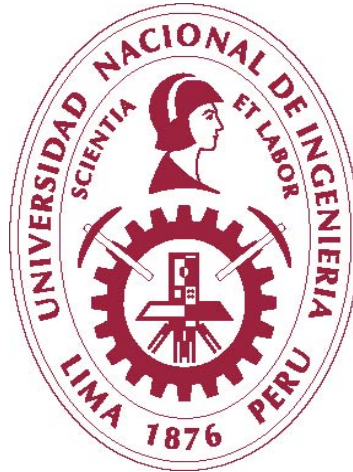


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA, GEOLÓGICA, MINERA Y  
METALÚRGICA**



**“ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE  
OPERACIÓN PARA LOS DISTINTOS SISTEMAS DE  
AGLOMERACIÓN CON RESINAS DE CURADO EN FRÍO”**

**TESIS  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO METALURGISTA**

**Julio Cesar QUISPE TASAYCO**

**LIMA – PERÚ**

**2012**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo es dedicado a mis padres por todo el esfuerzo e inversión que ellos tuvieron en mi educación.

## **INDICE**

RESUMEN	Pag 3
INTRODUCCIÓN	Pag 4
CAPÍTULO 1: MARCO CONCEPTUAL DE LOS INSUMOS EMPLEADOS EN EL PROCESO DE MOLDEO	Pag 6
1.1. Arenas de moldeo	Pag 6
1.2. Aditivos de las arenas de moldeo	Pag 15
1.3. Materiales para revestimiento de modelos	Pag 20
1.4. Equipos y herramientas para el proceso de moldeo	Pag 22
CAPÍTULO 2: BASES TÉCNICAS DEL PROCESO DE MOLDEO	Pag 23
2.1 Conformación por moldeo	Pag 23
2.2 Técnicas de fundición	Pag 25
CAPÍTULO 3: SISTEMAS DE AGLOMERACIÓN CON LOS DISTINTOS TIPOS DE AGLOMERANTES EMPLEADOS EN EL PROCESO DE MOLDEO	Pag 30
3.1 Sistema de moldeo mediante resinas de curado en frío	Pag 30
3.2 Sistema de moldeo mediante resinas de curado en caliente	Pag 40
3.3 Sistema de moldeo mediante gas carbónico	Pag 43
3.4 Sistema de moldeo de arena en verde	Pag 48
CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DEL DESARROLLO DE LAS PRUEBAS PARA LOS DISTINTOS SISTEMAS DE AGLOMERACIÓN DE CURADO EN FRÍO	Pag 56
4.1. Procedimiento para las pruebas de aglomeración con resina fenólica alcalina	Pag 58
4.2. Pruebas de aglomeración con resina furánica	Pag 58
4.3. Pruebas de aglomeración con resina fenólica – uretánica	Pag 59
4.4. Índice de Finura de las Arenas de Moldeo	Pag 59
CAPÍTULO 5: CÁLCULOS Y RESULTADOS	Pag 62
5.1 Pruebas de aglomeración con resina fenólica alcalina	Pag 62
5.2 Pruebas de aglomeración con resina furánica	Pag 77
5.3 Pruebas de aglomeración con resina fenólica – uretánica	Pag 93
5.4 Reportes comparativos de los distintos sistemas de aglomeración	Pag 109
CAPÍTULO 6: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	Pag 115
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES	Pag 119
7.1 Para el sistema de aglomeración con resina fenólica alcalina	Pag 119
7.2 Para el sistema de aglomeración con resina furánica	Pag 121
7.3 Para el sistema de aglomeración con resina fenólica – uretánica	Pag 122

CAPÍTULO 8: OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	Pag 124
ANEXOS	Pag 125
EQUIPOS DE LABORATORIO	Pag 126
TABLA: CONSUMO DE PROMEDIO MENSUAL PROMEDIO DE RESINAS DE LAS FUNDICIONES EN LIMA	Pag 133
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	Pag 134
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	Pag 135

## RESUMEN

El presente informe de tesis tiene como objetivo determinar los parámetros de operación de los sistemas de aglomeración de resina de curado en frío, empleando resina fenólica alcalina, resina furánica y resina fenólica – uretánica, a fin de compararlas y determinar cuál de ellas nos brinda mejor beneficio de operación y costo.

La dosificación de resina y catalizador para cada sistema de aglomeración se escogió de acuerdo a los catálogos de los fabricantes.

Para cada dosis de resina seleccionada se efectuaron pruebas de aglomeración a distintos porcentajes de catalizador, a fin de efectuar pruebas de resistencia a la tracción a los siguientes tiempos: 1, 2, 3, 6, 12 y 24 horas. Para el análisis de las pruebas e interpretación de resultados se tomaron como valores comparativos la resistencia a la tracción a las 12 horas, debido a que en este periodo los moldes pueden ser utilizados para la colada y cuya resistencia debe ser superior a los 82 PSI.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo, está relacionado a la incursión de productos nuevos para la industria de la transformación. En el pasado el sistema de moldeo se efectuó con arcilla y bentonita u algún otro agente ligante o aglomerante como el silicato de sodio en adición con CO<sub>2</sub>, técnica que si bien es buena no se tiene un buen control en el tiempo de fraguado, los tiempo de espera y la determinación en el tiempo de vida útil y recirculación de la arena, así como el alto consumo de CO<sub>2</sub>.

En la actualidad la mayoría de las fundiciones de fierro y acero emplean el sistema de curado en frío con resina fenólica alcalina, sin embargo muchas de ellas están cambiando al sistema furánico o fenólico – uretánico debido a que en su formulación estos dos tipos de resinas no contienen nitrógeno ni fósforo, el cual permite producir piezas exentas de porosidades, con buen acabado superficial, con mejores propiedades mecánicas y en menores tiempos.

Por ser una nueva tecnología se necesita de una investigación de las características de los insumos, dosificación, sus riesgos, la trabajabilidad y su maniobrabilidad de estos nuevos insumos, a fin de determinar los principales parámetros de operación.

Todos estos temas y observaciones, que se va a realizar, tiene mucha relación con una reducción de costos, con un enfoque de nuevas tecnologías aplicadas a la industria, teniendo como objetivo principal mejorar la calidad de las piezas de fundición y las condiciones de trabajo.

A continuación el autor presenta este trabajo de Tesis, esperando ser útil a cualquier lector, no sin antes agradecer a las empresas Fundición Ventanilla S.A. y Fundición FUMASA S.A. por el apoyo brindado en la realización de este proyecto de Tesis.

## **CAPÍTULO 1**

### **MARCO CONCEPTUAL DE LOS INSUMOS EMPLEADOS EN EL PROCESO DE MOLDEO**

#### **1.1. Arenas de moldeo**

##### **1.1.1. Descripción**

Las arenas empleadas para el proceso de fundición son aquellas que principalmente tiene que ser refractarias y cumplir con las siguientes propiedades:

- Buena estabilidad térmica y dimensional a elevadas temperaturas.
- Apropiado tamaño y forma del grano.
- No debe reaccionar químicamente y mezclarse fácilmente con el metal fundido.
- Debe dar libertad para el escape de los gases producidos por el calor.
- Disponibilidad económica.
- Composición química.
- Compatibilidad con el sistema de aglomeración.

##### **1.1.2. Clasificación de las arenas de moldeo**

Se pueden tener distintas clasificaciones:



**1.1.2.1. Por su origen:**

- Naturales o tierras de moldeo
- Sintéticas

**1.1.2.2. Por el origen que tengan:**

- Verdes o magras: se emplean para obtener piezas pequeñas. El contenido en arcilla es bajo y la humedad de estas permanece constante.
- Secas o grasas: se han obtenido a base de un secado controlado para mejorar la permeabilidad.

**1.1.2.3. Por su aplicación en el moldeo:**

- De revestimiento o contacto: en contacto con la pieza.
- De relleno

**1.1.2.4. Según su utilización:**

- Para molde
- Para macho

Existen otras clases de arenas que suelen tener aplicaciones muy específicas como pueden ser:

- Arenas incrustadas: han estado en contacto con el metal y están deterioradas.

- Adobadas: tienen elementos adicionales para cohesionar
- De carbonato o negras: se les adiciona un pequeño porcentaje (2-3%) de carbón.
- Al cemento: se les aporta cemento en un porcentaje variable y agua. Se utilizan para obtener piezas muy grandes y exigentes, como pueden ser las hélices de los barcos.
- Barros: son aquellas con un porcentaje de arcilla muy elevado (hasta un 20%) y otros elementos como cal y óxidos de hierro. Se utilizan para moldear aceros.

### **1.1.3. Tipos de arena de moldeo**

La mayor producción de piezas fundidas se realiza en moldes de arena. Los moldes utilizados en fundición están constituidos esencialmente por un material granular, la arena propiamente dicha y de un aglomerante que confiere a la arena la cohesión suficiente para la ejecución del molde.

La arena más empleada es la de sílice fundamentalmente debido a que cumple muy bien su función y tiene un precio muy asequible. El consumo de otros tipos de arenas tales como la de olivino, cromita, circonio, etc. no representan más de un 5% y únicamente tienen sentido en aplicaciones donde sea necesario afrontar problemáticas de altas temperaturas, dilataciones muy concretas, etc.

Las propiedades granulométricas y térmicas de la arena juegan un papel importante en la calidad de las piezas a fabricar puesto que inciden de manera directa en el proceso de enfriamiento del caldo y por lo tanto, en las estructuras del metal una vez solidificado.

La precisión dimensional depende básicamente del coeficiente de dilatación que está en función del nivel térmico en el que se esté trabajando. Finalmente las características granulométricas tales como la distribución del tamaño de los granos, su grado de redondez y la naturaleza de su superficie están incidiendo directamente sobre la respuesta que el molde ofrezca en el desarrollo de su función.

#### **1.1.3.1. Arena sílice**

Las arenas silíceas están compuestas de minerales de cuarzo, feldespatos, minerales arcillosos, minerales micáceos, elementos de carbón y de carbonato y minerales pesados que tienen influencia en las propiedades de la arena; así por ejemplo altos contenidos de feldespato favorecen la caída de la dilatación térmica de la arena y su punto de sinterización. De todas formas, los elementos presentes en las arenas silíceas diferentes del cuarzo representan un porcentaje muy pequeño.

Tabla 1.1. Distribución típica de la arena sílice en función de la granulometría

Clase de grano	De grano grueso	De grano mediano	De grano fino	De grano muy fino
> 0.5	25	5	---	---
0,5 – 0,25	65	60	25	5
0,25 – 0,125	10	35	65	70
0,125 – 0,063	---	---	10	20
< 0.063	---	---	---	5
<b>Contenido máximo de sedimentos (%)</b>	< 0,25	< 0,25	< 0,5	< 1,5

### 1.1.3.2. Arena de cromita

La arena de cromita es una arena especial con muy buenas propiedades a elevadas temperaturas, proporciona una alta resistencia a la penetración del metal líquido, y comparativamente con otras arenas produce un enfriamiento más rápido de la pieza fundida. La dilatación térmica es mucho más baja que la arena de sílice con lo que se reducen también los problemas derivados de la expansión de la arena. Se suministra con una granulometría 45-65 AFA y el contenido típico de sus óxidos mayoritarios es  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ : 46%,  $\text{FeO}$ : 27%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 15% y  $\text{MgO}$ : 10%.

La arena de cromita es compatible con todos los procesos químicos de confeccionamiento de moldes y machos. Actualmente se utilizan grandes cantidades de arena de cromita en la industria de la fundición para la fabricación de moldes y machos. La arena de cromita es aplicable a todos los tipos de aceros y muy apropiada para las piezas de acero al cromo, cromo-níquel y acero al manganeso. Tiene la ventaja sobre

la arena de sílice de que es menos reactiva con el óxido de manganeso, reduciendo de este modo, los problemas de calcinación.

#### **1.1.3.3. Arena de zirconio**

La arena de Circonio presenta excelentes propiedades refractarias, baja dilatación térmica y elevada conductividad térmica. Su composición es Silicato de circonio ( $ZrSiO_4$ ) y tiene una densidad aparente aproximada de  $2,7 \text{ gr/cm}^3$ . Se emplea en la fabricación de machos y moldes sometidos a altas temperaturas como es el caso de piezas de acero y piezas masivas de fundición. Las propiedades de la arena de circonio permiten reducir o eliminar el veining, evitar las reacciones metal/molde y aumentar la velocidad de enfriamiento.

#### **1.1.3.4. Arena de olivino**

La arena de olivino es una arena especial para la fabricación de moldes y machos en la industria de la fundición. Su carácter básico la hace adecuada en la fabricación de piezas fundidas de acero al manganeso, comparativamente con la arena de sílice es menos reactiva con el óxido de manganeso. La dilatación térmica de la arena de olivino es menor que la de la arena de sílice y tiene una alta resistencia al choque térmico, con lo que se reducen también los problemas derivados de la expansión de la arena. El tamaño granulométrico para la fabricación de moldes es de 50-60 AFA y la composición típica expresada en óxidos es MgO: 48%,  $SiO_2$ : 41% y  $Fe_2O_3$ : 8%.

El olivino en grano de 2 a 6 mm se emplea en la industria siderúrgica para el taponado de hornos de sangrado lateral, EBT y OBT. Los valores de SiO<sub>2</sub> que tiene la arena no es sílice libre, se encuentra combinada como ortosilicato de magnesio (Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) por lo que su aporte de Silicio a la colada es residual.

El olivino 100 - 120 AFA se utilizada en la industria del refractario como materia prima en la fabricación de masas glunitables para aplicación en la industria siderúrgica.

#### **1.1.4. Características físico-químicas de las arenas de moldeo**

##### **1.1.4.1. Morfología de las arenas de moldeo**

De acuerdo a la forma de los granos, angular y/o redondeada, se tiene un índice que da la superficie específica. Así una menor superficie específica permite obtener las mejores características técnicas y económicas.

Tabla 1.2. Influencia de la morfología de los granos de arena sílice en la formación de los moldes de fundición

<b>Granos redondos</b>	<b>Granos angulares</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Aumenta la fluidez</li> <li>➤ Aumenta la colapsabilidad</li> <li>➤ Aumenta permeabilidad</li> <li>➤ Disminuye el porcentaje de Resina/Catalizador para una resistencia determinada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Disminuye la fluidez</li> <li>➤ Disminuye la colapsabilidad</li> <li>➤ Disminuye la permeabilidad</li> <li>➤ Aumenta el porcentaje de Resina/Catalizador para una resistencia determinada por mayor superficie específica.</li> </ul>

### 1.1.4.2. Granulometría de las arenas de moldeo

La siguiente tabla muestra la adecuada distribución granulométrica de los distintos tipos de arenas empleadas en el proceso de fundición.

Tabla 1.3. Distribución granulométrica típica de los distintos tipos de arenas empleados en la industria de la fundición

Abertura ( $\mu\text{m}$ )	% Retenido			
	Arena de sílice	Arena de cromita	Arena de zirconio	Arena de olivino
710 – 1000	< 0.5%	< 0.5%	< 0.5%	---
500 – 710	3.0 – 6.0%	6.0 – 10.0%	3.0 – 6.0%	5.0 – 8.0%
355 – 500	22.0 – 28.0%	20.0 – 25.0%	25.0 – 30.0%	23.0 – 28.0%
250 – 355	20.0 – 28.0%	25.0 – 30.0%	22.0 – 30.0%	25.0 – 30.0%
180 – 250	18.0 – 25.0%	20.0 – 23.0%	20.0 – 25.0%	20.0 – 25.0%
125 – 180	12.0 – 16.0%	15.0 - 17.0%	12.0 – 15.0%	12.0 – 18.0%
90 – 125	3.0 – 6.0%	4.0 – 4.5%	3.0 – 5.0%	2.0 – 5.0%
63 – 90	< 3.0 %	1.0 – 2.0%	< 2.0%	< 2.0%
20 – 63	< 0.5%	< 0.5%	< 0.5%	< 0.5%

Tabla 1.4. Propiedades físico – químicas de las arenas de moldeo

Propiedad	Arena sílice	Arena de cromita	Arena de zirconio	Arena de olivino
Dureza (Mohs)	7.0	5.5	7.5	6.5 – 7.0
Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.65	Aprox. 4.5	Aprox. 4.5	Aprox. 3.5
Densidad aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.3 – 1.5	2.4 – 2.8	2.7 – 2.9	1.6 – 2.0
Temperatura de fusión ( $^{\circ}\text{C}$ )	1760 – 1780	1800 – 1900	2200 – 2400	1750 – 1800
Dilatación lineal hasta $600^{\circ}\text{C}$ (%)	1.25	0.40	0.20	0.60

### 1.1.4.3. Humedad

Sobre el 0,2% de humedad, el proceso presenta una

disminución de la resistencia y una disminución de la velocidad de fragüe. En el caso de los procesos fenólico - uretánicos y alquidico - uretánicos es más influyente, debido a la presencia de isocianatos que reaccionan con el agua, provocando una inhibición de la cura y una fuerte reacción espontánea si el porcentaje es alto.

#### 1.1.4.4. Módulo de fineza

Las arenas empleadas en el sistema de moldeo deben tener una graduación bien definida con un 70% y más de los granos retenidos en 3 mallas adyacentes. El Número de Fineza de la AFS (American Foundry men's Society), expresa de manera aproximada el tamaño de malla de ese tamiz que dejaría pasar solamente granos de arena de tamaño uniforme; es decir, expresa el promedio de los tamaños de todos los granos de la muestra.

La homogeneidad de estas arenas queda descrita en la siguiente tabla.

Tabla 1.5. Influencia de la homogeneidad de las arenas de moldeo

<b>Más gruesa: Módulo menor</b>	<b>Más fina: Módulo mayor</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mayor permeabilidad.</li> <li>➤ Menor arena sinterizada</li> <li>➤ Mayor resistencia del molde</li> <li>➤ Menor tendencia a defectos de expansión debido a mayor plasticidad en caliente.</li> <li>➤ Mayor tendencia a penetración de metal.</li> <li>➤ Rugosidad mayor en piezas si no se utiliza pintura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Menor permeabilidad</li> <li>➤ Mayor arena sinterizada.</li> <li>➤ Menor resistencia del molde.</li> <li>➤ Mayor tendencia a defectos de expansión por ser más compacto.</li> <li>➤ Menor tendencia a penetración de metal.</li> <li>➤ Piezas con mejor acabado si no se utiliza pintura.</li> </ul>



#### **1.1.4.5. Cantidad de arcilla**

El máximo aceptable es 0,2%, porcentajes mayores ocasionan una fuerte disminución de la resistencia y de la permeabilidad, un aumento en la generación de gas y un mayor consumo de resina y de catalizador, dado que las arcillas actúan como esponjas que atrapan el catalizador y quedan como puntos blandos entre granos de sílice, influyendo directamente en la resistencia.

### **1.2. Aditivos de las arenas de moldeo**

Los aditivos normalmente se dividen en dos grupos:

**1.2.1. Aglomerantes:** son sustancias que se mezclan con las arenas destinadas al moldeo de machos y aportan una serie de cualidades o mejoran las ya existentes. El molde debe cumplir dos características aparentemente contrapuestas que tienen que ver con los aglomerantes de la arena. Por un lado debe ser lo suficientemente rígido como para aguantar el flujo del metal por su interior y por otro, lo suficientemente frágil como para que se fragmente una vez cumplida su función, solidificada la pieza e iniciada la operación de desmoldeo.

Los aglomerantes se pueden clasificar en tres grupos:

#### **1.2.1.1. Aglomerantes mecánicos**

Son aquellos porque se aglomeran con ayuda de sistemas mecánicos, en este grupo se encuentran las arcillas (caolinita, glauconita, bentonita, etc.) y los hidratos de carbono (almidón). Únicamente se emplean en la fabricación de moldes.

#### **1.2.1.2. Aglomerantes orgánicos**

Los aglomerantes orgánicos son aquellos compuestos tipo resina que mediante transformaciones químicas en frío o en caliente, endurecen o “curan” las arenas en combinación de catalizadores. Estos catalizadores suelen dividirse en rápidos (resina epoxi-SO<sub>2</sub>) y lentos (metilformiato) en función de la velocidad de endurecimiento.

