar que la conducción térmica de la arena de sílice es muy baja por lo que el calor se concentra sólo en una pequeña capa del molde, la que se encuentra más cerca del contacto con el material y ésta causa una expansión térmica hasta cierta profundidad, en tanto que el material que se encuentra detrás no, provocando una expansión no homogénea, que es la que puede causar problemas al momento de vaciar<sup>11,12</sup>.

#### 3.4.10 Pérdidas por ignición.

La prueba de pérdidas por ignición (LOI por sus siglas en inglés) es un ensayo que se utiliza para determinar el porcentaje de materiales orgánicos que se encuentran en la arena. Este ensayo se utiliza con arena nueva, recubierta o recuperada. Típicamente este ensayo se corre tomando una muestra de arena de entre 4 y 6 gramos y se expone

durante una hora a 980°C. El LOI se registrará como el porcentaje de cambio de peso de la arena después de transcurrir el tiempo a alta temperatura. Este ensayo tiene gran utilidad para tener un control del proceso de recuperación de la arena y conocer que tan eficiente es el proceso de recuperación de arena<sup>3</sup>.

### **3.5 Parte química, sistemas de mezclas.**

Desde la introducción de los sistemas fenólicos-uretánicos, estos han constado de tres partes; Una resina fenólica modificada, parte I, un poli-isocianato, parte II y una amina terciaria, parte III que es utilizado como catalizador. Cada resina consta de diferentes componentes. La resina parte I contiene la parte fenol-formaldehído, solventes y aditivos. La resina fenol-formaldehído constituye del 45 al 60% dentro de la parte I.

La resina parte I controla las características de resistencia a la tensión y resistencia en caliente en el sistema fenólico-uretánico. Los solventes constituyen de un 40 a 60% de la parte I y variarán sus contenidos según los tipos. Los solventes son mezclas complejas de alto punto de ebullición de hidrocarburos aromáticos, en general el propósito de los solventes es disolver la resina para disminuir la viscosidad y facilitar su manejo.

Una resina fenol-formaldehído por sí sola tiene una viscosidad muy elevada que impide su utilización, por lo tanto los solventes ayudan a reducirle la viscosidad a un nivel en el que pueda ser utilizada.

Otra característica de los solventes es que no deben de interferir en la reacción subsiguiente con la parte II. Los aditivos, si están presentes, constituyen del 1 al 5% y son ingredientes utilizados para mejorar el desmoldeado y la resistencia a la humedad.

La parte II esta constituida por el isocianato de MDI polimérico, solventes y aditivos. MDI son la siglas para designar al *Methylene Diphenyl Disocyanate*, propiamente llamado Difenilmetano de isocianato que se produce de la anilina y el formaldehído en una reacción de condensación que produce una mezcla compleja de poliaminas las cuales reaccionan químicamente para obtener una mezcla de poliisocianato. Este producto es el que se conoce como el MDI polimérico. El grupo de isocianato es el que le da gran utilidad a la molécula obtenida, ya que puede reaccionar con un grupo hidroxilo activo, tal como el de la resina fenol-formaldehído, contenido en la parte I para formar un uretano. Se debe evitar la reacción entre las partes I y II en presencia de agua, ya que el resultado sería una poliurea, que no es un compuesto tan fuerte como el que se lograría si se obtuviera una resina uretánica<sup>13</sup>. La parte II reacciona en su componente isocianato contenido(R-N=C=O) con el agua de acuerdo a la reacción (1):



Los productos resultantes son una amina orgánica y dióxido de carbono, lo que reduce la eficiencia en la reacción a medida que este progresa<sup>7</sup>.

Las propiedades de resistencia a la tensión y en caliente, que dependen de la parte I, son reducidas drásticamente cuando agua o humedad entran en contacto con el sistema.

La resistencia a la humedad, desarrollo de resistencia, resistencia en caliente, contenido de nitrógeno y características de flexión varía según el tipo de isocianato utilizado. El contenido de MDI puede variar en la parte II de 60 a 80%. Los solventes utilizados en la parte II también sirven para disolver y no interfieren con su reacción con la parte I y constituyen de un 20 a un 40%. Los aditivos en la parte II se emplean para mejorar el desmoldeado, incrementar la resistencia a la humedad y mejorar la vida de banco, los aditivos, sí están presentes se utilizan del 1-10% de la parte II<sup>13</sup>.

Para obtener un corazón o molde las dos partes se llevan junto con la arena para mezclarse y posteriormente soplar dentro de una caja para reproducir un modelo. Para acelerar las reacciones entre las dos resinas se utiliza un catalizador. Los catalizadores vaporizados curan los dos componentes de la resina instantáneamente cuando pasan a través del molde o corazón. Los posibles catalizadores químicos son llamados aminas terciarias, como es la TEA trietilamina y la DMEA dimetiletilamina. La TEA es destinada para grandes volúmenes de producción y donde el olor que se desea sea menos ofensivo, tiene un mayor punto de ignición que la DMEA. La DMEA es también para grandes volúmenes de producción pero utiliza como gas acarreador  $N_2$  o  $CO_2$ . La TEA necesita 7.8 veces más gas inerte o aire para repartir la misma cantidad de amina para los corazones, por lo tanto la DMEA es más reactiva pero es mucho más costosa<sup>13</sup>.