#### **1.2.1.3. Aglomerantes inorgánicos**

El silicato sódico y el cemento son aglomerantes inorgánicos de endurecimiento químico. El silicato sódico se emplea tanto para la fabricación de moldes como de machos mientras que el cemento sólo es apto para la fabricación de moldes.

El aglomerante de las arenas de moldes y machos se selecciona en base a los más variados criterios tales como: tipo y tamaño de las piezas que se va a fabricar, especificaciones y tamaño de la serie, fiabilidad del proceso, seguridad laboral y medioambiental y rentabilidad del método.

**1.2.2. Revestimiento:** se emplean dos tipos: para cajas y para machos. Los primeros facilitan la extracción de la pieza y los segundos garantizan el llenado completo de las zonas más complejas. Otras misiones de los revestimientos es evitar adherencias, proteger al ser muy refractarios y, en cierto modo, formar una película protectora al estar situados entre el metal y la arena. Los más usados son los polvos de carbón y los negros líquidos.

**1.2.2.1. Revestimientos en polvo**

Son revestimientos que se adicionan cuando la arena ya está aglomerada con resina con el fin de prevenir problemas superficiales de las piezas, tal es el caso del óxido de hierro, el polvo de azufre y ácido bórico con objeto de que los gases resultantes neutralicen la reacción del metal con el agua y el oxígeno del aire.

En los materiales de moldeo aglomerados con arcilla se sustituye a veces una parte del agua por glicol con objeto de impedir reacciones entre el material de fundición y el molde.

#### **1.2.2.2. Revestimientos a base de alcohol**

Las pinturas son recubrimientos a base de alcohol que deben cumplir con las siguientes características:

- Poseer buenas propiedades de suspensión, fácil uso.
- Baja formación de gases en la pieza, reducción del defecto blowhole.
- Buena refractariedad, según el tipo de aplicación.
- Excelentes propiedades de trixotropía sin el uso de brocha.
- Dar un buen acabado superficial en la pieza y fácil limpieza.

#### **Guía de uso**

- Diluir con alcohol o solvente especial para pintura refractarias a la densidad o viscosidad requerida, según el tipo de aplicación.
- Mezclar lentamente en un tanque agitador antes de aplicar al molde. Una capa con brocha podría ser

suficiente, aunque dos capas permitirían dar mayor refractariedad y evitar la penetración del metal en el molde.

- Las pinturas refractarias se aplican mediante spray, brocha o por inmersión.

#### A. Pintura refractaria a base de grafito

Tabla 1.6. Especificaciones técnicas de la pintura a base de grafito

<b>Componentes</b>	<b>Valores</b>
Color	Negro
Materia prima	Grafito
Densidad (25°C)	1.1 – 1.3 g/cm <sup>3</sup>
Densidad de uso (°Bé)	30 – 40
Viscosidad (φ4, 25°C) (seg)	16 – 19
% Suspensión	98% (2horas)
Vida útil	~ 6 meses
Aplicación	Todo tipo de fierro

#### B. Pintura refractaria a base de zirconita

Tabla 1.7. Especificaciones técnicas de la pintura a base de zirconio

<b>Componentes</b>	<b>Valores</b>
Color	Beige
Materia prima	Refractario a base de silicato de zirconio
Densidad (25°C)	1.6 – 2.0 g/cm <sup>3</sup>
Densidad de uso (°Bé)	55 – 65
Viscosidad (φ4, 25°C) (seg)	15 – 21
% Suspensión	98% (2horas)
Vida útil	~ 6 meses
Aplicación	Acero

### C. Pintura refractaria a base de magnesita

Tabla 1.8. Especificaciones técnicas de la pintura a base de magnesita

<b>Componentes</b>	<b>Valores</b>
Color	Gris
Materia prima	Refractario a base de óxido de magnesio
Densidad (25°C)	1.4 – 1.8 g/cm <sup>3</sup>
Densidad de uso (°Bé)	35 – 45
Viscosidad ( $\phi$ 4, 25°C) (seg)	14 – 18
% Suspensión	97% (2horas)
Vida útil	~ 6 meses
Aplicación	Acero al manganeso

#### 1.3. Materiales para revestimiento de modelos

Los modelos se pueden realizar con una gran variedad de materiales, como madera, yeso, fundición de hierro, latón, aleaciones de aluminio y, modernamente, resinas plásticas.

##### 1.3.1. Desmoldante para modelos en madera

El material más utilizado es la madera, ya que es fácil de trabajar, relativamente barata y de poco peso. El problema que presenta es su escasa resistencia a la humedad, que se puede paliar pintando los moldes. De todas formas, es probable que la madera se utilice siempre para la construcción de piezas aisladas o de pequeñas series.

##### 1.3.2. Desmoldante para modelos de fierro

Los modelos a base de fierro son básicamente formaletas o estructuras de fierro o acero el cual permite efectuar coladas continuas, sólo

se espera un tiempo para que el metal solidifique y sea retirado de la formaleta para empezar una nueva colada.

Con el objetivo de obtener piezas con buen acabado superficial, fácil desprendimiento y evitar dañar la formaleta metálica se aplica sobre ésta un desmoldante a base de cloruro de metileno y un solvente aromático. En muchos casos este tipo de aplicación se da en coladas en la industria del aluminio y sus aleaciones, y en algunas aplicaciones de bronce.

#### 1.4. Equipos y herramientas para el proceso de moldeo

Los marcos empleados en el sistema de moldeo por lo general son de madera o de fierro de forma y dimensiones muy variadas, destinadas a contener la arena del molde. Constan de una parte **superior** y de otra **inferior o de fondo**, provistas de espigas o **clavijas** y de **orejas**, en correspondencia, para fijar su posición durante el moldeo. Si hay más de dos, a las otras se les llama **intermedias o aros**.

Las paredes de las cajas grandes llevan una serie de agujeros o ranuras dispuestas a tresbolillo, que facilitan la salida de los gases del molde y las aligeran de peso.

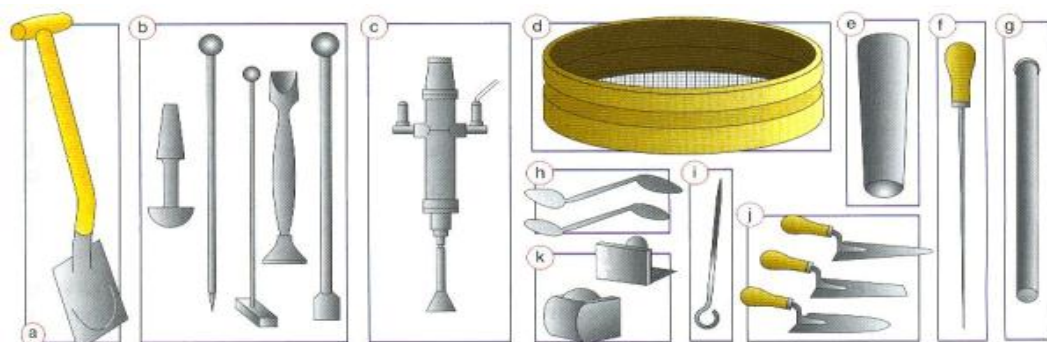
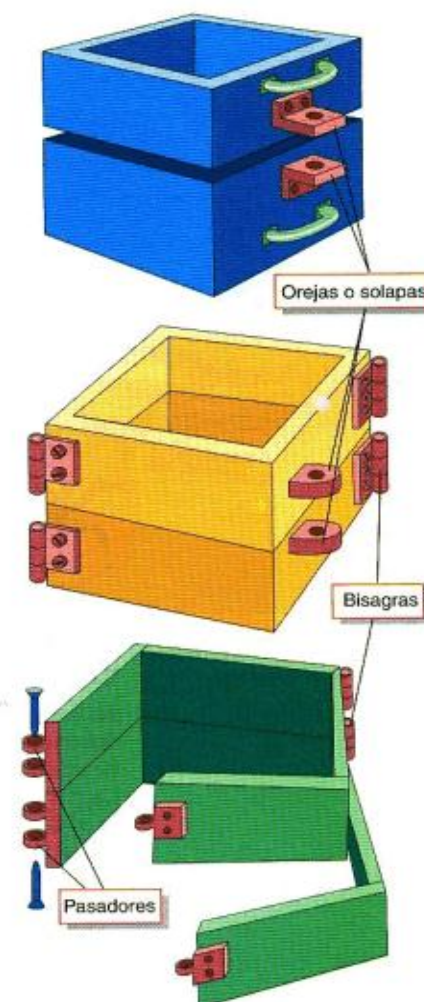


Figura 1.1. Modelos de cajas empleadas en el proceso de moldeo



## **CAPÍTULO 2**

### **BASES TÉCNICAS DEL PROCESO DE MOLDEO**

#### **2.1 Conformación por moldeo**

La fabricación de piezas metálicas de una forma y tamaño definidos, fundiendo un metal o aleación y vertiéndolo en moldes construidos previamente, es la técnica que se designa con el nombre de conformación por moldeo. Un molde es un recipiente que presenta una cavidad en la que se introduce el material en estado líquido que, al solidificarse, adopta la forma de la cavidad. A esta técnica también se le llama fundición o colada. Permite dar forma a muchos materiales con un buen acabado.

Para crear una pieza mediante esta técnica es preciso seguir una serie de pasos:

1. Diseñar la pieza que se desea moldear empleando las herramientas gráficas oportunas.
2. Construir el modelo de la pieza a fundir. Generalmente se elaboran en madera o yeso, de forma totalmente artesanal.
3. A partir del modelo se construye el molde, que puede ser de arena; si la pieza es hueca es preciso fabricar también los machos o noyos,

que son unas piezas que recubren los huecos interiores. En todos estos pasos se debe tener en cuenta el material elegido para la fabricación de la pieza. El proceso de llenado del molde se conoce como colada.

4. El desmoldeo consiste en extraer la pieza del molde una vez solidificada. En muchos casos, y fundamentalmente cuando se requiere precisión, deben realizarse tratamientos de acabado sobre las piezas obtenidas. Los materiales con los que se construyen las piezas suelen ser metales y aleaciones, y deben poseer las siguientes características:

- Punto de fusión bajo (para ahorrar combustible).
- Baja tensión superficial (para reproducir fielmente el molde).
- Bajo coeficiente de dilatación en estado líquido (para que la contracción del metal sea pequeña).
- Bajo coeficiente de dilatación en estado sólido (para disminuir el peligro de formación de grietas durante el enfriamiento).
- Aptitud para el llenado del molde.



Figura 2.1. Fabricación de moldes por conformación

## 2.2 Técnicas de fundición

Al hacer referencia a las técnicas de fundición parece evidente que es necesario tener en cuenta los diferentes elementos que conforman el proceso productivo, desde los sistemas de fusión y tratamiento del metal líquido hasta el moldeo y operaciones de acabado. Sin embargo, debido a su importancia, las consecuencias que producen en el resto de elementos y fundamentalmente, la relación directa que guardan con el tema que nos ocupa, se va a hacer referencia únicamente a los sistemas de moldeo.

Simplificando al máximo, en el proceso de fabricación mediante la técnica de fusión-solidificación únicamente ponemos en juego dos elementos; es decir, el metal líquido y el molde que lo va a recibir. Desde

esta perspectiva, la problemática del molde absorbe al menos la mitad de la tecnología necesaria para obtener piezas sanas de fundición.

### **2.2.1 Técnicas de fundición con molde perdido**

Se entiende por técnicas de fundición con molde perdido a aquellas en las cuales el molde únicamente se utiliza una vez. Realizada la colada y posterior desmoldeo se obtienen las piezas con destrucción del molde. Proceso similar se sigue con los machos que son los elementos insertados en el molde con objeto de conseguir huecos o zonas de difícil ejecución directa en el molde.

Los moldes perdidos son muy utilizados en las empresas de fundición debido a su capacidad para adaptarse a piezas de diferentes tamaños y formas complejas así como su flexibilidad y coste reducido.

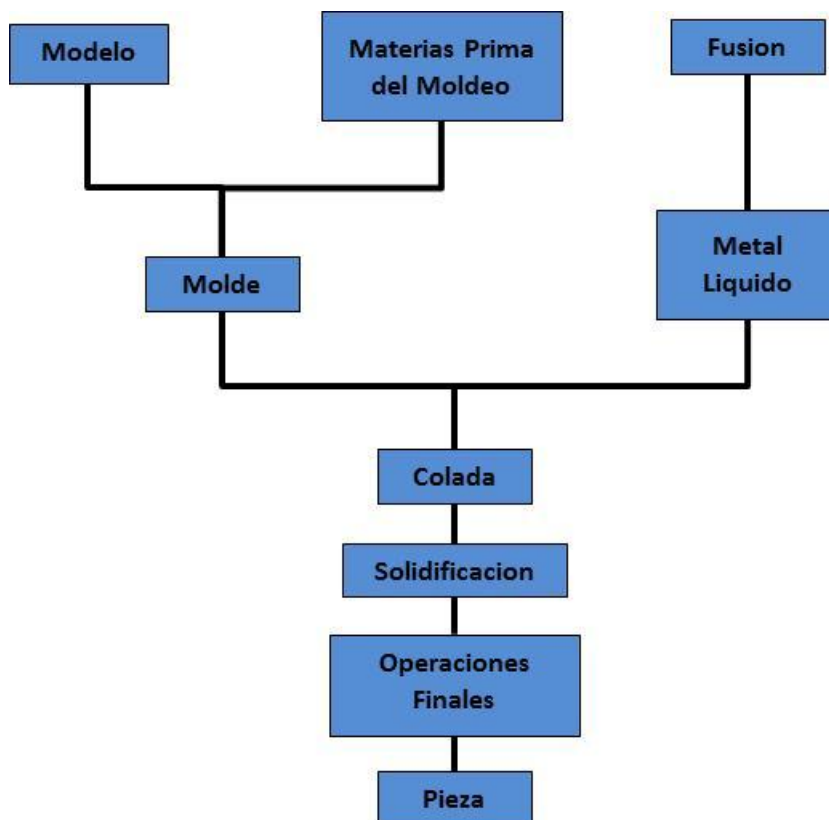


Figura 2.2. Flujograma para la fabricación de moldes perdidos

### 2.2.2 Técnicas de fundición con molde permanente

Las piezas se fabrican partiendo de un modelo que puede ser permanente o perecedero; en el primer caso se extrae del molde dejando únicamente la huella; en el segundo habitualmente se queda dentro del molde y se funde al introducir el caldo metálico. En este segundo caso podría hablarse de modelos perdidos tal como ocurre con la cera, urea o el poliestireno expandido.

Los modelos permanentes se extraen de los moldes y se utilizan para cientos y miles de moldes, son de metal, madera, resinas, etc.

El material de moldeo está formado por diversos constituyentes donde el elemento mayoritario es la arena, fundamentalmente de sílice a la que acompañan el polvo de carbón (hulla), los aglomerantes, etc.

Los moldes están formados normalmente por dos piezas, caja inferior y caja superior en los que se insertan los machos, si bien en algunos casos de piezas de grandes dimensiones las cajas pueden ser varias y superpuestas.

Los parámetros más importantes a considerar en los moldes son:

- Resistencia a la compresión y a la flexión.
- El grado de finura de la arena de sílice que va a proporcionar a la superficie de la pieza un grado de acabado superficial.
- La permeabilidad que va a permitir una mejor o peor salida de gases.

La resistencia es importante desde el punto de vista de la estabilidad del molde fundamentalmente en el momento de colada. Debe garantizar que el molde no se rompa, agriete o resquebraje en su interior puesto que cualquier fisura o desmoronamiento del molde se va a traducir en un defecto de la pieza.

El molde debe presentar también una cierta capacidad para evacuar los gases que se generan en la cavidad en el momento de llenado;

es lo que se entiende por permeabilidad, de lo contrario el gas atrapado en la cavidad producirá poros en las piezas.

Una vez realizado el molde y llenado mediante el vertido de caldo metálico, es necesario esperar a la solidificación del metal que será tanto más prolongada cuanto mayor sea la masa de la pieza, más aislada se encuentre y mayor calor específico disponga. Tras el desmoldeo y la limpieza de la pieza deben realizarse las operaciones finales de rebabado y mecanizado.

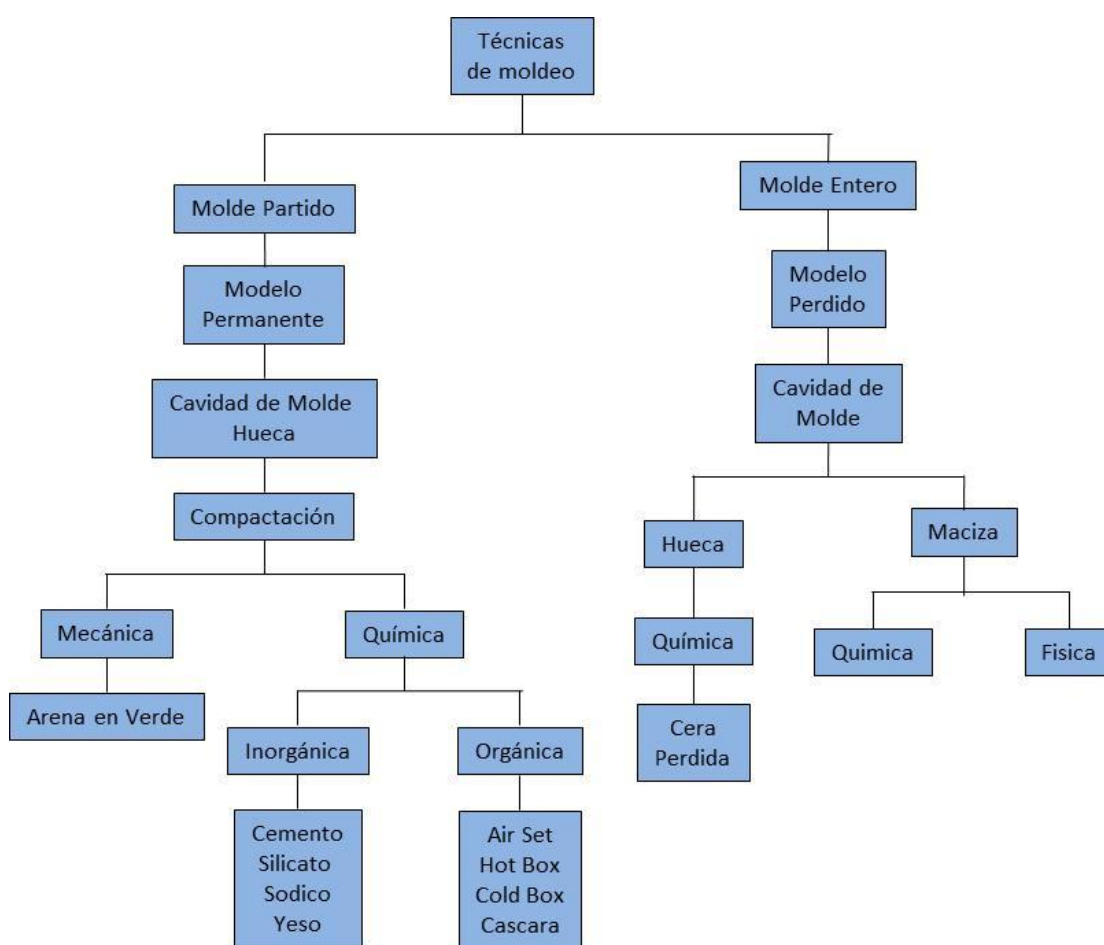


Figura 2.3. Flujograma para la fabricación de moldes partidos y enteros.

## **CAPÍTULO 3**

### **SISTEMAS DE AGLOMERACIÓN CON LOS DISTINTOS TIPOS DE AGLOMERANTES EMPLEADOS EN EL PROCESO DE MOLDEO**

#### **3.1. Sistema de moldeo mediante resinas de curado en frío**

Es una técnica que utiliza como aglomerante resinas sintéticas fenólicas, furánicas o fenólicas - uretánicas que en combinación con un endurecedor curan a temperatura ambiente.

Se utilizan tanto para fabricar moldes como machos y se sigue el mismo procedimiento. Se prepara el material de moldeo y se vierte en las cajas compactando por vibración. Una vez endurecido el material de moldeo se retiran las cajas y se deja que continúe el endurecimiento hasta alcanzar su resistencia final.

Es importante respetar el tiempo de endurecimiento de las resinas sintéticas durante la fabricación de los semimoldes porque de él va a depender la respuesta del molde. Este tiempo puede variar de unos minutos a varias horas según el tipo de endurecedor empleado.



### **3.1.1. Sistema aglomerante con resinas fenólicas**

#### **3.1.1.1. Resinas fenólicas alcalinas**

La resina fenólica alcalina es un líquido de color marrón rojizo con las siguientes características de curado con un éster orgánico:

- La resinas fenólica no contiene nitrógeno y el catalizador no contiene sulfuro ni fósforo, reduciendo significativamente los defectos superficiales en las piezas.
- Las propiedades termoplásticas de la resina acompañada en el proceso por el catalizador reducen los defectos por metalización en la producción de aceros y fierro nodular.

#### **Proceso de mezclado de arena**

Resina: 0.9 – 1.4% con respecto al peso de la arena sílice.

Catalizador: 20 – 25% con respecto al peso de la resina fenólica.

Proceso de mezclado: Mezclar la arena con el catalizador y luego adicionar la resina.

Tiempo mezcla 45 – 60 segundos.

Para acelerar el tiempo de cura, aumentar la dosis del catalizador.

Tabla 3.1. Composición típica de la resina fenólica alcalina

<b>Componentes</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Resina fenólica alcalina	35 – 45%
Hidróxido de potasio	15 – 25%
Agua	35 – 45%

Tabla 3.2. Especificaciones técnicas de la resina fenólica alcalina

<b>Viscosidad 25°C (mPa.s)</b>	<b>Formaldehido libre (%)</b>	<b>pH</b>	<b>Características</b>
< 150	< 0.1	> 12	Vida útil:> 4 meses

### 3.1.1.2. Catalizadores para resina fenólicas alcalinas

Tabla 3.3. Composición típica del catalizador para resina fenólica alcalina

<b>Componentes</b>	<b>Valores</b>
Ester	98 – 99%
NCO	1%
Densidad (25°C)	1.16 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidad (25°C)	16.8 mPa.s

### 3.1.2. Sistema aglomerante con resinas furánicas

#### 3.1.2.1. Resinas furánicas

Las resinas furánicas se suministran en forma de líquido. A través del porcentaje de urea puede influirse sobre las propiedades de la resina (fragilidad, tiempo de endurecimiento, resistencia, contenido de agua). Las arenas aglomeradas con resinas ricas en urea se

desmoronan fácilmente tras la colada y la solidificación de las fundiciones. Las resinas furánicas puras no suelen emplearse como aglomerantes, debido a su alto grado de fragilidad.

Con objeto de minimizar el impacto medioambiental (seguridad laboral, contenido de contaminantes en las arenas usadas), se ha rebajado en los últimos años el porcentaje de fenol y de formaldehído libre presente en las resinas. El contenido actual en las resinas furánicas de formaldehído libre se sitúa en aprox. un 0,1% rebajándose en los últimos años el contenido de fenoles libres del 17% al 0,33%.

Las resinas furánicas hoy en día vienen ganando campo de acción en los procesos de fundición debido a las siguientes propiedades:

1. Alta resistencia del molde: debido a la alta resistencia del molde, se debe reducir periódicamente los niveles de dosificación de resina para alcanzar procesos de menor costo.
2. Rápida velocidad de curado: sistema de curado rápido, reduce los tiempos de operación y aumenta la producción de piezas.
3. Proceso de moldeo limpio: el contenido de formaldehído es menor a 0.05%, el cual representa solamente el 20% del contenido en la resina furánica,

debido a la reducción de la dosificación de la resina en la arena, reduciendo significativamente la contaminación al medioambiente, mejorando las condiciones de trabajo.

4. Proceso de fundición de alta calidad, reducción de costos: la reducción de niveles de resina y catalizador reducen la formación de gases en el molde, reduciendo los defectos tales como: porosidad, pinholes y piezas con mal acabado superficial.

Es necesario tener las siguientes consideraciones para el uso de resina furánica.

**A. Proceso de mezclado de arena:** generalmente la relación de mezcla de la resina furánica está en el rango de 0.7 – 1.5% con respecto al peso de arena sílice y la adición del catalizador está en el rango de 20 – 30% del peso de la resina. La mezcla entre el catalizador y la arena en un proceso continuo debe ser de 5 – 60 segundos, luego se añade la resina mezclando de 5 – 60 segundos nuevamente.

**B. Niveles de adición de resina:** la dosificación de resina en la arena dependerá de la forma de grano de la arena, granulometría, contenido de arcilla y forma y dimensión del molde y pieza a formar.

**C. Control del tiempo de moldeo:** el tiempo de moldeo es importante y generalmente fluctúa entre 5 – 20 minutos. Un mal moldeo podría causar rajadura en el molde y filtración del metal sobre este.

**D. Rápido control de curado:** si el tiempo de curado es bajo, podría añadirse más catalizador hasta un máximo de 40%, alternativamente se puede emplear un catalizador rápido, de menor tiempo de curado.

Tabla 3.4. Especificaciones técnicas de las resinas furánicas

Componentes	Valores
Nitrógeno	< 1%
Formaldehido	< 0.05%
Densidad (20°C)	1.12 – 1.19 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidad (20°C)	< 20 mPa.s
Vida útil	~ 1 año
Aplicación	Acero, hierro gris, dúctil

### 3.1.2.2. Catalizadores de resinas furánicas

Los catalizadores empleados como corre actantes con las resinas furánicas pertenecen a la serie de ácidos sulfónicos. Tiene baja viscosidad y son fácilmente mezclados con la arena, tienen una coloración desde marrón hasta amarillo. Para la selección de un catalizador tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- A. Selección del tipo de catalizador: el tipo de catalizador deberá ser escogido dependiendo la temperatura de la arena y el tiempo de curado requerido. Dosificaciones altas de ácido se obtendrán tiempos de curado más rápido.
- B. Selección del porcentaje de catalizador: la dosificación del catalizador es del 15 – 30% con respecto al peso de la resina furánica.
- C. Control de la velocidad de curado: Normalmente el tiempo de curado del molde es de 10 – 90 minutos, siendo lo normal de 15 – 40 minutos. Se recomienda no emplear dosis de catalizador que excedan el 30%, caso contrario es aconsejable cambiar el tipo de catalizador.
- D. Procedimiento de mezclado: mezclar la arena con el catalizador empleando un mezclador continuo durante 10 – 60 segundos, luego adicionar la resina y mezclar por 10 – 60 segundos nuevamente.

Tabla 3.5. Especificaciones técnicas de los catalizadores para resinas furánicas

Componentes	Valores	
	Catalizador rápido	Catalizador lento
Contenido de ácido total	24 – 26%	18 – 20%
Contenido de ácido libre	2 – 4.5%	0 – 1.5%
Densidad (20°C)	1.20 – 1.25 g/cm <sup>3</sup>	1.18 – 1.28 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidad (20°C)	< 40 mPa.s	< 15 mPa.s
Vida útil	1 año	1 año
Aplicación	12 – 20°C (invierno)	25 – 35°C (verano)

### 3.1.3. Sistema aglomerante con resinas fenólicas – uretánicas

#### 3.1.3.1. Resinas fenólicas – uretánicas, tipo Pep Set

##### Características:

El sistema de la resina fenólica – uretánica (Pep Set) está compuesto por tres partes:

A. Parte I, resina fenólica

Parte II, polisocianato

Parte III, catalizador

B. Alta eficiencia de producción, rápida cura.

C. El tiempo de vida de banca se reduce 75%.

D. No contiene sulfuros y fósforo, reduciendo los defectos internos y externos en la pieza.

E. Empleado para la fundición de acero y hierro.

**Dosificación:**

A. La relación de dosificación de la resina parte I / resina parte II es variable de 50/50 a 70/30, respectivamente.

B. Relación mezcla:

Resina: 0.6 – 1.2% con respecto al peso de la arena.

Catalizador: 1 – 3% con respecto al peso de la resina parte I.

**Proceso de mezclado:**

A. Mezclar la arena con la solución formada entre el catalizador y la resina parte I.

Tiempo mezcla 5 – 60 segundos.

B. Adicionar la resina parte II a la mezcla formada. Tiempo mezcla 5 – 60 segundos.

Tabla 3.6. Especificaciones técnicas de las resinas fenólicas - uretánicas

Componentes	Valores	
	Resina parte I	Resina parte II
Resina fenólica	50 – 60%	---
Éster	15 – 30%	---
Polisocianato	---	60 – 80%
Solvente aromático	15 – 30%	20 – 40%
Formaldehido libre	0.5%	---
Densidad (20°C)	1.05 – 1.15 g/cm <sup>3</sup>	1.05 – 1.15 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidad (20°C)	< 300 mPa.s	< 80 mPa.s
Vida útil	1 año	1 año
Aplicación	Fundición de acero y hierro	



### 3.1.3.2. Resinas fenólicas – uretánicas tipo Pep Set Quantum

Tabla 3.7. Especificaciones técnicas de las resinas fenólicas – uretánicas, tipo Quantum

Componentes	Valores	
	Resina parte I	Resina parte II
Resina fenólica	30 – 50%	---
Éster	25 – 35%	---
Polisocianato	---	65 – 85%
Solvente aromático	15 – 30%	15 – 30%
Formaldehido libre	0.09%	---
Densidad (20°C)	0.95 – 1.10 g/cm <sup>3</sup>	1.05 – 1.18 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidad (20°C)	< 90 mPa.s	< 50 mPa.s
Vida útil	1 año	1 año
Aplicación	Fundición de acero y hierro	

### 3.1.3.3. Catalizadores de resinas fenólicas – uretánicas

Tabla 3.8. Especificaciones técnicas de los catalizadores para resinas fenólicas – uretánicas

Componentes	Valores	
	Catalizador rápido	Catalizador lento
Solución de piridina		30 – 70%
Solvente aromático		70 – 30%
Densidad (20°C)	0.90 – 1.00 g/cm <sup>3</sup>	0.90 – 1.00 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidad (20°C)	< 10 mPa.s	< 10 mPa.s
Vida útil	1 año	1 año
Aplicación	Cualquier época del año	

## **3.2. Sistema de moldeo mediante resinas de curado en caliente**

### **3.2.1. Proceso Croning (Shell process)**

Este proceso apareció en Alemania, durante la segunda guerra mundial. La mezcla consiste en arena de sílice mezclada con una resina fenólica (novolaca) y un agente endurecedor (hexametenotetramina).

Cuando la mezcla es introducida en el interior de una caja de machos, generalmente realizada en hierro fundido y calentada hasta alcanzar una temperatura comprendida entre 240 y 280°C, el calor provoca la fusión de la resina y la descomposición del endurecedor, produciéndose una mezcla que va endureciéndose progresivamente desde la zona en contacto con el molde metálico hacia el interior.

Cuando el espesor de capa endurecida es suficiente, se puede dar la vuelta al utillaje, vaciando de su interior el resto de arena preparada que no ha sido todavía endurecida y que puede ser aprovechada para una próxima ocasión. De esta forma se obtiene un macho hueco.

A la mezcla pueden añadirse diferentes aditivos con el fin de mejorarla.

A continuación citamos algunos de ellos:

- Estearato de calcio, como lubricante y desmoldante
- Óxido de hierro, para prevenir el veining, calcinaciones y pin-holes.
- Caolinita para aumentar la resistencia en caliente durante la colada.

En el endurecimiento del macho pasa por tres fases como pueden apreciarse en la Figura 3.1.

- Período de fusión de la resina.
- Comienzo de formación del gel de solidificación.
- Endurecimiento.

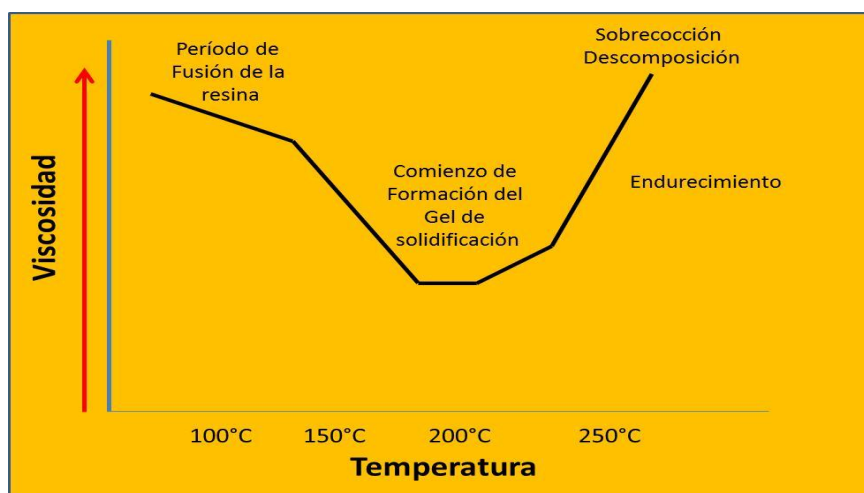


Figura 3.1. Distintas fases del endurecimiento del macho

Un macho o molde bien cocido, presenta una coloración de color miel oscura.

La homogeneidad de temperatura del utillaje tiene gran importancia, ya que se corre el riesgo de que queden zonas mal cocidas con el consiguiente peligro de desprendimientos de arena. Las temperaturas ideales de calentamiento para el utillaje se sitúan entre los 250° y 275° C, con dos límites extremos situados en 200° y 300°.

Los tiempos de cocción son variables según el espesor de pared requerido y pueden variar entre uno y varios minutos.

### **Ventajas e inconvenientes del proceso Croning**

Entre las ventajas indiscutibles de este proceso podemos citar:

- Buena precisión dimensional.
- Excelente aptitud al stokage.
- No tiene incompatibilidades con ninguna familia de aleaciones.
- Buena aptitud al desarenado durante el proceso de desmoldeo.

Entre los inconvenientes sobresalen:

- Costo elevado de la mezcla.
- Utillajes costosos, ya que las cajas de machos son metálicas y mecanizadas.

#### **3.2.2. Proceso denominado Caja Caliente (Hot box)**

Este proceso, como el Croning, es un proceso de endurecimiento en caliente y consiste en la introducción, bien por soplado o por llenado, de una arena premezclada con resina y un catalizador en el interior del utillaje metálico caliente.

Este proceso se desarrolló durante los años 60 y conoció su impulso más significativo durante los 70.

La mezcla puede prepararse en el lugar de trabajo y está compuesta por arena de sílice, una resina líquida en una solución acuosa y de un catalizador.

La resina en solución acuosa puede pertenecer a una de las combinaciones siguientes: Fenol - Formol (FF) Urea - Formol (UF) Furánica por poli condensación de alcohol furfurílico (AF) y los co-polímeros siguientes: UF-FFUF-AFFF-AFUF-FF-AF

La arena utilizada en este proceso es arena siliciosa con un índice de finura comprendido entre 50 y 100 AFS.

La humedad máxima aconsejable es de 0,2%.

### **3.3. Sistema de moldeo mediante gas carbónico**

#### **3.3.1. Sistema aglomerante con resina fenólica – CO<sub>2</sub>**

Son aquellas resinas fenólicas alcalinas que requieren de la adición de gas carbónico (CO<sub>2</sub>) como agente de curado, convirtiéndose en un nuevo proceso para la fabricación de moldes de arena.

#### **Características:**

- La resina no contiene nitrógeno, sulfuro o fósforo, se reducen los defectos en las piezas.
- El CO<sub>2</sub> no es tóxico, el proceso no afecta el medioambiente.
- Tiempo de vida de banca prolongado (3 días), lo cual lo hace en un sistema eficiente.

- Puede ser empleada en varios tipos de arena, para la fundición de acero y hierro.

#### **Dosificación:**

- Dosificación de la resina: 2.5 – 3.5% con respecto a la arena.  
Tiempo de mezclado: 1 – 2 minutos
- Dosificación CO<sub>2</sub>: 10 – 25 l/min, depende del tamaño del molde y la temperatura de la arena.

Tabla 3.9. Especificaciones técnicas de la resina fenólica con curado con CO<sub>2</sub>

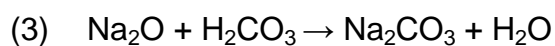
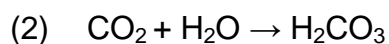
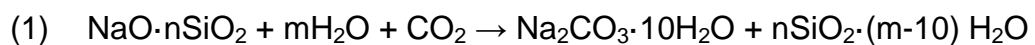
<b>Componentes</b>	<b>Valores</b>
Resina fenólica	30 – 35%
Hidróxido de potasio	15 – 22%
Tetra borato de sodio	5 -10%
Agua	30 – 40%
Densidad (20°C)	1.26 – 1.32 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidad (20°C)	< 300 mPa.s
Vida útil	~ 6 meses
Aplicación	Fabricación de almas para los moldes de fundición

#### **3.3.2. Sistema aglomerante con silicato de sodio – CO<sub>2</sub>**

Es una técnica que se basa en el endurecimiento del material de moldeo (arena y el aglomerante de silicato sódico) mediante ácido carbónico o bien con arenas aglutinadas con silicato sódico de auto curado.

Se emplea fundamentalmente en la fabricación de machos y en algunos casos muy concretos para moldes.

La mezcla del material de moldeo, es decir la arena y el aglomerante de silicato sódico se endurece por inyección del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) también llamado con frecuencia iniciador. El silicato sódico reacciona con el dióxido de carbono transformándose en pocos segundos en sosa y ácido silícico en forma de gel que provoca la aglutinación de los granos de arena en el molde. Durante la inyección del gas se producen diferentes reacciones químicas entre las que pueden destacarse:



Los aglomerantes de silicato sódico con un módulo elevado (relación molar entre el SiO<sub>2</sub> y el Na<sub>2</sub>O) reaccionan rápidamente con el CO<sub>2</sub>. Un exceso de CO<sub>2</sub> tiene como consecuencia que la humedad del gel silíceo se transforme en H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al reaccionar con el CO<sub>2</sub>, con lo que el ácido silícico amorfo resultante se pierde para la reacción de la ecuación (1) y acaba formándose menos ácido silícico en forma de gel. Esto reduce la resistencia del semi molde.

En caso de que los semi moldes y machos no alcancen la resistencia máxima inicial al haberse inyectado una cantidad insuficiente de

CO<sub>2</sub>, aumentará la resistencia de los mismos durante su almacenamiento, como consecuencia del CO<sub>2</sub> contenido en el aire circundante.

Para mejorar la superficie de los semi moldes y machos se emplean revestimientos alcohólicos.

### **Material de moldeo**

El material de moldeo base utilizado es arena de cuarzo seca y lavada, con un tamaño granular medio entre 0,2 y un máximo de 0,6 mm.

El silicato sódico es un silicato alcalino y tiene un pH de 12 aproximadamente, contiene aproximadamente un 35% en peso de Na<sub>2</sub>O+SiO<sub>2</sub>.

Con el objeto de mejorar las características del aglomerante, suelen adicionarse a menudo plastificantes (alcoholes polivalentes), sustancias hidrófugas (estabilizadores de la humedad) y azúcar (aceleradores de la desintegración). La siguiente tabla muestra a modo de ejemplo la composición de una mezcla de material de moldeo.