### Peso Molecular- Las Bases para una util propiedad mecánica

#### Propiedades

Resistencia de Tensión  
Resistencia de Comprensión  
Resistencia a la Flexión  
Extensibilidad  
Dureza  
Resistencia al Impacto

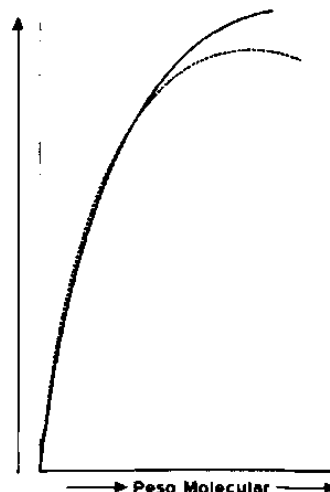


Figura 3.4 Relación entre las propiedades mecánicas de un sistema de resinas y el peso molecular.

Al reaccionar las parte I y la II en presencia del catalizador se da un proceso de polimerización entre las dos resinas, transformándose la mezcla de estado líquido a sólido. Al ser curadas la resinas se da un fenómeno de entrecruzamiento que es el que

otorga las propiedades mecánicas al polímero. En la figura 3.4 se puede ver como conforme avanza el peso molecular de una resina las propiedades mecánicas mejoran<sup>14</sup>.

### 3.5.1 Pruebas realizadas a las resinas.

Las resinas al ser materiales altamente reactivos, deben tener un estricto control para poder conseguir que muestren resultados consistentes al momento de utilizarlas para producir moldes y corazones para fundición, en la Tabla 3.5 se enlistan los tipos de pruebas que se realizan, así como las características que se evalúan en cada una de las resinas. Estas pruebas se utilizan para garantizar que las características de las resinas se encuentren dentro del nivel que les permita ser utilizadas, pero no se utilizan como control de calidad de las mismas.

Tabla 3.5 Pruebas realizadas a los sistemas de resinas.	
Prueba	Resultado que proporciona
Índice de refracción	Indica el nivel y tipo de solvente contenido en la resina.
Gravedad específica	Avance de peso molecular, tipo y nivel de solvente.
Apariencia	Claridad, separación de capas y color.
Prueba de gelado	Reactividad del sistema.
Termogravimetría	Cantidad de materiales volátiles de bajo peso molecular y alto peso molecular y compuestos no volátiles.
Viscosidad	Cambios en peso molecular, grado de desmoldeado, nivel y tipo de solvente.

### 3.5.2 Importancia de las características de las resinas.

Como los tiempos de almacenamiento de las resinas fenólicas son prolongados (hasta un año), se debe de tener un conocimiento de las principales características de la resina que influyen sobre la calidad en su utilización.

Viscosidad. La viscosidad de los sistemas de resina es un factor que se debe de tomar en cuenta, ya que una alta viscosidad puede ocasionar problemas al momento de mezclar las dos partes de la resina. Tener una viscosidad adecuada ayudará a que las resinas puedan recubrir total y más fácilmente los granos de arena al momento de mezclarse. La viscosidad está relacionada con algunos factores como son el peso molecular y el índice de polidispersidad<sup>15</sup>.

Relación entre viscosidad y peso molecular promedio. La viscosidad en un sistema polimérico es directamente influenciada por el peso molecular promedio (Mn). A mayor viscosidad mayor Mn, lo anterior se basa en que una macromolécula ofrece mayor resistencia a ser desplazada que una molécula de menor tamaño<sup>15</sup>.

Relación entre viscosidad y el índice de polidispersidad. Este es otro factor importante que influye sobre la viscosidad de un sistema de resinas, el índice de polidispersidad (IP) puede variar a pesos moleculares idénticos. Un valor de IP de 1 indica que el polímero es monodisperso o sea sus moléculas son de un mismo tamaño mientras un valor alejado de la unidad indica que es un polímero polidisperso, es decir existen una gran cantidad de moléculas de diferentes tamaños, si los dos polímeros tiene un mismo Mn y diferente IP la viscosidad podrá ser diferente dependiendo del tamaño de moléculas que prevalezca en cada sistema polimérico<sup>15</sup>.

### **3.6 Pruebas realizadas a los moldes y corazones con arena químicamente unida.**

Las pruebas que se utilizan para controlar un proceso donde se utiliza un aglomerante químico se realizan en menores cantidades en comparación a un sistema de moldeo en verde. Los procedimientos utilizados son muy claros y están normalizados por la *American Foundrymen's Society* (AFS). En los siguientes apartados se hablará de estas pruebas, su procedimiento y el alcance que se puede tener con los resultados.

#### **3.6.1 Prueba de resistencia a la tracción.**

La resistencia a la tracción de una mezcla de arena de moldeo es la resistencia máxima que la mezcla es capaz de soportar cuando se le prepara y ensaya. Esta es la prueba más difundida y la más utilizada como parámetro de control del proceso. Es un ensayo que se realiza rápidamente a nivel laboratorio. Este ensayo no tiene una aplicabilidad muy amplia y la interpretación de los resultados debe ser muy estricta. Esta prueba ha sido correlacionada de buena manera con la resistencia transversal y la dureza al rayado por algunos investigadores<sup>16</sup>.

Con este tipo de prueba se puede tener un control al mínimo de las características que se necesitan en los moldes o corazones, sin embargo intentar un control al máximo no es posible.

La prueba se realiza tomando arena ya sea directamente de los mezcladores utilizados en proceso o realizando una mezcla a nivel laboratorio y soplando la probeta tipo guitarra en un equipo especialmente diseñado para obtener tres probetas y ensayarlas. El ensayo se debe de realizar a diferentes tiempos de vida de banco para conocer el desarrollo de resistencia. El equipo donde se soplan las muestras y la máquina de ensayo se muestran en las figuras 3.5 y 3.6 respectivamente.

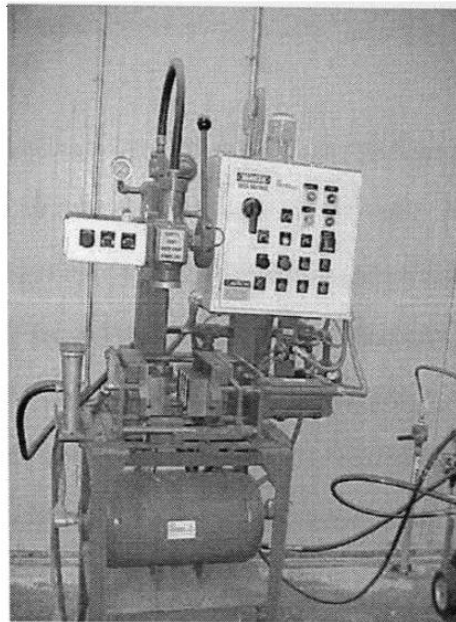


Figura 3.5 Máquina sopladora de especímenes Redford Carver TM Mod. HBT con marcadores de tiempo para regular los ciclos de soplado, inyección de amina y purgado.

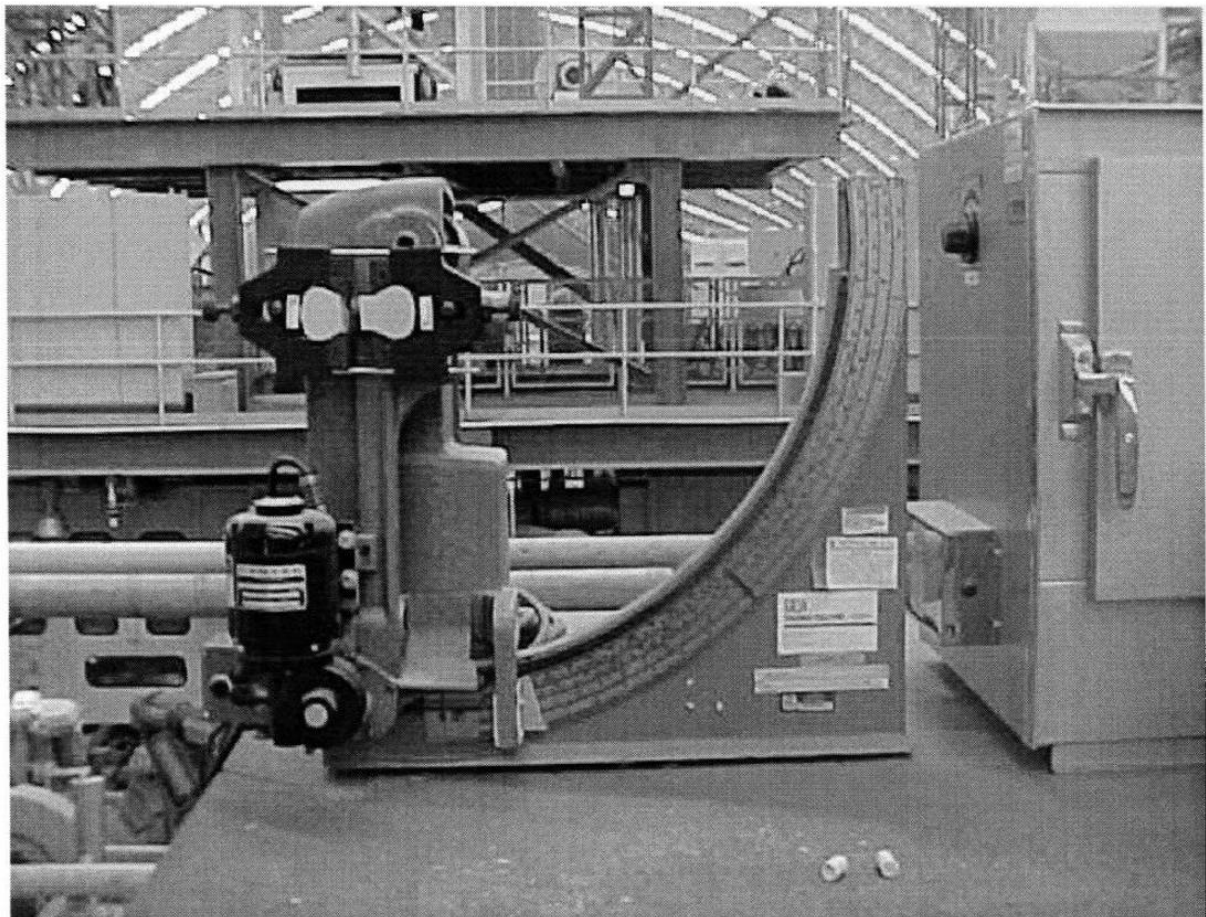


Figura 3.6 Tipo de instrumento de peso muerto Georg Fischer TM, accionado por motor, para determinar la resistencia a la tensión de probetas de arena químicamente unida.