Tabla 3.10. Composición de materiales de moldeo en la técnica de moldeo con silicato de sodio

Arena sílice entre 50 y 80% puede ser resina regenerada.	100pp
Silicato de sodio	De 2 a 5pp
Inyección de CO <sub>2</sub>	---
Teórica	De 0,06 a 1,00% en peso de CO <sub>2</sub>
Dosificación manual	De 1 a 5% de CO <sub>2</sub>
Con dosificador	De 1 a 1,5% en peso de CO <sub>2</sub>
Aditivos para el curado más rápido, una mayor resistencia, una menor sensibilidad a la humedad y una mejor desintegración.	1% aproximadamente de resina fenólica alcalina
Aditivos para mejorar la superficie de la fundición.	Polvo de hulla, grafito.
Aditivos para mejorar la desintegración	Polvo de hulla, hidratos de carbono solubles, arcillas

### Campos de aplicación

La técnica del CO<sub>2</sub> se emplea en la fundición del hierro y de metales no férricos para la elaboración de piezas sueltas y en serie de fundiciones de hasta 1.000 Kg. de peso. La mala calidad de las superficies, comparada con la obtenida aplicando otras técnicas de moldeo, puede mejorarse utilizando revestimientos. En lo relativo a la seguridad laboral y protección medioambiental, cabe destacar que tanto durante la elaboración del material de moldeo como durante el vaciado apenas se producen emisiones de sustancias contaminantes. Por el contrario es necesario mencionar también la menor resistencia, la conservabilidad limitada y las malas propiedades de desintegración de los moldes y machos, así como la mala regenerabilidad de las arenas usadas.

### **3.4. Sistema de moldeo de arena en verde**

Se denominan de arena en verde porque el elemento fundamental que es la arena se encuentra aglomerada con arcilla humedecida. Estas arenas principalmente están constituidas por arenas de sílice a las que se les añade bentonita y agua con el fin de que la mezcla sea lo suficiente débil como para fluir y adaptarse rígidamente al modelo y lo bastante fuerte como para mantener su forma durante el desmoldeo y posterior colada.

Las partes del molde, que habitualmente son dos por lo que se les denomina semimoldes, se obtienen compactando el material de moldeo alrededor de un modelo.

La compactación puede ser manual (apisonado) o mecánica mediante moldeadoras (por sacudidas, prensado, vibración, vacío, de aire comprimido, etc.). La pieza permanece en el molde tras la colada hasta alcanzar la temperatura de desmoldeo que habitualmente viene definida más por necesidades del circuito que por consideraciones de tipo metalúrgico.

La destrucción del molde propiciada por el desmoldeo, genera gran cantidad de arena usada que por lo general da como resultado una mezcla de la propia arena del molde y la de los machos.

Ante la imposibilidad de desprenderse de estas cantidades ingentes de arena usada, tanto por los motivos operativos como económicos, la mayor parte de ella se somete a un tratamiento de acondicionamiento y se

reutiliza en la fabricación de nuevos moldes, con lo cual la arena se encuentra en un circuito cerrado al que se va añadiendo arena nueva de forma gradual.

Esta práctica es imprescindible y debe realizarse de forma controlada puesto que en el circuito se van acumulando elementos no deseados. Esta bentonita ha perdido de forma irreversible su capacidad de aglomerar puesto que libera su agua de cristalización a temperaturas superiores a 500 °C. La creciente presencia de bentonita calcinada y granos fragmentados de arena en el circuito influyen negativamente en la calidad del molde por lo que se hace necesario desechar una parte de arena usada al circuito y sustituirla por arena nueva y adicionar bentonita activa.

Los moldes se fabrican con arenas compuestas fundamentalmente de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), cuyos granos se aglomeran con cierta cantidad de agua y arcilla.

Tabla 3.11. Componentes de la arena para un sistema de moldeo en verde

<b>Componente</b>	<b>Proporción</b>
Arena sílice	75%
Bentonita	20%
Agua	5%

La arena que se debe emplear para la elaboración de moldes y machos siempre ha de poseer las siguientes propiedades:

- **Plasticidad** en estado húmedo, para que pueda reproducir los detalles de los modelos.
- **Permeabilidad**, para permitir el paso a través de ella del aire y de los gases que se producen durante la colada.
- **Refractariedad**, manifestada en un punto de fusión lo suficientemente alto para resistir –sin fundirse ni reblandecerse– las altas temperaturas de la colada.
- **Cohesión**, para que el molde y el macho conserven su forma al retirar el modelo.
- **Conductividad calorífica adecuada**, para que el metal o la aleación se enfríe en el molde a la velocidad deseada.
- **Deformabilidad suficiente**, que permita la contracción de la pieza al enfriarse.
- **Costo**, tener un precio aceptable.

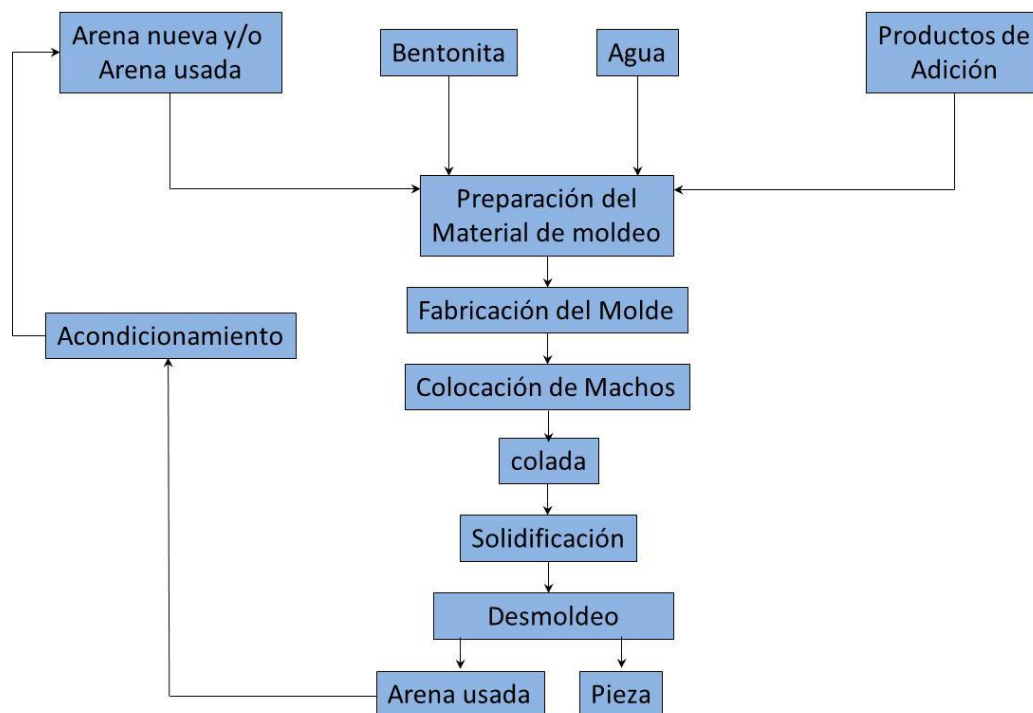


Figura 3.2. Flujograma operativo para un sistema de moldeo en verde

Las materias primas utilizadas en el moldeo mediante arena en verde son:

- **Arena.-** El material base de moldeo utilizado habitualmente es la arena propiamente dicha y un aglomerante que confiere a la arena la cohesión suficiente para la ejecución del molde. La arena sílice es de tipo granular con un calibre entre 0,20 y 0,24 mm. y superficie esférica entre 100 y 160 cm<sup>2</sup>/gr.
- **Bentonita.-** Por su parte el componente principal de las bentonitas es la montmorilonita que supone un 75% del peso total. Se trata de silicato multicapa que tiene propiedades de adhesividad y plasticidad que se transfieren a la mezcla.

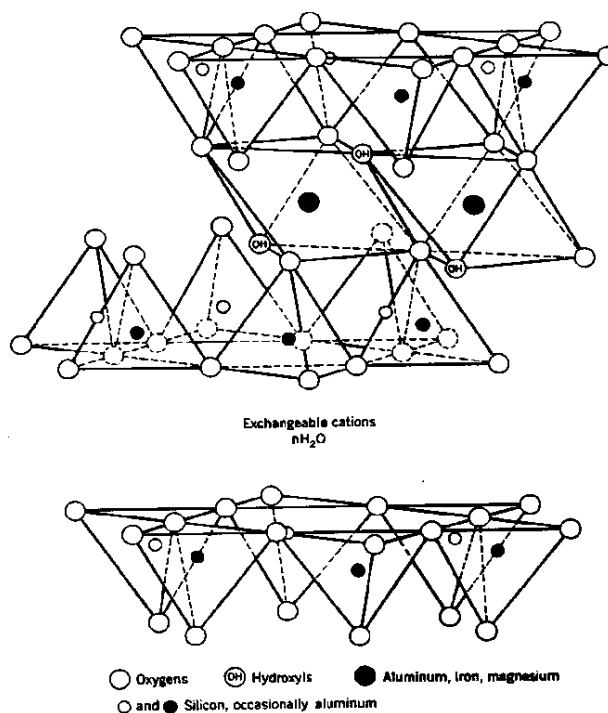


Figura 3.3. Sistema de cristalización de la bentonita cálcicas y de magnesio

La mayoría de las bentonitas están saturadas por naturaleza con iones de calcio y de magnesio, en ocasiones, también con iones de sodio. Los iones influyen en el comportamiento frente al agua y especialmente sobre el hinchamiento. Una ventaja importante de las bentonitas de sodio, en comparación con las bentonitas de calcio, es que la formación de bentonita dura se inicia a temperaturas superiores. Cambiando los iones de calcio de una bentonita de calcio por iones de sodio mediante adición de sosa, se obtiene una bentonita de sodio activada con una mejor capacidad de hinchamiento. El grado de activación se determina indirectamente a través de la resistencia a la tracción en húmedo y permite averiguar si se trata de una bentonita de calcio o de sodio.

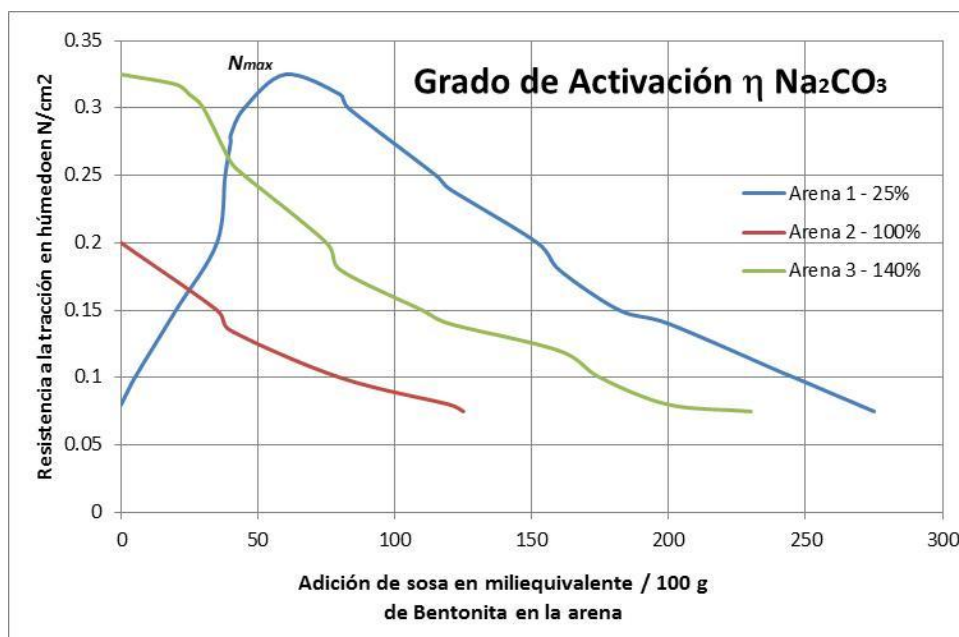


Figura 3.4. Determinación del grado de activación por medio de la resistencia en húmedo con 6 partes en peso (pp) de bentonita y 3% de agua

El valor azul de metileno es otra de las características propias de las arenas aglomeradas con bentonita. La fijación de esta tinta está en función del contenido de montmorilonita y de la capacidad de intercambio de iones de las bentonitas. Dicha fijación es el resultado de la sustitución de los cationes ligados en la superficie de la capa de arcilla por el azul de metileno, y constituye una medida para comprobar el contenido de montmorilonita presente en la arcilla.

Las bentonitas altamente cualitativas presentan las características recogidas en la siguiente tabla.

Tabla 3.12. Características de las bentonitas altamente activas

Contenido de agua	< 4%
Porcentaje de grano >0.2 mm.	10% como máximo
Valor del azul de metilo	35% como mínimo
Grado de activación	Entre 90 y 110% en bentonita de sodio activadas y naturales
Resistencia a la tracción en húmedo	27p/m <sup>2</sup> como mínimo para una mezcla de arena con 6pp de bentonita de sodio activada natural y un 3% de agua.

La cantidad de bentonita adicionada a la arena de moldeo está en función, no sólo de las características específicas de las arenas y bentonitas empleadas, sino también de las exigencias relativas a la resistencia y a la permeabilidad a los gases planteados al molde.

### **Campos de aplicación**

Los moldes de arena en verde se utilizan para la fabricación de todo tipo de piezas en los distintos materiales, formas y tamaños. Las limitaciones no vienen por la propia arena del molde, sino por las exigencias de la pieza fundamentalmente en lo que a precisión dimensional y grado de acabado superficial se refiere.

Los moldes de arena en verde pueden obtenerse mediante cajas soporte o sin ellas en función del sistema de moldeo utilizado.

Las dimensiones de los moldes fabricados en cajas pueden variar de 300 x 400 mm a 4000x 6000 mm o aún más con un espesor de molde de 100 a 800 mm.



Tabla 3.13. Pesos máximos en kilogramo de las piezas elaboradas en moldes de arena en verde según el tipo de fundición

MATERIAL	Moldeo en máquina		Moldeo manual en caja fosa
	Sin caja	En caja	
<b>Fundición de hierro</b>	150	500	1000
<b>Fundición maleable</b>	100	200	100
<b>Fundición de acero</b>	50	2000	2000
<b>Fundición de metales ligeros (aluminio, magnesio)</b>	50	500	500
<b>Fundición de metales pesados (bronce industrial, bronce, latón)</b>	50	500	500

La fundición de piezas en moldes de arena en verde satisface las exigencias de muchos de los sectores que utilizan estas piezas en lo que se refiere a cantidad de piezas, precisión dimensional, formas y pesos, calidad superficial, etc.

El desarrollo de técnicas modernas de compactación de la arena en verde ha permitido mejorar algunos de los aspectos más problemáticos, como son el de la precisión dimensional y el grado de acabado.

El moldeo de arena en verde es una técnica muy extendida en la industria de la fundición debido entre otras cosas a su versatilidad, seguridad en el proceso, repetitividad y alta productividad (hay ciclos inferiores a 10 seg.). Desde el punto de vista del coste también presenta unos costes relativamente bajos en comparación con los de otras técnicas de moldeo.

## **CAPÍTULO 4**

### **DESCRIPCIÓN DEL DESARROLLO DE LAS PRUEBAS PARA LOS DISTINTOS SISTEMAS DE AGLOMERACIÓN DE CURADO EN FRÍO**

Como se ha detallado en la primera parte de este informe, la presente Tesis tiene como objetivo dar a conocer los principales parámetros de operación de los sistemas de aglomeración de curado en frío empleando resina fenólica alcalina, resina furánica y resina fenólica – uretánica.

Para el análisis de los tres sistemas de aglomeración se empleó arena sílice, material empleado para la fabricación de los moldes. En una primera etapa se empleó arena sílice nueva con las siguientes características: AFS: 48.5%, % Finos: 0.30% y LOI: 0.10%; mientras que para la segunda etapa de las pruebas se empleó arena sílice con distintos porcentajes de finos y AFS, a fin de caracterizar la arena para un apropiado sistema de moldeo.

Para determinar el porcentaje adecuado de resina y catalizador para los tres sistemas de aglomeración en frío se efectuaron pruebas con distintas dosis de resina y catalizador y en cada una de ellas se determinó la resistencia a la tracción de los moldes a los siguientes tiempos: 1 hora, 2 horas, 3 horas, 6 horas, 12 horas y 24 horas, a fin de observar qué

dosificación supera los 82PSI (valor determinado por la fundiciones como mínimo estándar para sus moldes a las 12 horas de moldeo).

La selección de la dosis adecuada se efectuará al realizar un cociente entre el costo de los insumos empleados para mezclar la arena sílice y la resistencia a la tracción a las 12 horas de moldeo. El cociente que tenga el menor valor de los obtenidos será el porcentaje de insumos que deben emplearse para cada sistema. Tener en consideración que la resistencia a la tracción mínima en el molde debe ser 82PSI, valores menores a dicho valor no serán considerados para calcular el cociente. Asimismo, en esta etapa se evaluará el tiempo de vida de banca y tiempo de curado de la arena de moldeo.

Calculado la mejor dosificación de resina y catalizador para cada sistema se procedió a determinar el porcentaje máximo de finos contenidos en la arena sílice, para ello también fue necesario efectuar pruebas de resistencia a la tracción a los mismos periodos y compararlo con el valor obtenido a las 12 horas de moldeo con respecto a los 82PSI.

Empleando las mismas dosis de resina y catalizador se determinó el porcentaje máximo de retorno de la arena sílice, a fin de evaluar el costo de los insumos químicos necesarios para mezclar 1TN de arena sílice nueva y recuperada.

#### **4.1. Procedimiento para las pruebas de aglomeración con resina fenólica alcalina**

Para efectuar las pruebas en un sistema fenólico alcalino se empleó la resina Novaset 757 de curado intermedio del fabricante brasileño Ashland y el catalizador empleado fue la Triacetina, correactante de procedencia china empleado en todas las fundiciones.

Para dicho sistema de aglomeración se emplearon las siguientes dosis de resina: 0,95%, 1,05%, 1,15% y 1,25% (respecto al peso de la arena) y en cada dosis de resina se empleó concentraciones del 20%, 22% y 25% de catalizador (respecto al peso de la resina), a fin de determinar el tiempo de vida de banca y tiempo de cura de la arena.

#### **4.2. Pruebas de aglomeración con resina furánica**

Para efectuar las pruebas en un sistema furánico se empleó la resina NB 406 del fabricante canadiense MANCUSO y su respectivo catalizador.

Para dicho sistema de aglomeración se emplearon las siguientes dosis de resina: 0,90%, 1,00%, 1,10% y 1,20% (respecto al peso de la arena) y en cada una de las pruebas se empleó concentraciones del 17%, 20%, 22% y 25% de catalizador (respecto al peso de la resina), a fin de determinar el tiempo de vida de banca y tiempo de cura de la arena.

### **4.3. Pruebas de aglomeración con resina fenólica - uretánica**

Para efectuar las pruebas en un sistema fenólico - uretánico se empleó la resina Pep Set Quantum del fabricante Ashland y su respectivo catalizador.

Para dicho sistema de aglomeración se emplearon las siguientes dosis de resina: 0,65%, 0,75%, 0,85%, 0,90% y 0,95% (respecto al peso de la arena), manteniendo constante la relación de resinas (Parte I/Parte II de 65/35). En cada una de las pruebas se empleó concentraciones del 1,5%, 2,5% y 3,5% de catalizador (respecto al peso de la resina), a fin de determinar el tiempo de vida de banca y tiempo de cura de la arena.

### **4.4. Índice Finura de las Arenas de Moldeo**

Según la ASF (Association Society Froundry man's) establece un procedimiento para la determinación de índice de finura o finesa de las arenas de fundición.

Se debe de tomar el residuo de arena que se uso en la determinación del contenido de arcilla, en las arenas de moldeo. Esta muestra es pesada y tamizada por 15 min en un juego de tamices determinadas por el usuario a criterio (esto varia en que rangos se desea determinar el índice de finura). Luego de los datos obtenidos por el tamizaje, se determinar los porcentajes de peso retenidos en cada malla del juego de tamiz seleccionado.

Luego los porcentajes obtenidos es multiplicado por un factor determinado para cada tamiz, y dividiéndola entre el residuo de arena obtenida luego de la eliminación de arcillas, según la siguiente formula:

$$\text{Indice de finura} = i = \frac{\sum(x_i \cdot f)}{\sum x_i}$$

Y se da a continuación los valores de los factores de los tamices:

Nº Tamiz	Apertura (mm)	Factor
6	3.36	3
12	1.68	5
20	0.84	10
30	0.59	20
40	0.42	30
50	0.290	40
70	0.210	50
100	0.149	70
140	0.105	100
200	0.074	140
270	0.053	200
Base	---	300

El índice de finura a la vez determina el grado de esferoidad, es decir a mayor área específica en las mismas mallas a analizar, determina mayor angulosidad y en forma viceversa, granos con menor área específica

determina a la vez un granos más redondo, lo que conllevaría a un consumo menor de insumos ligantes (resinas, bentonitas), el por tal motivo se usa más el tipo de arena de grano redondo.