### 3.6.2 Resistencia transversal.

La resistencia transversal es una excelente alternativa para llevar a cabo un control de proceso. Los resultados de esta prueba pueden ser más fácilmente aplicados al proceso ya que el comportamiento de los moldes es generalmente en compresión y no en tensión, por esto la ventaja de este ensayo. Este ensayo utiliza probetas de sección delgada. El hecho que se tenga un espesor delgado de la probeta refleja más apropiadamente como será el comportamiento de los moldes o corazones al existir en configuraciones complejas y delgadas como se presentan en la mayoría de los productos.

### 3.6.3 Dureza de la superficie de los moldes de arena.

La dureza con la cual se apisona o sopla un molde afecta casi todas las propiedades físicas de los moldes de arena, resistencia, deformación, tenacidad, permeabilidad, densidad, resistencia en caliente, expansión y contracción.

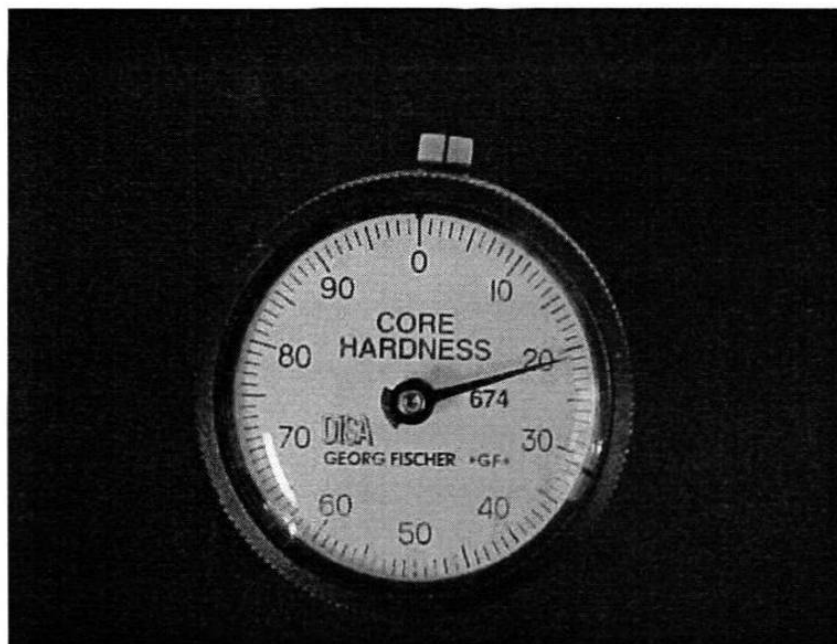


Figura 3.7 Instrumento Georg Fischer Mod. 674 TM para medición de dureza por rayado rotatorio.

La dureza de la superficie de un molde, es la resistencia que ofrece a la penetración de un indentador bajo carga.

El instrumento para determinar este tipo de dureza debe medir la profundidad de penetración de un indentador cuya carga sea aplicada a la superficie del molde en un ángulo de 90 grados. El instrumento de medición debe estar equipado con un dispositivo indicador que registre la penetración del indentador en milésimas de pulgada y se muestra en la figura 3.7. La ventaja que se obtiene con el uso de probador de durezas es la de normalizar el grado de apisonado. La dureza puede ser regulada por un ajuste apropiado de la máquina y del proceso de moldeo<sup>5</sup>.

#### **3.6.4 Evolución de gases.**

La cantidad de gas generado en el interior de un corazón o molde de arena durante el proceso de hornado, colado y solidificación es una característica importante que se debe conocer para obtener piezas con un mínimo de defectos<sup>10</sup>.

Los corazones producidos en caja fría generalmente muestran una menor tendencia a producir defectos por gases que los demás procesos de moldeo con arena unida químicamente. El contenido de gas de un corazón hornado o de un material de moldeo puede determinarse volumétricamente calentando una muestra de arena previamente pesada dentro de un tubo sellado del cual se remueve el oxígeno y al cual se le ha conectado una bureta para la apropiada medición del gas.

El empleo de gas neutro para formar la atmósfera alrededor de la muestra de arena hace que este ensayo difiera por completo de los ensayos de pérdida por ignición.

La figura 3.8 muestra los niveles de producción de gases de algunos sistemas de aglomerantes orgánicos.

Del gráfico de la figura 3.8 se ve que los sistemas de caja fría son los que muestran menor producción de gases con menor proporción de aglomerante. Si se utilizan

menores contenidos de aglomerante la producción de gases deberá disminuir proporcionalmente<sup>17</sup>.

Como sucede en todos los sistemas de aglomerantes orgánicos, los gases liberados por los corazones de caja fría, contiene nitrógeno e hidrógeno que pueden ser disueltos en el metal. Utilizar una relación a favor del a parte I de resina, 60/40, 55/45, ayuda a disminuir la cantidad de evolución de nitrógeno y elimina porosidades en las piezas fundidas con metales ferrosos, Figura 3.9.

### Evolución de gases de algunos sistemas de resinas 980° con los contenidos de resinas típicos.

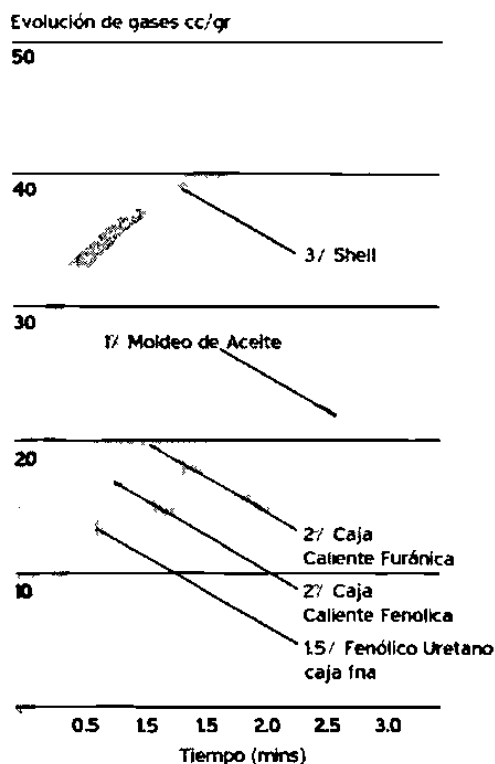


Figura 3.8 Nivel de gas típico de algunos sistemas de resinas<sup>17</sup>.

Cuando se tiene formación de porosidades sub-superficiales por la evolución de gases, es práctica común utilizar óxido de hierro en adiciones de hasta 0.25% en peso de la arena con efectos favorables. Algunas arenas que tienen óxido de hierro en sus componentes, han demostrado que no presentan problemas por formación de porosidades sub-superficiales en las piezas fundidas.

En el caso de aleaciones ligeras tales como aluminio y magnesio, la adición de inhibidores tales como fluoroborato de amonio, azufre y fluoroborato de potasio, en cantidades de hasta 1%, han dado resultados positivos en lo que a eliminación de porosidades sub-superficiales se refiere.

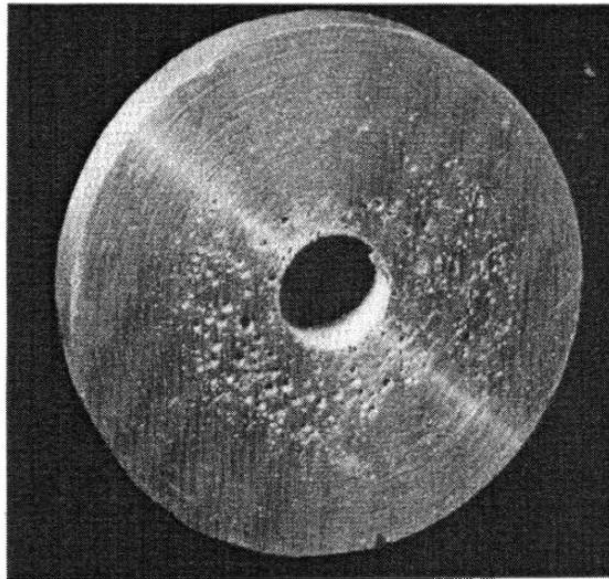


Figura 3.9 Aspecto de una pieza fundida con problemas de porosidad, debido a un elevado contenido de resina <sup>11</sup>.

En resumen, las materias primas utilizadas en el proceso de moldeo fenólico-uretánico en caja fría son parte altamente influyente en la elaboración de los moldes y corazones. La selección de estos materiales debe de considerar factores que no pueden ser controlados dentro del proceso como es la temperatura ambiente y la humedad relativa.

Una vez seleccionada la materia prima a utilizar en el proceso se deben monitorear constantemente los cambios que pueda sufrir con el tiempo, así como la influencia de las condiciones ambientales sobre la misma.

# Capítulo IV

## Proceso de Moldeo en Caja Fría

### 4.1 Proceso de moldeo de caja fría fenol-uretano.

El proceso Fenólico/Uretano/Amina es un proceso donde el curado de los moldes y corazones se realiza poniendo la mezcla de resina con arena en contacto con la superficie de un modelo para reproducir con exactitud las impresiones y asegurando la resistencia sin el uso de calor externo. En el curado se utiliza un catalizador que pasa a través de la mezcla de arena compactada provocando la reacción de curado instantáneamente.

### Reacción Química en el sistema fenólico uretano en caja fría

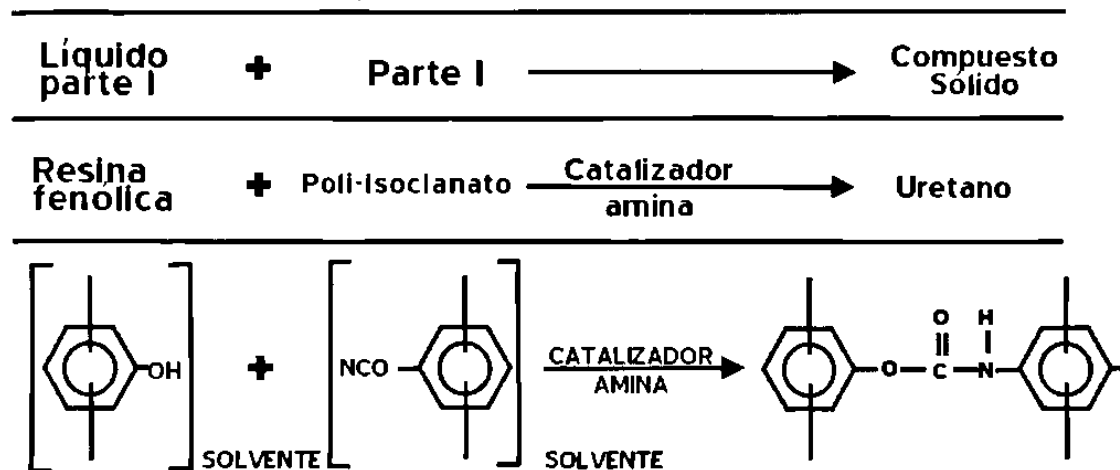


Figura 4.1 Reacción típica en el proceso fenólico-uretánico en caja fría<sup>2</sup>.