## CAPÍTULO 5

### CÁLCULOS Y RESULTADOS

#### 5.1. Pruebas de aglomeración con resina fenólica alcalina

##### 5.1.1. Reportes de los parámetros de operación

Tabla 5.1. Parámetros de operación al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina fenólica alcalina empleando 20% de catalizador

Parámetros operación	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
<b>AFS</b>	48,5%	48,5%	48,5%	48,5%
<b>% Finos</b>	0,30	0,30	0,30	0,30
<b>% LOI</b>	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Temperatura (°C)</b>	16	16	16	16
<b>Resina fenólica alcalina</b>	0,95%	1,05%	1,15%	1,25%
<b>Catalizador</b>	20%	20%	20%	20%
<b>Tiempo de cura (min)</b>	30	30	30	30
<b>Tiempo vida banca (min)</b>	6,5	6,5	6,5	6,5
<b>Costo insumo (USD/TN arena SiO<sub>2</sub>)</b>	19,2	21,2	23,2	25,3

Tabla 5.2. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina fenólica alcalina empleando 20% de catalizador

Tiempo (Hr)	0,95% resina	1,05% resina	1,15% resina	1,25% resina
<b>1</b>	30,0	36,5	45,0	52,0
<b>2</b>	37,0	43,5	51,5	61,0
<b>3</b>	42,0	50,0	59,0	67,0
<b>6</b>	54,0	63,0	71,5	79,0
<b>12</b>	62,0	72,5	83,0	88,0
<b>24</b>	68,0	78,0	88,5	94,0



Figura 5.1. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina fenólica alcalina empleando 20% de catalizador

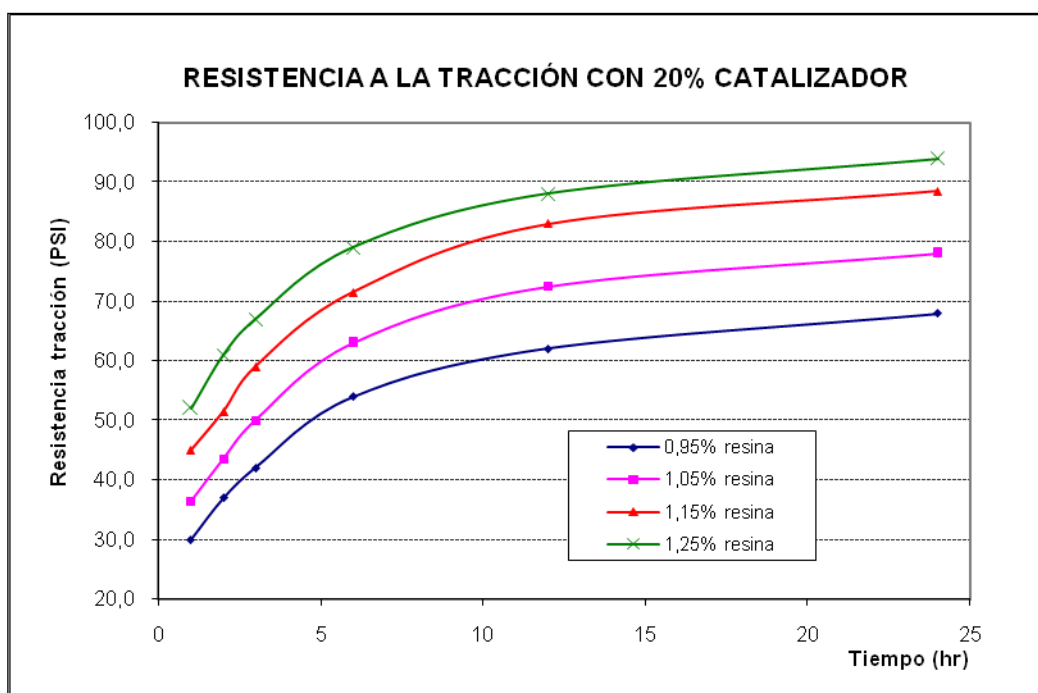


Tabla 5.3. Parámetros de operación al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina fenólica alcalina empleando 22% de catalizador

Parámetros operación	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
<b>AFS</b>	48,5%	48,5%	48,5%	48,5%
<b>% Finos</b>	0,30	0,30	0,30	0,30
<b>% LOI</b>	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Temperatura (°C)</b>	16	16	16	16
<b>Resina fenólica alcalina</b>	0,95%	1,05%	1,15%	1,25%
<b>Catalizador</b>	22%	22%	22%	22%
<b>Tiempo de cura (min)</b>	22	22	22	22
<b>Tiempo vida banca (min)</b>	5	5	5	5
<b>Costo insumo (USD/TN arena SiO<sub>2</sub>)</b>	19,5	21,5	23,6	25,7

Tabla 5.4. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina fenólica alcalina empleando 22% de catalizador

Tiempo (Hr)	0,95% resina	1,05% resina	1,15% resina	1,25% resina
1	37,0	42,0	52,0	57,0
2	46,0	53,0	60,0	68,5
3	51,0	59,0	66,5	75,0
6	59,0	70,0	78,0	85,0
12	64,0	75,0	86,0	91,0
24	67,5	78,0	90,0	94,5

Figura 5.2. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina fenólica alcalina empleando 22% de catalizador

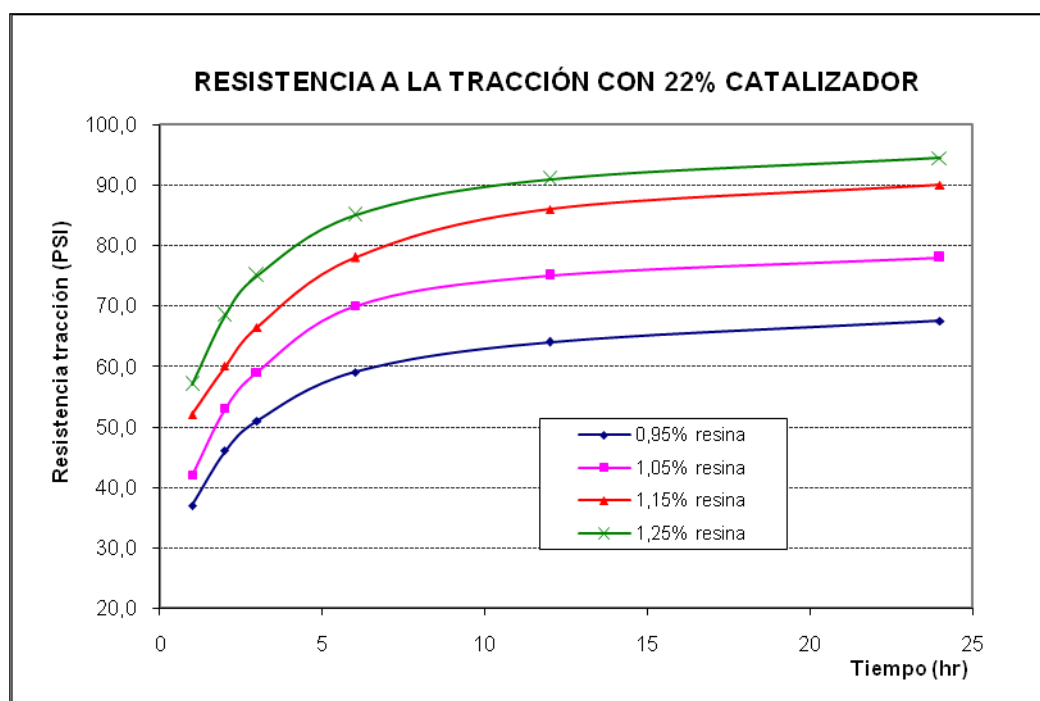


Tabla 5.5. Parámetros de operación al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina fenólica alcalina empleando 25% de catalizador

<b>Parámetros operación</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>
<b>AFS</b>	48,5%	48,5%	48,5%	48,5%
<b>% Finos</b>	0,30	0,30	0,30	0,30
<b>% LOI</b>	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Temperatura (°C)</b>	16	16	16	16
<b>Resina fenólica</b>	0,95%	1,05%	1,15%	1,25%
<b>Catalizador</b>	25%	25%	25%	25%
<b>Tiempo de cura (min)</b>	19	19	19	19
<b>Tiempo vida banca (min)</b>	4	4	4	4
<b>Costo insumo (USD/TN arena SiO<sub>2</sub>)</b>	20,0	22,1	24,2	26,3

Tabla 5.6. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina fenólica alcalina empleando 25% de catalizador

<b>Tiempo (Hr)</b>	<b>0,95% resina</b>	<b>1,05% resina</b>	<b>1,15% resina</b>	<b>1,25% resina</b>
<b>1</b>	42,0	46,5	55,0	60,0
<b>2</b>	51,0	58,0	66,0	75,5
<b>3</b>	56,0	65,0	72,0	81,0
<b>6</b>	63,0	72,0	82,0	88,5
<b>12</b>	66,5	76,5	87,5	93,0
<b>24</b>	68,0	78,0	89,5	94,5

Figura 5.3. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina empleando 25% de catalizador

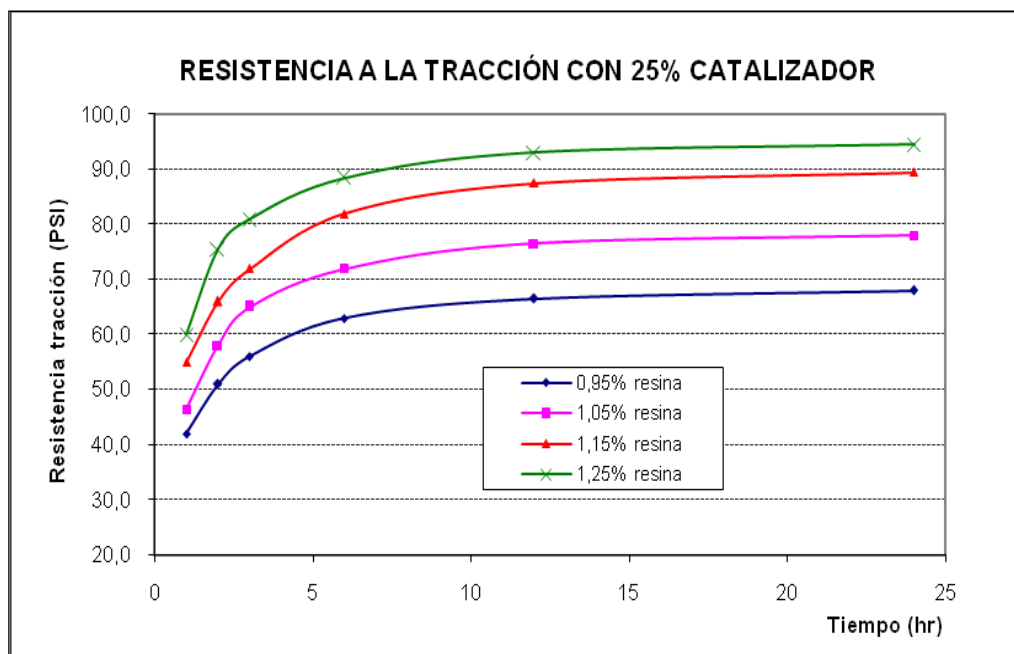


Tabla 5.7. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,25% de resina

Tiempo (Hr)	20% Catalizador	22% Catalizador	25% Catalizador
<b>1</b>	52,0	57,0	60,0
<b>2</b>	61,0	68,5	75,5
<b>3</b>	67,0	75,0	81,0
<b>6</b>	79,0	85,0	88,5
<b>12</b>	88,0	91,0	93,0
<b>24</b>	94,0	94,5	94,5

Figura 5.4 Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,25% de resina

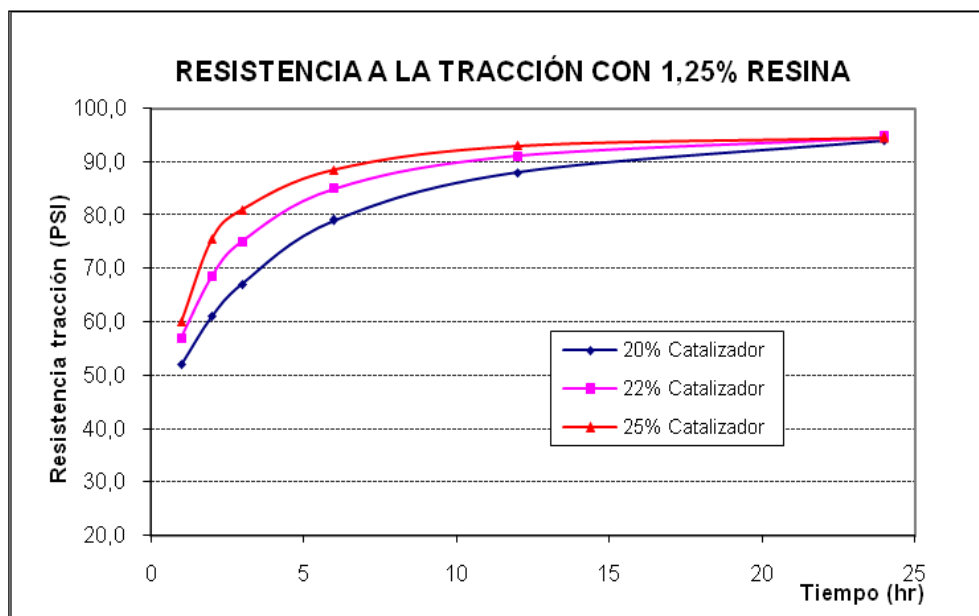


Tabla 5.8. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,15% de resina

Tiempo (Hr)	20% Catalizador	22% Catalizador	25% Catalizador
<b>1</b>	45,0	52,0	55,0
<b>2</b>	51,5	60,0	66,0
<b>3</b>	59,0	66,5	72,0
<b>6</b>	71,5	78,0	82,0
<b>12</b>	83,0	86,0	87,5
<b>24</b>	88,5	90,0	89,5

Figura 5.5. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,15% de resina

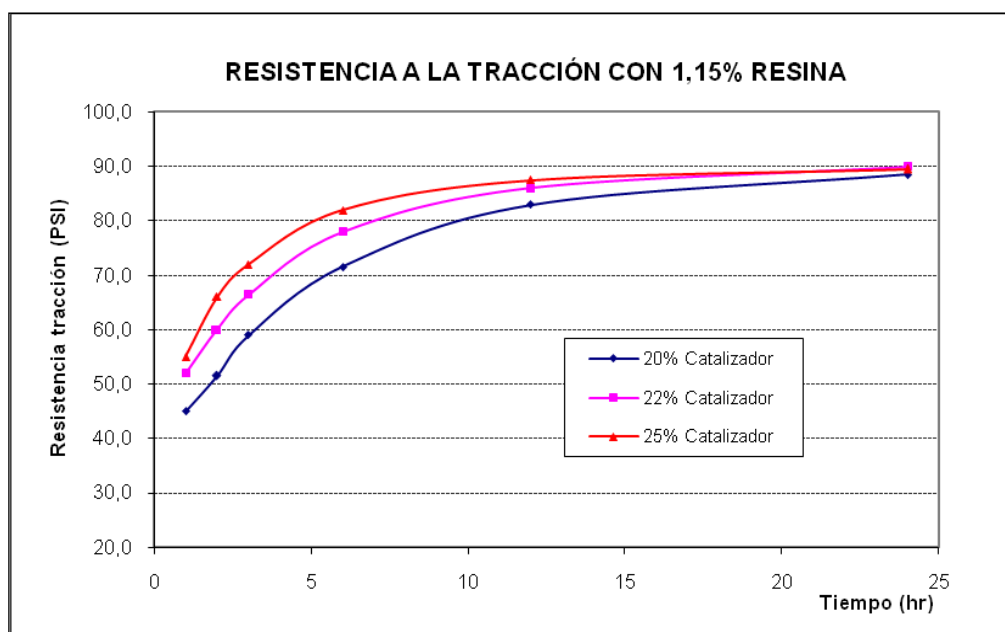


Tabla 5.9. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,05% de resina

Tiempo (Hr)	20% Catalizador	22% Catalizador	25% Catalizador
<b>1</b>	36,5	42,0	46,5
<b>2</b>	43,5	53,0	58,0
<b>3</b>	50,0	59,0	65,0
<b>6</b>	63,0	70,0	72,0
<b>12</b>	72,5	75,0	76,5
<b>24</b>	78,0	78,0	78,0

Figura 5.6. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,05% de resina

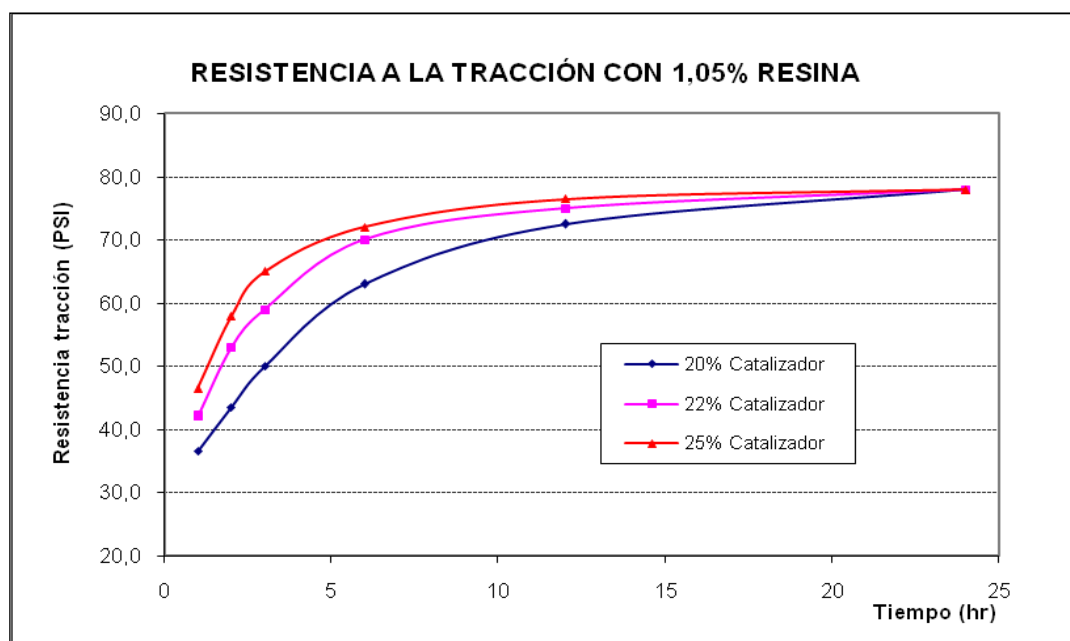
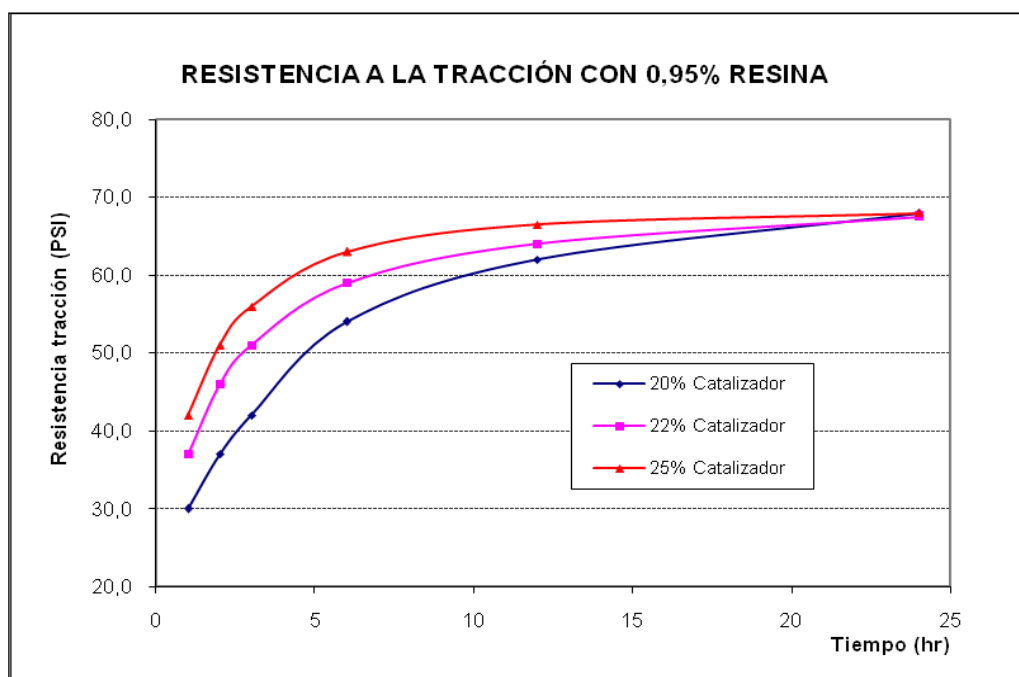