En el proceso Fenólico/Uretano/Amina el paquete químico utiliza tres componentes, una resina fenólica disuelta en solventes (parte I) y una resina de isocianato disuelta en solventes (parte II). El tercer componente es el catalizador que es el promotor de la reacción, figura 4.1<sup>2</sup>.

#### **4.1.1 Consideraciones sobre el control de las variables en el proceso fenólico-uretánico en caja fría.**

En la figura 4.2 se puede ver los pasos principales del proceso para producir moldes y corazones por el sistema de caja fría. El proceso se realiza dentro de aparatos denominados mezcladoras y sopladoras.

Las máquinas más utilizadas en el ámbito industrial para la elaboración de corazones de arena son conocidas como sopladoras. El ciclo de operación de estos equipos es de tres etapas básicas<sup>18</sup>.

- Soplado.
- Curado: gaseado y purgado
- Extracción

Etapa de soplado. Es la primera etapa del ciclo de operación de la máquina, en la cual se lleva a cabo la formación del corazón mediante la introducción de la mezcla arena-resinas dentro del molde previamente sellado.

Etapa de curado. Es la segunda etapa del ciclo de operación de la máquina, la cual consta de dos operaciones principales, gaseado y purgado, cuya ejecución dará al corazón la dureza y consistencia requerida para su manejo hasta la fase de moldeo.

La operación de gaseado consiste en la inyección del gas catalizador a la caja de corazones a través del múltiple de gas con el fin de acelerar el proceso de curado.

Después de la operación de gaseado continúa la operación de purgado, que consiste en la inyección de una corriente de aire a través del mismo múltiple de gas para asegurar la correcta penetración del catalizador en el corazón, así como la extracción de la caja de corazones.

Etapa de extracción. Es la tercera y última etapa del ciclo de operación de la máquina, sirve para extraer el corazón del interior de la de la caja de corazones<sup>19</sup>.

## Arreglo del proceso caja fría

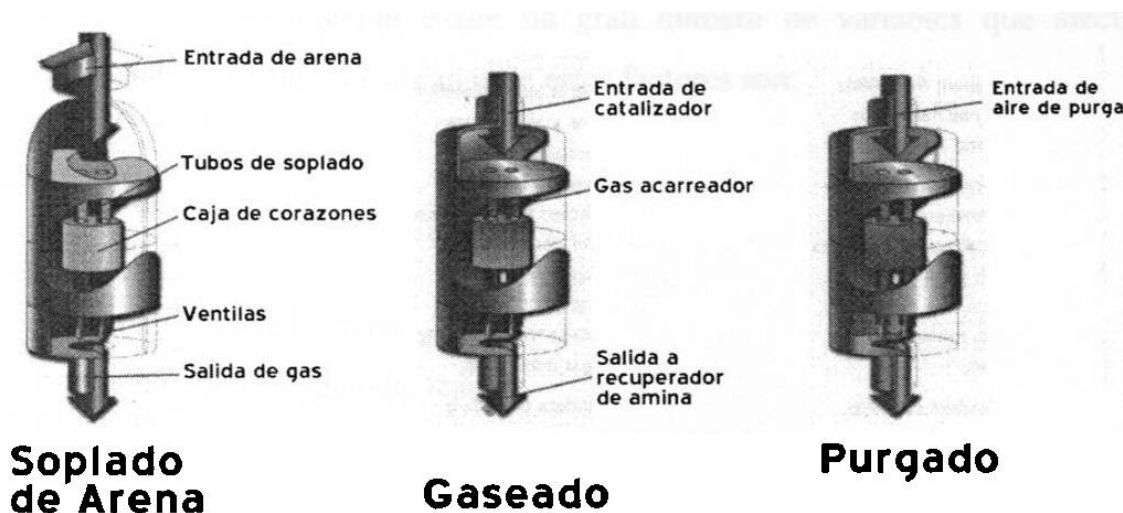


Figura 4.2 Representación esquemática del proceso fenólico-uretánico en caja fría<sup>20</sup>.

El exceso de catalizador se purga a través de un colector de extracción (scrubber) y posteriormente se elimina, ya sea por combustión o por neutralización química.

Los componentes líquidos del proceso de caja fría tienen una formulación especial de baja viscosidad que permiten el fácil bombeo y producen junto con la arena



una mezcla muy fluida. Al reaccionar las dos partes de resina se produce un sólido uretánico que es el que une los granos de arena entre sí.

#### **4.2 Mezclado de la arena con la resina.**

Al ser las resinas componentes de baja viscosidad, su mezcla con la arena es muy efectiva y fácil de conseguir utilizando cualquier tipo de mezcladores.

El mezclador utilizado debe de proveer el mínimo calentamiento de la arena al realizar su función y debe ser de dimensiones tales que produzca cantidades que puedan ser consumidas rápidamente en el proceso.

En los procesos de fundición existe un gran número de variables que afectan el comportamiento de la mezcla, algunos de estos factores son:

- a) Tipo de mezclador.
- a) Tipo de arena.
- b) Temperatura de la arena.
- c) Relación de contenido de resina.
- d) Porcentaje de resina en la mezcla.