Tabla 5.10 Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,95% de resina

Tiempo (Hr)	20% Catalizador	22% Catalizador	25% Catalizador
<b>1</b>	30,0	37,0	42,0
<b>2</b>	37,0	46,0	51,0
<b>3</b>	42,0	51,0	56,0
<b>6</b>	54,0	59,0	63,0
<b>12</b>	62,0	64,0	66,5
<b>24</b>	68,0	67,5	68,0

Figura 5.7. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,95% de resina



### 5.1.2. Determinación de los parámetros de operación

Tabla 5.11. Precio unitario de la resina y catalizador para un sistema fenólico

Insumos químicos	Precios (USD/Kg)
Resina fenólica alcalina	1,70
Catalizador (Triacetina)	1,60



### 5.1.2.1. Determinación de la concentración de resina y catalizador

Tabla 5.12. Valores de los costos de los insumos por tonelada de arena y resistencia a la tracción obtenida de las distintas pruebas de aglomeración para un sistema fenólico

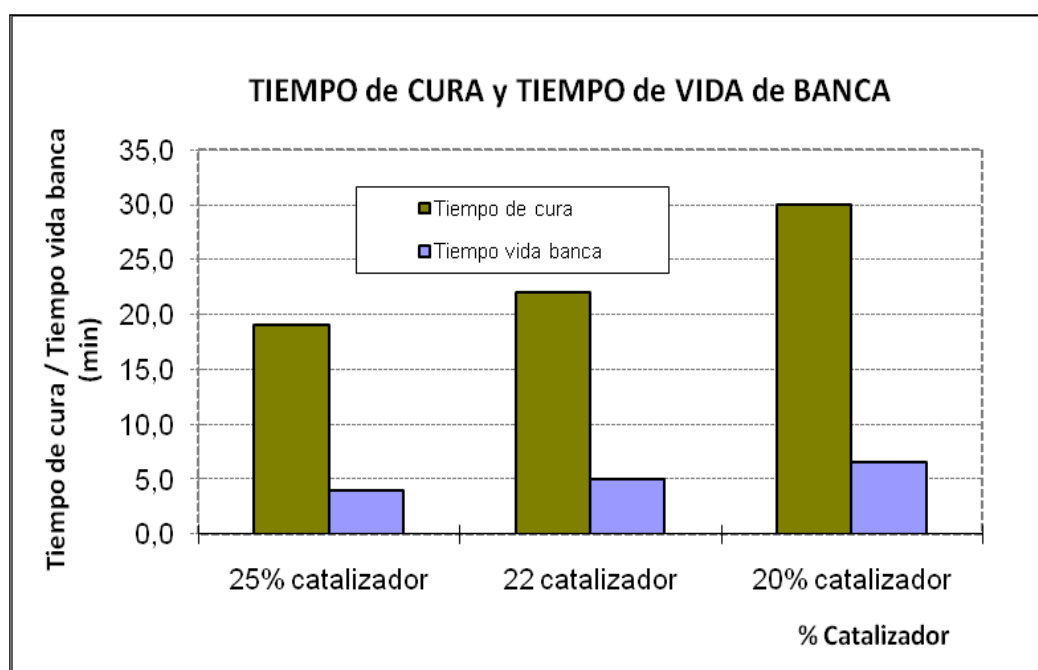
Catalizador (%)		20,0%				22,0%				25,0%			
Parámetros operación	Resina (%)	0,95%	1,05%	1,15%	1,25%	0,95%	1,05%	1,15%	1,25%	0,95%	1,05%	1,15%	1,25%
<b>Costo insumo (USD / TN arena SiO<sub>2</sub>)</b>		19,2	21,2	23,2	25,3	19,5	21,5	23,6	25,7	20,0	22,1	24,2	26,3
<b>Resistencia Tracción a las 12hr (PSI)</b>		62,0	72,5	83,0	88,0	64,0	75,0	86,0	91,0	66,5	76,5	87,5	93,0
<b>Costo Insumos/Resist. Tracción(USD/PSI)</b>		---	---	0,280	0,287	---	---	0,274	0,282	---	---	0,276	0,282

### 5.1.1.1. Determinación del tiempo de vida de banca y tiempo de curado

Tabla 5.13. Valores del tiempo de cura y tiempo de vida de banca al emplear arena sílice a dosis de resina fenólica de 0,95%, 1,05%, 1,15% y 1.25% y a distintos porcentajes de catalizador

Parámetros operación	20% catalizador	22% catalizador	25% catalizador
<b>AFS</b>	48,5%	48,5%	48,5%
<b>% Finos</b>	0,30	0,30	0,30
<b>Temperatura (°C)</b>	16	16	16
<b>Tiempo de cura (min.)</b>	30,0	22,0	19,0
<b>Tiempo vida banca (min.)</b>	6,5	5,0	4,0

Figura 5.8. Valores del tiempo de cura y tiempo de vida de banca al emplear dosis de resina de 0,95%, 1,05%, 1,15% y 1,25% de resina fenólica, variando la concentración del catalizador



### 5.1.1.2. Determinación del porcentaje de finos

Para determinar el porcentaje de finos de la arena sílice adecuado en un sistema fenólico alcalino se trabajó con una concentración de resina de 1,15% y 22% de catalizador, debido a que fueron las dosis obtenidas para trabajar moldes de medianos y grandes con mejores beneficios de operación.

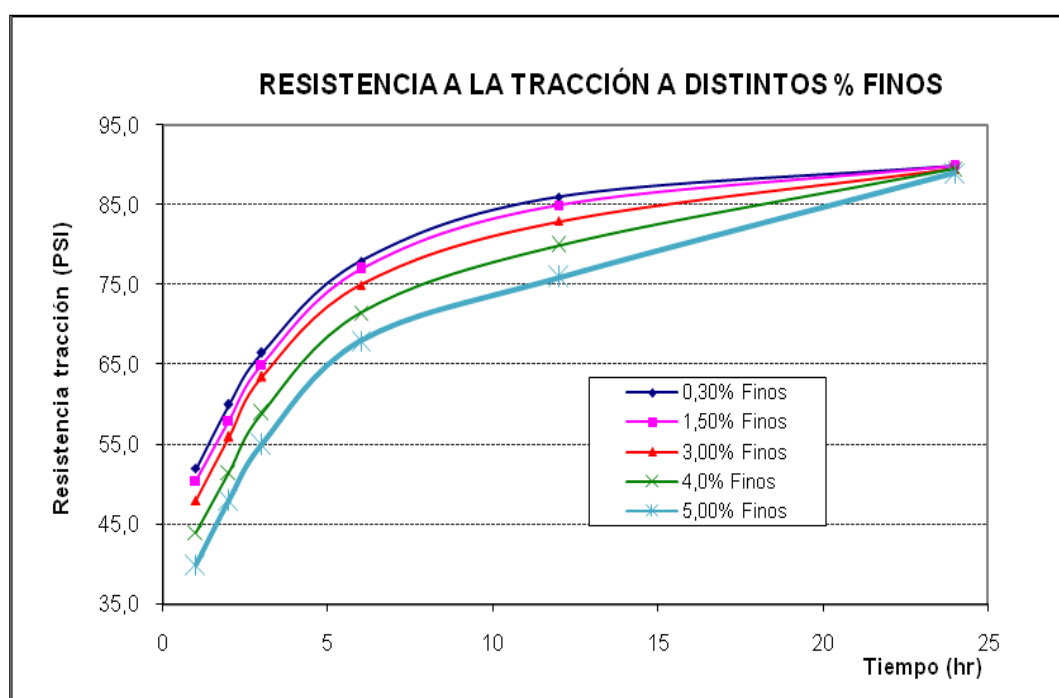
Tabla 5.14. Valores de operación al trabajar arena sílice nueva de distintas granulometrías y a dosis constantes de 1,15% de resina y 22% de catalizador

<b>Parámetros operación</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>
<b>AFS</b>	48,5%	51,8%	53,5%	56,7%	60,6%
<b>% Finos</b>	0,30	1,50	3,00	4,00	5,00
<b>% LOI</b>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Temperatura (°C)</b>	16	16	16	16	16
<b>Tiempo de cura (min.)</b>	22	22	22	22	22
<b>Tiempo vida banca (min.)</b>	5	5	5	5	5

Tabla 5.15. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de finos, empleando dosis de 1,15% de resina y 22% de catalizador

<b>Tiempo (Hr)</b>	<b>0,30% Finos</b>	<b>1,50% Finos</b>	<b>3,00% Finos</b>	<b>4,00% Finos</b>	<b>5,00% Finos</b>
<b>1</b>	52,0	50,5	48,0	44,0	40,0
<b>2</b>	60,0	58,0	56,0	51,5	48,0
<b>3</b>	66,5	65,0	63,5	59,0	55,0
<b>6</b>	78,0	77,0	75,0	71,5	68,0
<b>12</b>	86,0	85,0	83,0	80,0	76,0
<b>24</b>	90,0	90,0	89,5	89,5	89,0

Figura 5.9. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de finos empleando dosis de 1,15% de resina y 22% de catalizador



### 5.1.1.3. Determinación del porcentaje de retorno de la arena

Para determinar el porcentaje máximo de retorno de arena sílice se efectuaron pruebas de resistencia a la tracción a distintos tiempos, a fin de ver la influencia del porcentaje de retorno en la dureza del molde. Se trabajó con los mejores parámetros de operación: 1,15% de resina y 22% de catalizador.

Para el sistema fenólico alcalino se efectuaron pruebas de retorno de arena sílice del 10%, 20%, 30%, 40% y 50%. Los cuadros detallan los resultados de las pruebas.

Tabla 5.16. Valores de operación al trabajar distintos porcentajes de retorno de arena sílice con dosis de resina de 1,15% y 22% de catalizador

<b>Parámetros operación</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>	<b>Prueba 6</b>
<b>AFS</b>	48,5%	50,5%	52,3%	55,3%	58,7%	60,10
<b>% Finos</b>	0,30	1,80	2,45	3,05	3,45	4,10
<b>% LOI</b>	0,10	0,55	0,70	0,95	1,10	1,20
<b>% Retorno</b>	0%	10%	20%	30%	40%	50%
<b>Temperatura (°C)</b>	16	16	16	16	16	16
<b>Tiempo de cura (min)</b>	22	22	22	22	22	22
<b>Tiempo vida banca (min)</b>	5	5	5	5	5	5
<b>Costo insumo (USD/TN arena SiO<sub>2</sub>)</b>	83,6	77,6	71,6	65,6	59,6	53,6

Tabla 5.17. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice de retorno a distintos porcentajes y empleando dosis de 1,15% de resina y 22% de catalizador

<b>Tiempo (Hr)</b>	<b>0% Retorno</b>	<b>10% Retorno</b>	<b>20% Retorno</b>	<b>30% Retorno</b>	<b>40% Retorno</b>	<b>50% Retorno</b>
<b>1</b>	52,0	50,0	47,0	42,5	37,0	33,5
<b>2</b>	60,0	57,0	55,0	50,0	45,0	40,0
<b>3</b>	66,5	63,0	62,0	57,0	53,0	47,0
<b>6</b>	78,0	75,0	73,5	68,0	66,0	62,5
<b>12</b>	86,0	83,5	81,0	77,0	74,0	70,0
<b>24</b>	90,0	88,0	85,0	82,0	78,5	74,5

Figura 5.10. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo al emplear distintos porcentajes de retorno de arena sílice y empleando dosis de 1,15% de resina y 22% de catalizador

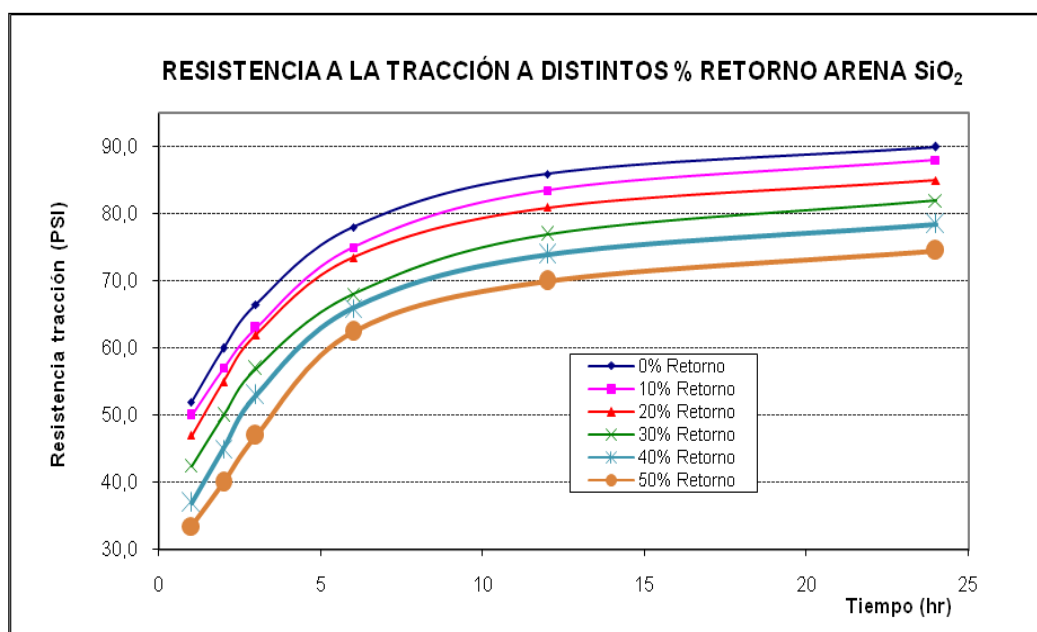
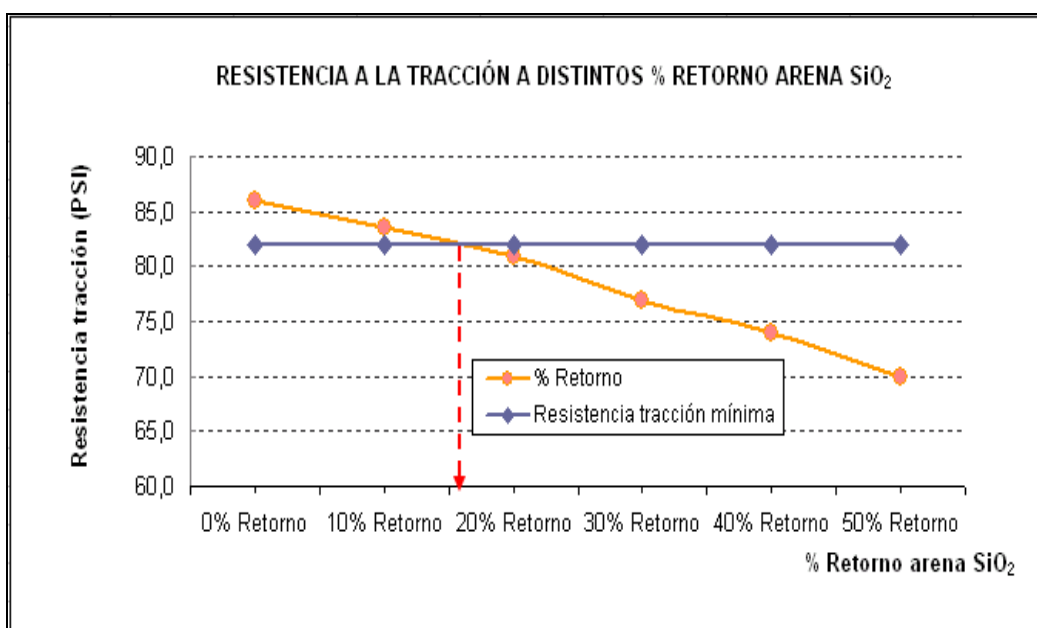


Figura 5.11. Determinación del porcentaje máximo de retorno de la arena sílice en un sistema de aglomeración en frío con resina fenólica alcalina empleando dosis de 1,15% de resina y 22% de catalizador



## 5.2. Pruebas de aglomeración con resina furánica

### 5.2.1. Reportes de los parámetros de operación

Tabla 5.18. Parámetros de operación al trabajar arena sílice a distintos porcentajes de resina furánica manteniendo constante el catalizador en 25%

Parámetros operación	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
<b>AFS</b>	48,5%	48,5%	48,5%	48,5%
<b>% Finos</b>	0,30	0,30	0,30	0,30
<b>% LOI</b>	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Temperatura (°C)</b>	16	16	16	16
<b>Resina furánica</b>	1,20%	1,10%	1,00%	0,90%
<b>Catalizador</b>	25%	25%	25%	25%
<b>Tiempo de cura (min)</b>	17	17	17	17
<b>Tiempo vida banca (min)</b>	4,5	4,5	4,5	4,5
<b>Costo insumo (USD/TN arena SiO<sub>2</sub>)</b>	37,9	34,7	31,6	28,4

Tabla 5.19. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina empleando 25% de catalizador

Tiempo (Hr)	1,20% Resina	1,10% Resina	1,00% Resina	0,90% Resina
<b>1</b>	62,0	56,5	51,0	45,5
<b>2</b>	78,0	69,0	62,0	55,0
<b>3</b>	86,0	76,0	69,5	62,5
<b>6</b>	92,0	84,0	76,0	69,0
<b>12</b>	97,5	91,0	81,0	74,0
<b>24</b>	100,0	93,5	83,0	75,5

Figura 5.12. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina empleando 25% de catalizador

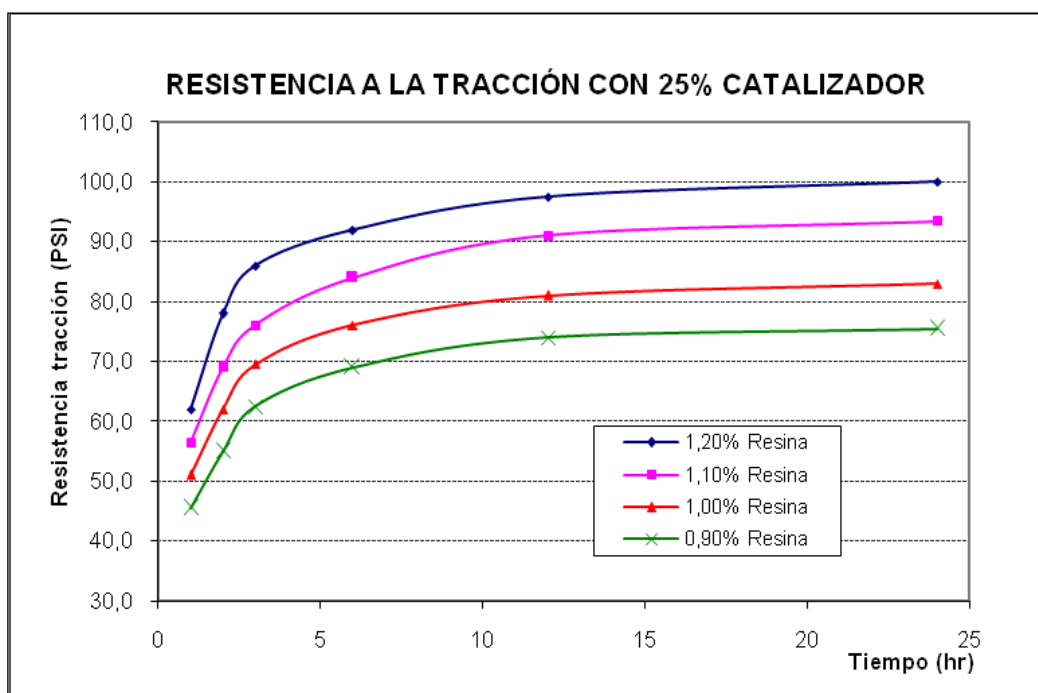


Tabla 5.20. Parámetros de operación al trabajar arena sílice a distintos porcentajes de resina furánica manteniendo constante el catalizador en 22%