En el proceso la práctica usual es agregar las resinas parte I y parte II simultáneamente dentro del mezclador, si el sistema consiste de resinas premezcladas éstas deben de tener un consumo inmediato ya que alcanzan a reaccionar entre sí lentamente en ausencia de catalizador.

Las resinas deben de utilizarse a una temperatura lo más cercana a la temperatura ambiente, ya que a baja temperatura la viscosidad de la parte I aumenta, dificultando su bombeo. Al transportar la mezcla de arena se debe de evitar su exposición al aire para evitar la evaporación de los solventes (componentes de las resinas) a la vez que se debe

de evitar la contaminación de la mezcla de arena con humedad, arena seca, cereales u otros tipos de arena<sup>20</sup>.

Las piezas que se fabrican con el proceso son llamadas moldes o corazones, el término corazón es utilizado para identificar la parte que formará una cavidad o hueco en el interior de una pieza fabricada a base de un metal fundido, vaciado y solidificado.

### 4.3 Clasificación de los corazones para fundición.

Los corazones para fundición se clasifican en dos tipos atendiendo a los materiales con que son fabricados: corazones metálicos y corazones de arena. En base a la complejidad de la configuración que se requiera en la pieza y las condiciones de trabajo, los corazones tanto metálicos como de arena, se dividen en cinco clases, figura 4.3<sup>19</sup>.

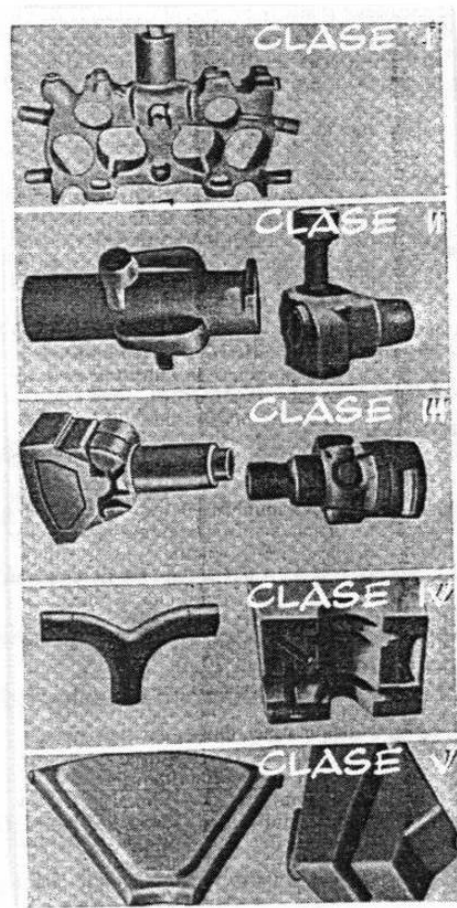


Figura 4.3 Clasificación de los corazones según su configuración<sup>19</sup>.

Clase I. Son corazones de configuración complicada que crean en la pieza solidificada cavidades que no se podrían labrar; se aplican a cavidades en las que se requiere un excelente acabado superficial

Clase II. Son corazones de configuración complicada que, además de partes gruesas, tienen salientes delgadas.

Clase III. Son corazones de complejidad media, sin partes muy delgadas. Estos corazones hacen cavidades en la pieza de elevadas características superficiales.

Clase IV. Son corazones de configuración que crean en la pieza superficies de rugosidad considerable. Se aplican en condiciones donde el acabado superficial no requiera especial atención.

Clase V. Son corazones gruesos que forman grandes cavidades en piezas de gran tamaño.

#### **4.4 Métodos de llenado de las cajas de corazones.**

Al tener la mezcla de arena y resina gran fluidez, se pueden utilizar diferentes métodos para llenado de las cajas de corazones, aún configuraciones difíciles como esquinas se llenan fácilmente en este proceso. La buena compactación del corazón da mejores propiedades de acabado a las piezas fundidas y se mejoran significativamente las propiedades de resistencia .

La presión de soplado a la cual opera la máquina es determinante para la calidad del macho. Presiones bajas dan corazones de baja densidad, presiones muy altas dan como resultado adherencia del corazón a la caja al conducir la resina a la capa externa del corazón y provoca adherencia con la caja, múltiples capas generalmente se forman a

la salida de los tubos de llenado al ser la fuerza de soplado muy grande al impactarse los granos de arena contra las paredes la resina se les desprende y se pega en la pared formando una capa acumulativa, la formación de esta capa causa dos problemas principalmente, dificultad para el desmoldeado y corazones rotos.

#### 4.5 Materiales de construcción de las cajas de corazones.

Al ser el proceso de caja fría llevado a temperatura ambiente, los materiales de construcción de las cajas de corazones no tienen que ser necesariamente metálicos, como es el caso de los procesos que utilizan calor para su curado.

El hierro gris es el material más comúnmente utilizado, pero también se utilizan otros materiales como el aluminio, epoxi, uretano y madera, resultando con menores costos.

Las cajas metálicas tienen un alto costo inicial de construcción, pero tienen una gran resistencia a los solventes, al rayado y al deterioro en general. Las características de las cajas de corazones mayormente empleados en la industria se enlistan en la Tabla 4.1<sup>20</sup>.

Tabla 4.1 Vida útil de algunas cajas de corazón construidas con diferentes materiales<sup>20</sup>.