Parámetros operación	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
<b>AFS</b>	48,5%	48,5%	48,5%	48,5%
<b>% Finos</b>	0,30	0,30	0,30	0,30
<b>% LOI</b>	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Temperatura (°C)</b>	16	16	16	16
<b>Resina furánica</b>	1,20%	1,10%	1,00%	0,90%
<b>Catalizador</b>	22%	22%	22%	22%
<b>Tiempo de cura (min)</b>	21	21	21	21
<b>Tiempo vida banca (min)</b>	6,0	6,0	6,0	6,0
<b>Costo insumo (USD/TN arena SiO<sub>2</sub>)</b>	37,3	34,2	31,1	27,9



Tabla 5.21. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina empleando 22% de catalizador

Tiempo (Hr)	1,20% Resina	1,10% Resina	1,00% Resina	0,90% Resina
1	58,5	54,0	47,0	40,5
2	70,0	63,0	55,5	49,0
3	77,0	70,0	62,0	55,0
6	88,0	81,0	72,0	63,5
12	96,0	90,0	80,0	71,0
24	99,5	93,0	83,5	75,0

Figura 5.13. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina empleando 22% de catalizador

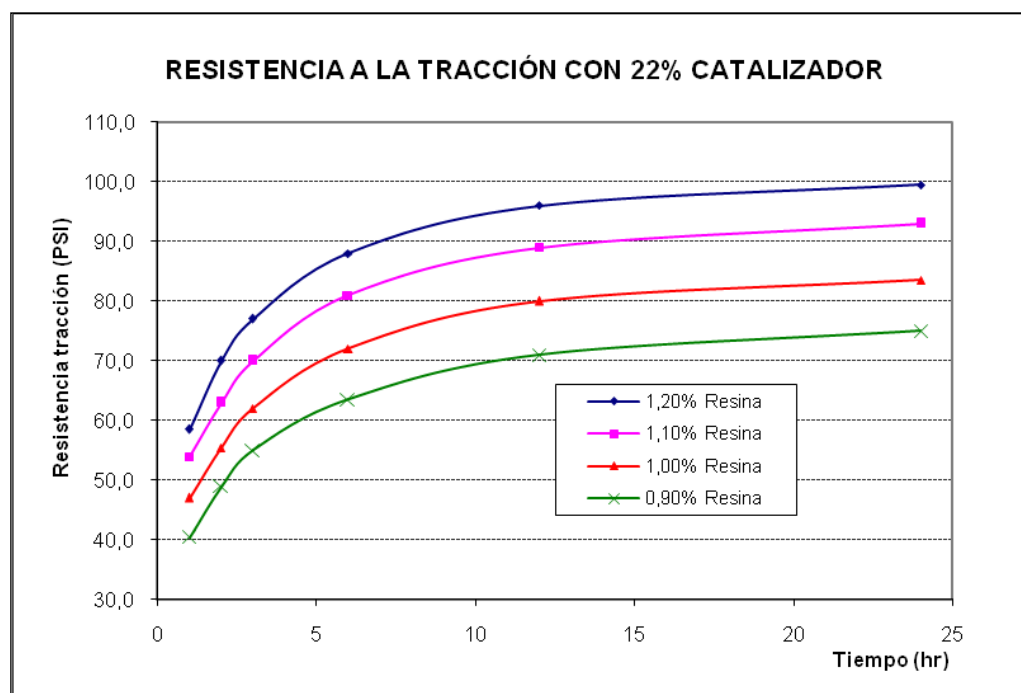


Tabla 5.22. Parámetros de operación al trabajar arena sílice a distintos porcentajes de resina furánica manteniendo constante el catalizador en 20%

Parámetros operación	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
<b>AFS</b>	48,5%	48,5%	48,5%	48,5%
<b>% Finos</b>	0,30	0,30	0,30	0,30
<b>% LOI</b>	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Temperatura (°C)</b>	16	16	16	16
<b>Resina furánica</b>	1,20%	1,10%	1,00%	0,90%
<b>Catalizador</b>	20%	20%	20%	20%
<b>Tiempo de cura (min)</b>	28	28	28	28
<b>Tiempo vida banca (min)</b>	7,5	7,5	7,5	7,5
<b>Costo insumo (USD/TN arena SiO<sub>2</sub>)</b>	36,8	33,8	30,7	27,6

Tabla 5.23. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina empleando 20% de catalizador

Tiempo (Hr)	1,20% Resina	1,10% Resina	1,00% Resina	0,90% Resina
<b>1</b>	56,0	48,5	43,0	36,0
<b>2</b>	64,5	55,5	51,0	44,0
<b>3</b>	71,0	63,0	57,0	51,0
<b>6</b>	83,0	75,5	68,0	62,0
<b>12</b>	93,0	86,0	76,0	68,5
<b>24</b>	100,0	93,0	83,0	75,0

Figura 5.14. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina empleando 20% de catalizador

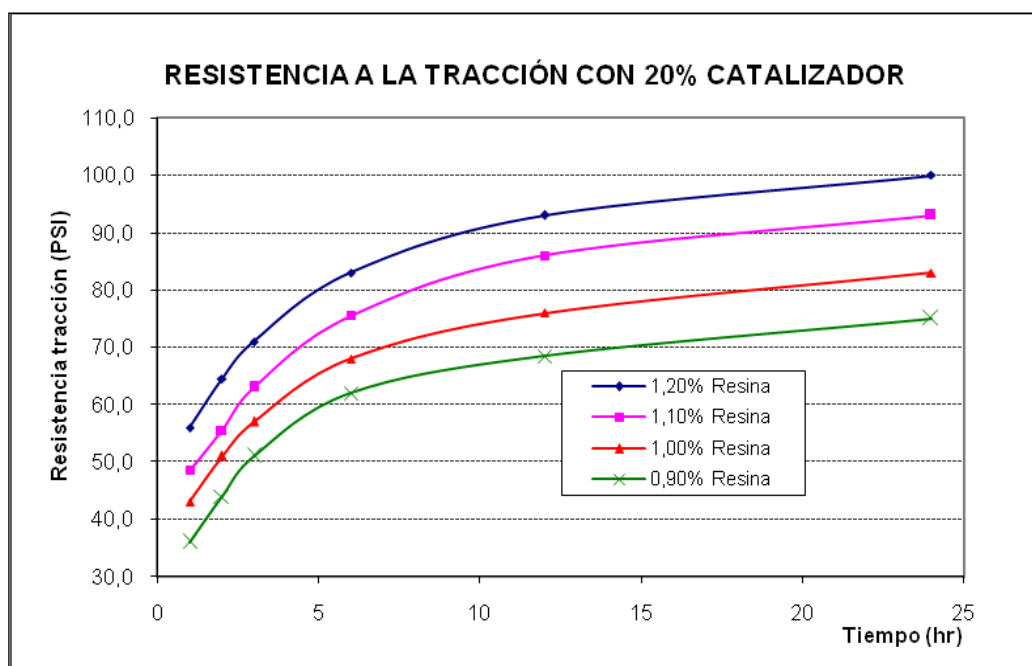


Tabla 5.24. Parámetros de operación al trabajar arena sílice a distintos porcentajes de resina furánica manteniendo constante el catalizador en 17%

Parámetros operación	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
<b>AFS</b>	48,5%	48,5%	48,5%	48,5%
<b>% Finos</b>	0,30	0,30	0,30	0,30
<b>% LOI</b>	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Temperatura (°C)</b>	16	16	16	16
<b>Resina furánica</b>	1,20%	1,10%	1,00%	0,90%
<b>Catalizador</b>	17%	17%	17%	17%
<b>Tiempo de cura (min)</b>	40	40	40	40
<b>Tiempo vida banca (min)</b>	9	9	9	9
<b>Costo insumo (USD/TN arena SiO<sub>2</sub>)</b>	36,2	33,2	30,2	27,2

Tabla 5.25. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina empleando 17% de catalizador

Tiempo (Hr)	1,20% Resina	1,10% Resina	1,00% Resina	0,90% Resina
1	50,0	43,0	39,0	33,0
2	56,0	49,0	45,0	38,0
3	62,0	55,0	49,5	43,0
6	75,0	67,5	61,0	53,0
12	88,0	80,0	72,5	64,0
24	100,0	92,5	83,0	75,0

Figura 5.15. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina empleando 17% de catalizador

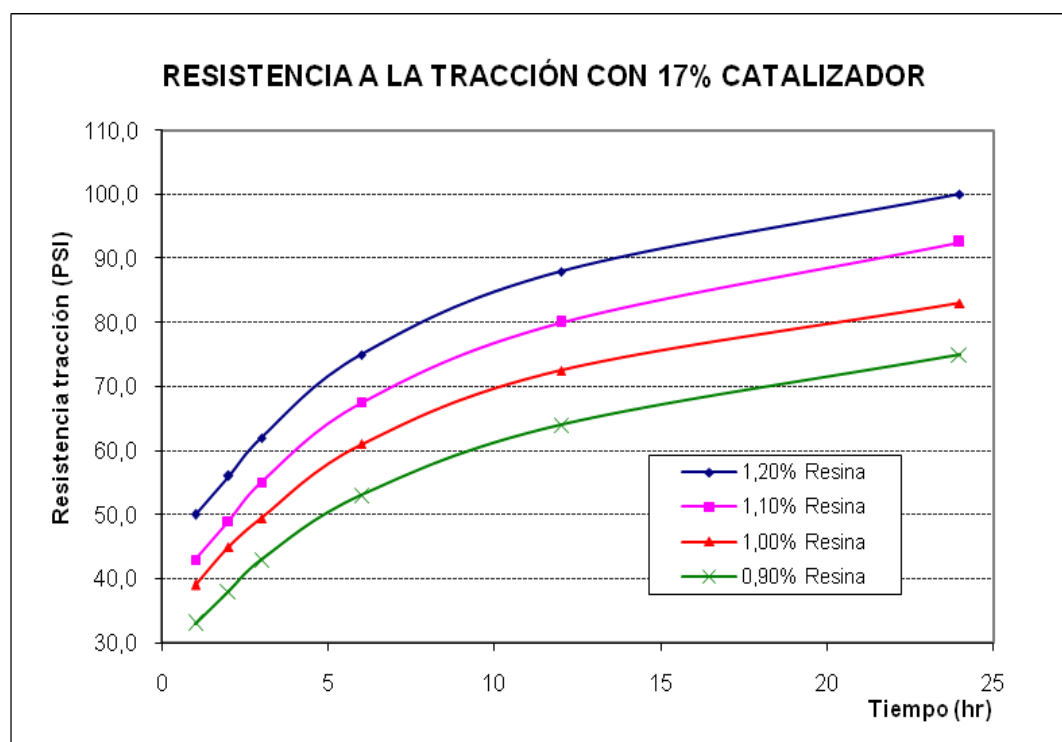


Tabla 5.26. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,20% de resina furánica

Tiempo (Hr)	25% Catalizador	22% Catalizador	20% Catalizador	17% Catalizador
1	62,0	58,5	56,0	50,0
2	78,0	70,0	64,5	56,0
3	86,0	77,0	71,0	62,0
6	92,0	88,0	83,0	75,0
12	97,5	96,0	93,0	88,0
24	100,0	99,5	100,0	100,0

Figura 5.16. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,20% de resina furánica

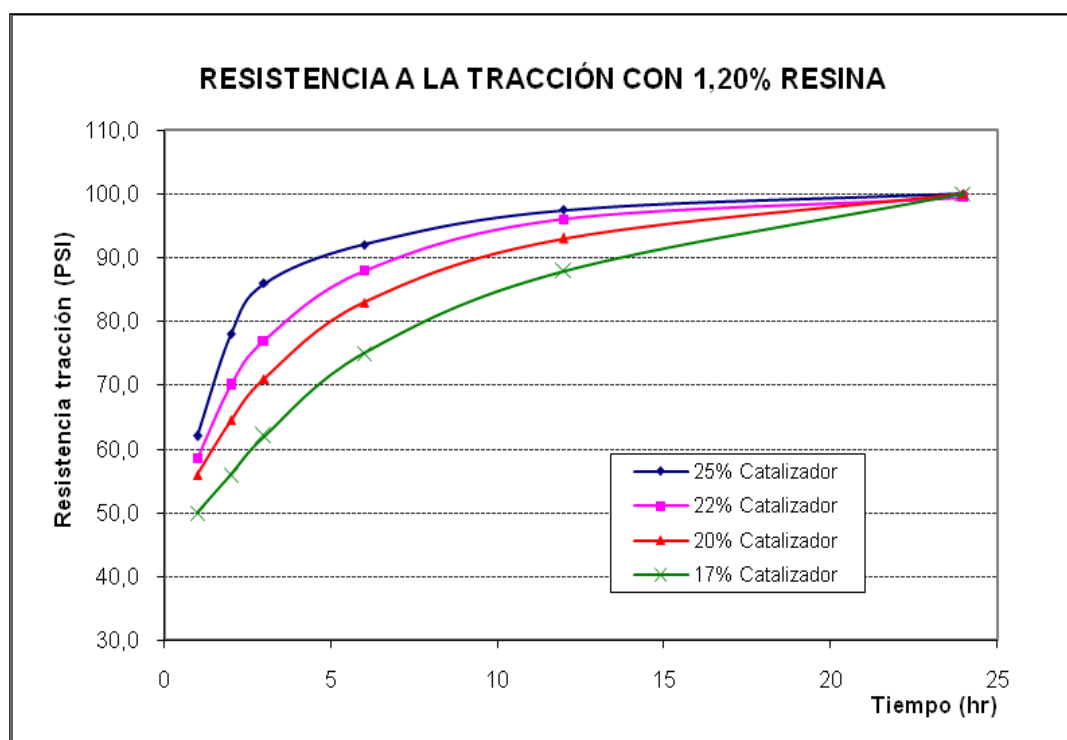


Tabla 5.27. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,10% de resina furánica

Tiempo (Hr)	25% Catalizador	22% Catalizador	20% Catalizador	17% Catalizador
1	56,5	54,0	48,5	43,0
2	69,0	63,0	55,5	49,0
3	76,0	70,0	63,0	55,0
6	84,0	81,0	75,5	67,5
12	91,0	90,0	86,0	80,0
24	93,5	93,0	93,0	92,5

Figura 5.17. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,10% de resina furánica

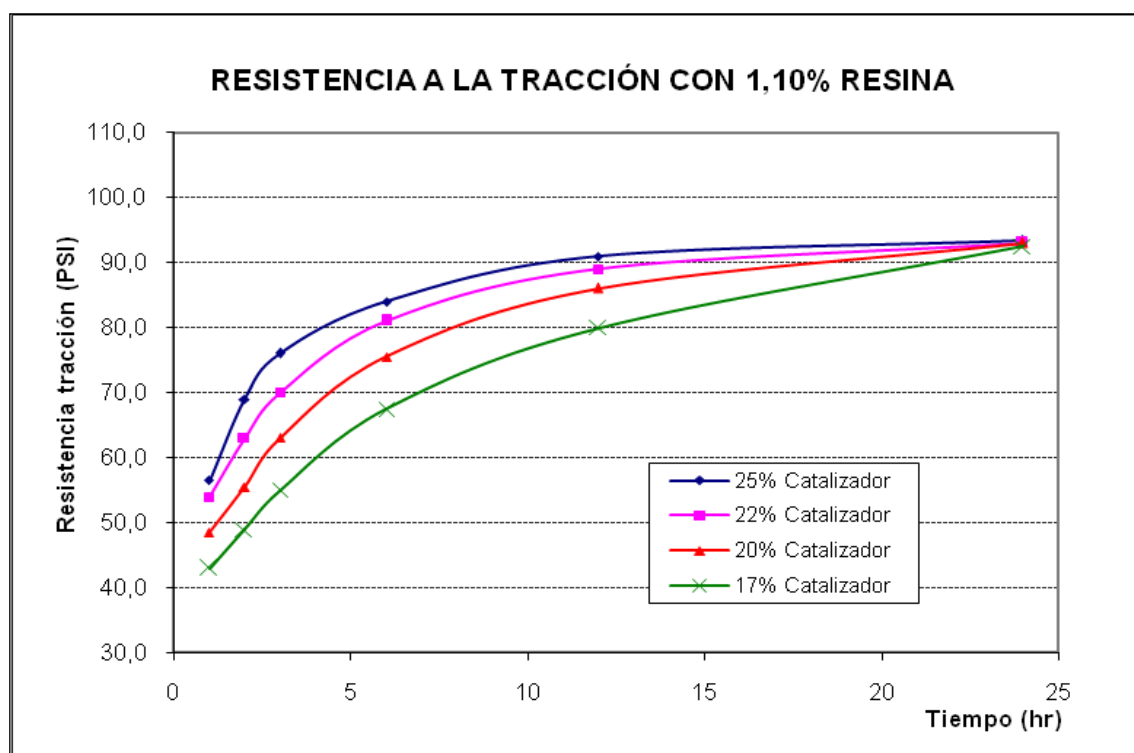


Tabla 5.28. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,00% de resina furánica

Tiempo (Hr)	25% Catalizador	22% Catalizador	20% Catalizador	17% Catalizador
1	51,0	47,0	43,0	39,0
2	62,0	55,5	51,0	45,0
3	69,5	62,0	57,0	49,5
6	76,0	72,0	68,0	61,0
12	81,0	80,0	76,0	72,5
24	83,0	83,5	83,0	83,0

Figura 5.18. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,00% de resina furánica