	Ciclos de soplado	Resistencia a solventes	Extracción de corazón
Hierro gris	70 000	Excelente	Excelente
Aleación de Al	4 000	Excelente	Buena
Epoxi laminado	60 000	Buena	Regular
Madera barnizada	2 000	Pobre	Regular

Para aumentar la vida de las cajas de aluminio y epoxi, se les suele recubrir con una capa de níquel.

#### **4.6 Tubos de soplado y vientos.**

Cuanto mayor es el corazón mayor debe ser el diámetro de los tubos de soplado. El uso de tubos de soplado de mayor diámetro da como resultado que el corazón pueda soplarse con éxito utilizando bajas presiones y, por lo tanto, bajas velocidades de entrada de la mezcla de arena.

El dimensionado y la ubicación de los tubos de soplado, dependen principalmente de la configuración del corazón. El soplado de la mezcla de la arena dentro de la cavidad requiere que la arena se desplace perpendicularmente a la dirección del tubo de soplado. Los tubos deben de estar siempre colocados sobre la sección más profunda y densa del corazón y no sobre superficies planas o inclinadas de la caja. La velocidad de curado del corazón depende de la relación del área de entrada al área de salida de los gases que debe ser aproximadamente de 1: 0.7. En ningún caso el área de salida debe ser mayor al área de entrada.

La colocación estratégica de los vientos determina que el catalizador pase a través de todas las secciones del corazón<sup>13</sup>.

#### **4.7 Efecto del porcentaje de resina en las propiedades de los corazones.**

El porcentaje de aglomerante que se utiliza está relacionado con la resistencia que se desea imprimir al corazón en el momento que se extrae de la caja de corazones<sup>20</sup>. Los moldes o corazones al momento de ser extraído desarrollan aproximadamente un 60% de su resistencia total. Un esquema de cómo aumenta la resistencia con el tiempo es observado en la figura 4.4. El proceso fenólico-uretánico en caja fría se distingue por los bajos porcentajes de aglomerante utilizados.

El usar cantidades mínimas de aglomerante otorga ciertos beneficios como son:

- a) Menor producción de gases durante la fusión.
- b) Menor tendencia a adherirse los moldes o corazones a la caja de corazón.
- c) Facilita el desarenado.

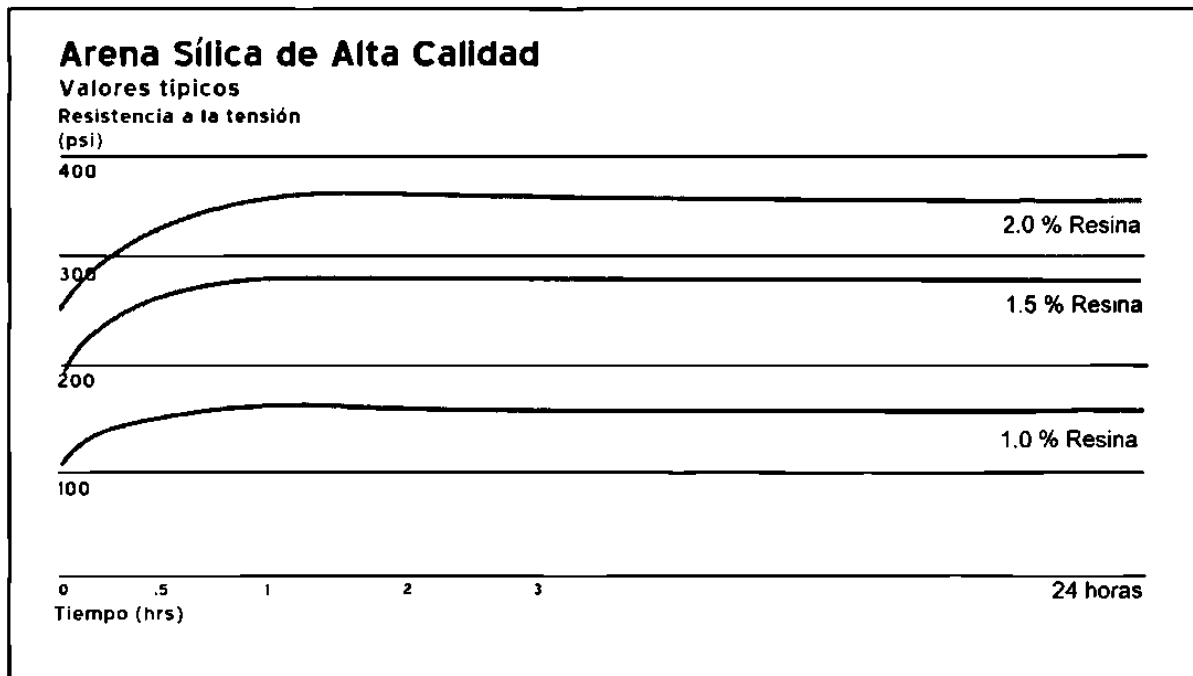


Figura 4.4. Relación del desarrollo de resistencia con el tiempo<sup>20</sup>.

#### 4.8 Relación de aglomerantes.

Las resinas parte I y II generalmente están fabricadas para dar propiedades más eficientes cuando se utilizan en proporción de 50/50, aunque en ocasiones se suelen utilizar relaciones diferentes para realzar una propiedad sobre otra. El efecto de la variación de cada parte de resina se resume en la Tabla 4.2.