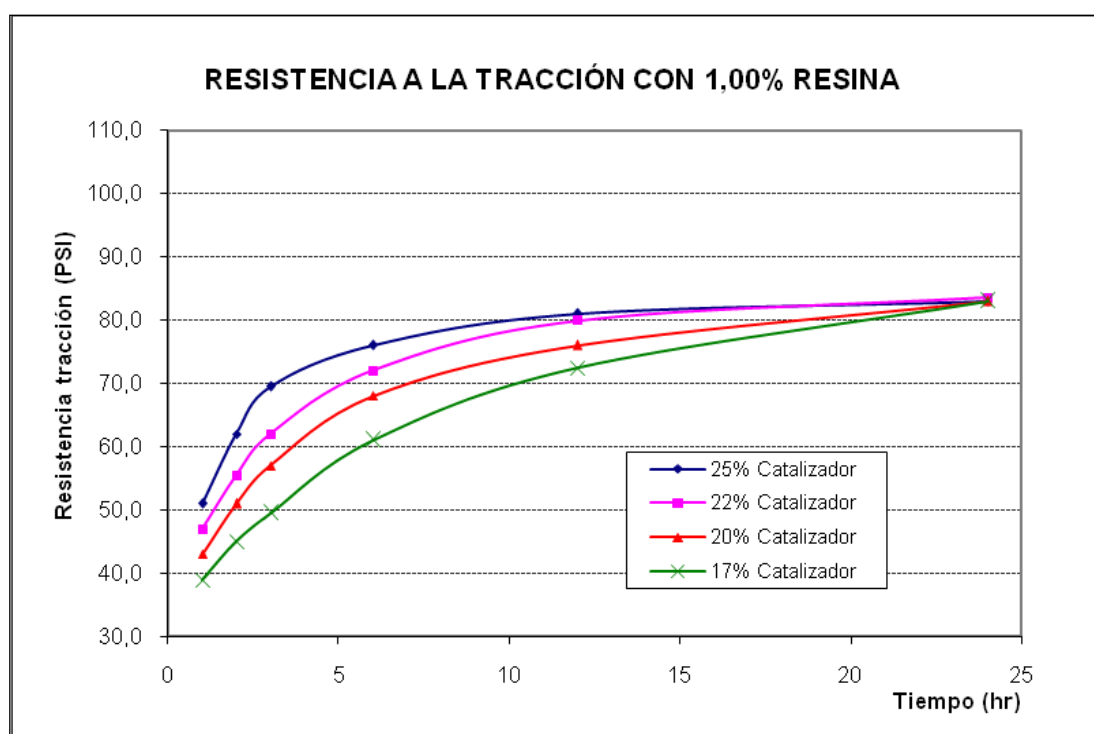
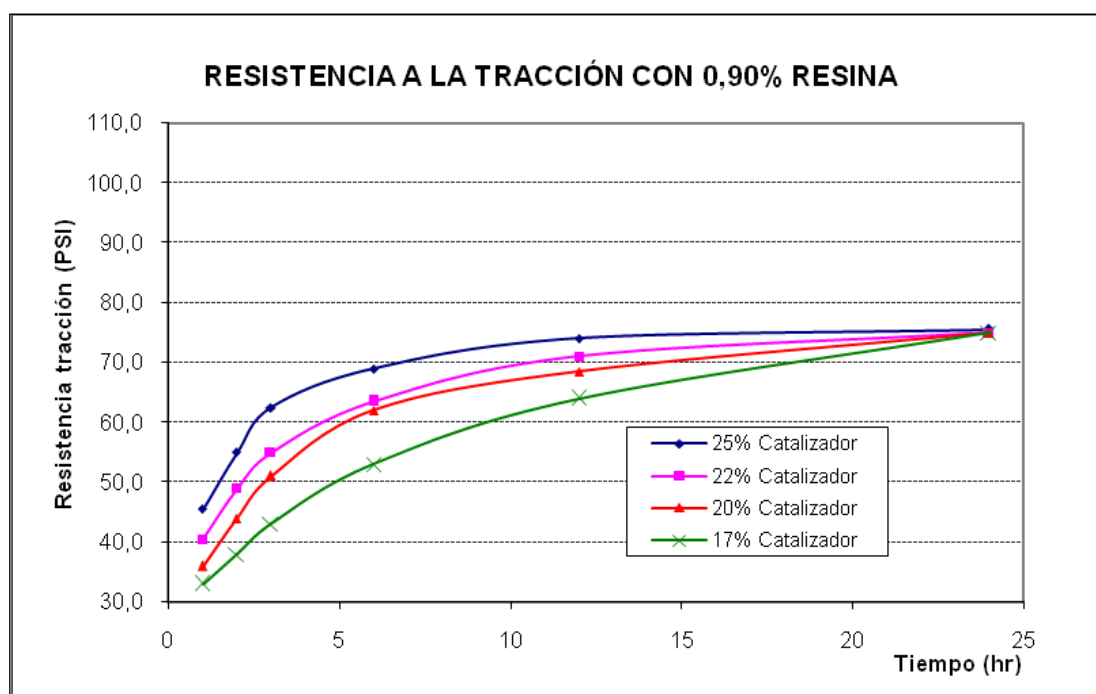


Tabla 5.29. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,90% de resina furánica

Tiempo (Hr)	25% Catalizador	22% Catalizador	20% Catalizador	17% Catalizador
1	45,5	40,5	36,0	33,0
2	55,0	49,0	44,0	38,0
3	62,5	55,0	51,0	43,0
6	69,0	63,5	62,0	53,0
12	74,0	71,0	68,5	64,0
24	75,5	75,0	75,0	75,0

Figura 5.19. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,90% de resina furánica





## 5.2.2. Determinación de los parámetros de operación

Tabla 5.30. Precio unitario de la resina y catalizador para un sistema furánico

Insumos químicos	Precios (USD/Kg)
Resina furánica	2,72
Catalizador	1,75

### 5.2.2.1 Determinación de las concentración de resina y catalizador

Tabla 5.31. Valores de los costos de los insumos por tonelada de arena y resistencia a la tracción obtenida de las distintas pruebas de aglomeración para un sistema furánico

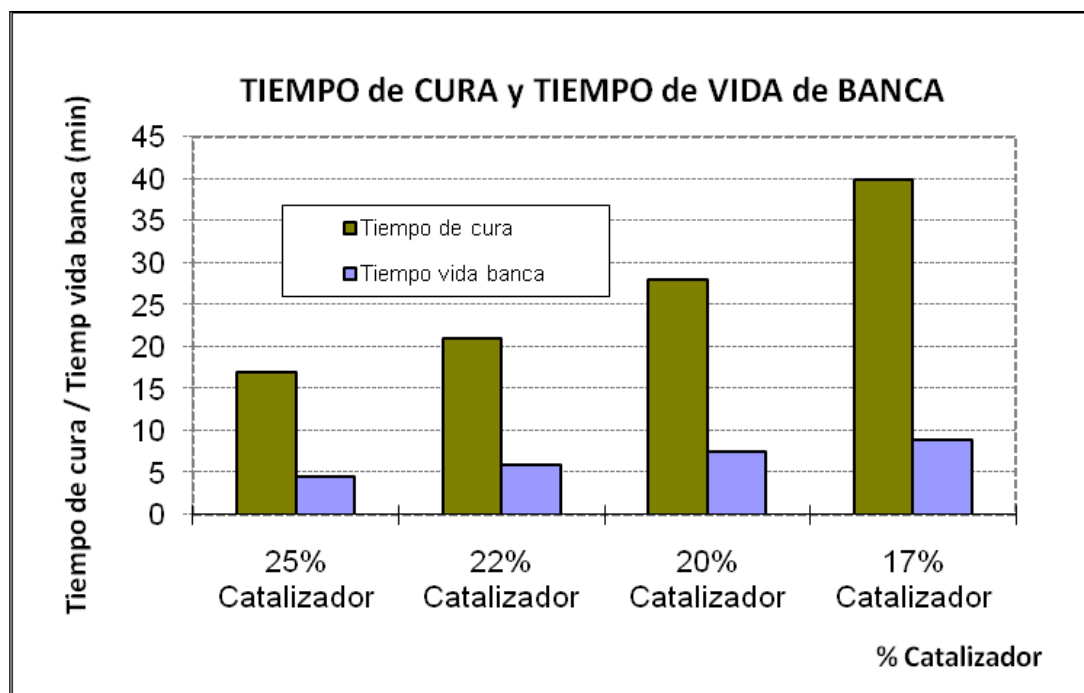
Catalizador (%)		17,0%				20,0%				22,0%				25,0%			
Parámetros operación	Resina (%)	1,20%	1,10%	1,00%	0,90%	1,20%	1,10%	1,00%	0,90%	1,20%	1,10%	1,00%	0,90%	1,20%	1,10%	1,00%	0,90%
Costo insumo (USD/TN arena SiO <sub>2</sub> )		36,2	33,2	30,2	27,2	36,8	33,8	30,7	27,6	37,3	34,2	31,1	27,9	37,9	34,7	31,6	28,4
Resistencia a la Tracción a las 12hr (PSI)		88,0	80,0	72,5	64,0	93,0	86,0	76,0	68,5	96,0	90,0	80,0	71,0	97,5	91,0	81,0	74,0
Costo Insumos/Resist. Tracción (USD/PSI)		0,411	0,415	0,416	0,424	0,396	0,393	0,404	0,403	0,388	0,380	0,388	0,394	0,389	0,382	0,390	0,384

### 5.2.2.2 Determinación del tiempo de vida de banca y tiempo de curado

Tabla 5.32. Valores del tiempo de cura y tiempo de vida de banca al emplear arena sílice a dosis de resina furánica de 0,90%, 1,00%, 1,10% y 1.20% y a distintos porcentajes de catalizador

Parámetros operación	17% catalizador	20% catalizador	22% catalizador	25% catalizador
AFS	48,5%	48,5%	48,5%	48,5%
% Finos	0,30	0,30	0,30	0,30
Temperatura (°C)	16	16	16	16
Tiempo de cura (min.)	40	28	21	17
Tiempo vida banca (min.)	9,0	7,5	6,0	4,5

Figura 5.20. Valores del tiempo de cura y tiempo de vida de banca al emplear arena sílice a dosis de resina furánica de 0,90%, 1,00%, 1,10% y 1,20% y a distintos porcentajes de catalizador



### 5.2.2.3 Determinación del porcentaje de finos

Para determinar el porcentaje de finos de la arena sílice adecuado en un sistema furánico se trabajó con una concentración de resina de 1,10% y 22% de catalizador, debido a que fueron las dosis obtenidas para trabajar moldes de medianos y grandes con mejores beneficios de operación.

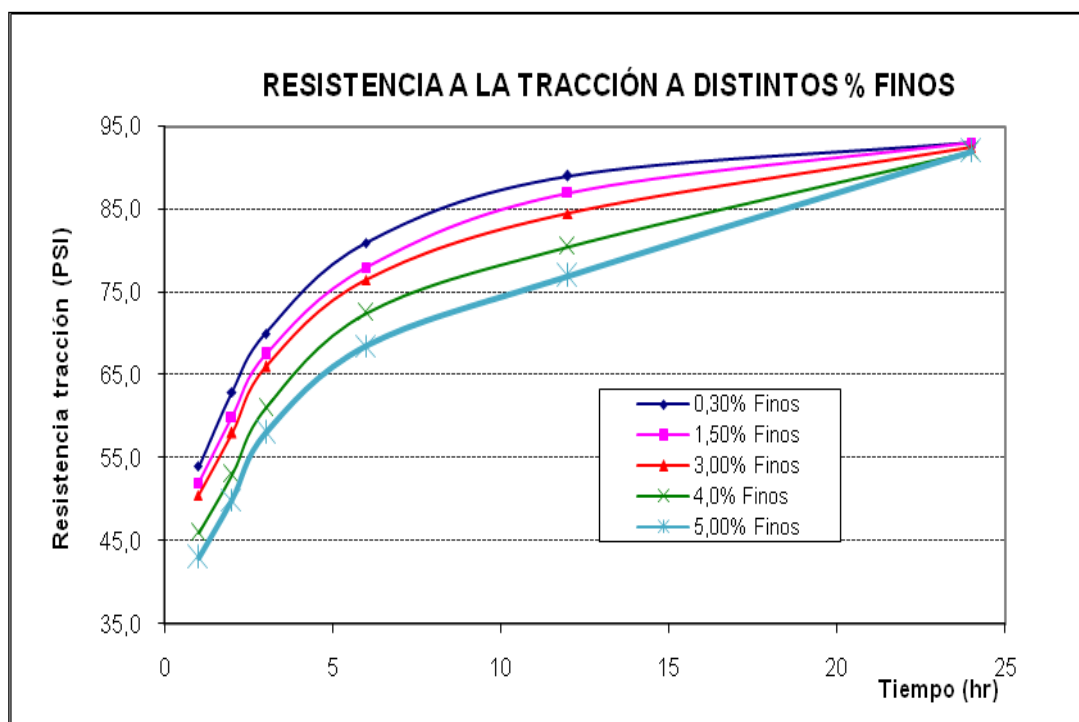
Tabla 5.33. Valores de operación al trabajar arena sílice nueva de distintas granulometrías y a dosis constantes de 1,10% de resina y 22% de catalizador

Parámetros operación	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
<b>AFS</b>	48,5%	51,8%	53,5%	56,7%	60,6%
<b>% Finos</b>	0,30	1,50	3,00	4,00	5,00
<b>% LOI</b>	0,10	3,85	4,57	5,15	5,15
<b>Temperatura (°C)</b>	16	16	16	16	16
<b>Tiempo de cura (min)</b>	21	21	21	21	21
<b>Tiempo vida banca (min)</b>	6	6	6	6	6

Tabla 5.34. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de finos, empleando dosis de 1,10% de resina y 22% de catalizador

Tiempo (Hr)	0,30% Finos	1,50% Finos	3,00% Finos	4,0% Finos	5,00% Finos
<b>1</b>	54,0	52,0	50,5	46,0	43,0
<b>2</b>	63,0	60,0	58,0	53,0	50,0
<b>3</b>	70,0	67,5	66,0	61,0	58,0
<b>6</b>	81,0	78,0	76,5	72,5	68,5
<b>12</b>	89,0	87,0	84,5	80,5	77,0
<b>24</b>	93,0	93,0	92,5	92,0	92,0

Figura 5.21. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de finos empleando dosis de 1,10% de resina y 22% de catalizador



#### 5.2.2.4 Determinación del porcentaje de retorno de la arena

Para determinar el porcentaje máximo de retorno de arena sílice se efectuaron pruebas de resistencia a la tracción a distintos tiempos, a fin de ver la influencia del porcentaje de retorno en la dureza del molde. Se trabajó con los mejores parámetros de operación: 1,10% de resina y 22% de catalizador.

Para el sistema furánico se efectuaron pruebas de retorno de arena sílice del 75%, 80%, 85%, 90% y 95%. Los cuadros detallan los resultados de las pruebas.

Tabla 5.35. Valores de operación al trabajar distintos porcentajes de retorno de arena sílice con dosis de resina de 1,10% y 22% de catalizador

<b>Parámetros operación</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>	<b>Prueba 6</b>
<b>AFS</b>	48,5%	50,5%	52,3%	55,3%	58,7%	60,10
<b>% Finos</b>	0,30	1,80	2,45	3,05	3,45	4,10
<b>% LOI</b>	0,10	0,55	0,70	0,95	1,10	1,20
<b>% Retorno</b>	0%	95%	90%	85%	80%	75%
<b>Temperatura (°C)</b>	16	16	16	16	16	16
<b>Tiempo de cura (min)</b>	21	21	21	21	21	21
<b>Tiempo vida banca (min)</b>	6	6	6	6	6	6
<b>Costo insumo (USD/TN arena SiO<sub>2</sub>)</b>	94,2	37,2	40,2	43,2	46,2	49,2

Tabla 5.36. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice de retorno a distintos porcentajes y empleando dosis de 1,10% de resina y 22% de catalizador

<b>Tiempo (Hr)</b>	<b>0% Retorno</b>	<b>95% Retorno</b>	<b>90% Retorno</b>	<b>85% Retorno</b>	<b>80% Retorno</b>	<b>75% Retorno</b>
<b>1</b>	54,0	39,0	40,5	41,5	42,0	44,0
<b>2</b>	63,0	49,5	50,5	52,0	55,0	57,0
<b>3</b>	70,0	56,0	58,0	60,0	63,0	64,5
<b>6</b>	81,0	65,0	67,5	69,5	72,0	74,0
<b>12</b>	89,0	80,0	81,5	83,0	84,0	85,0
<b>24</b>	93,0	86,5	87,0	88,0	88,5	90,0

Figura 5.22. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo al emplear distintos porcentajes de retorno de arena sílice y empleando dosis de 1,10% de resina y 22% de catalizador

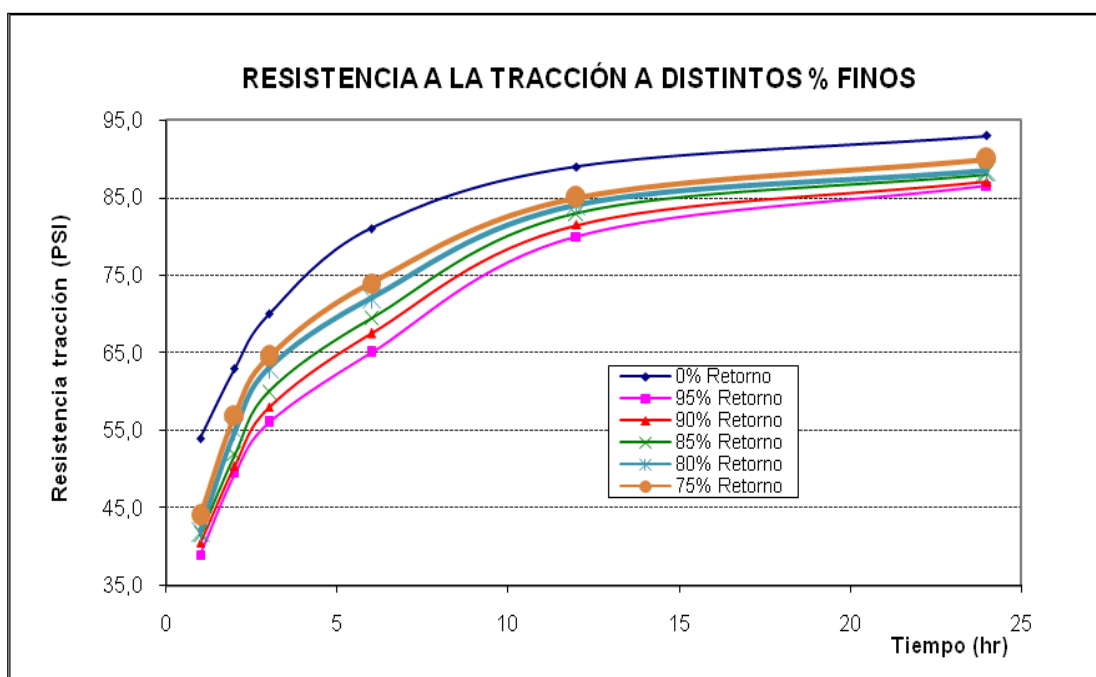
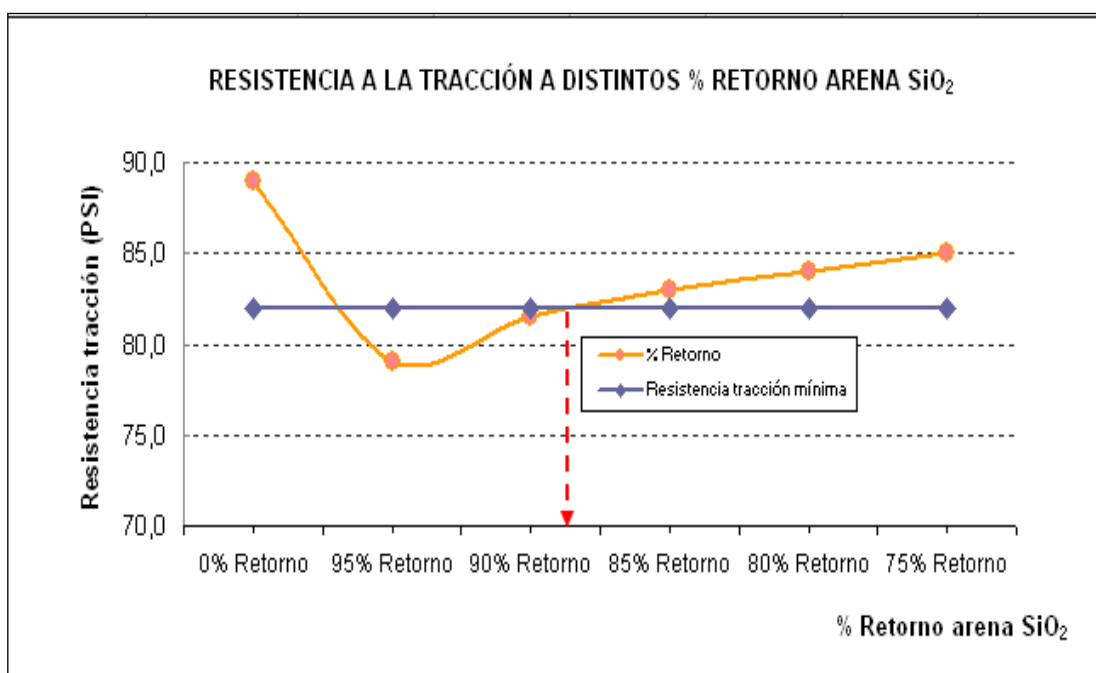


Figura 5.23. Determinación del porcentaje máximo de retorno de la arena sílice en un sistema de aglomeración en frío con resina furánica empleando dosis de 1,10% de resina y 22% de catalizador



### 5.3 Pruebas de aglomeración con resina fenólica – uretánica

#### 5.3.2 Reportes de los parámetros de operación

Tabla 5.37. Parámetros de operación al trabajar arena sílice a distintos porcentajes de resina fenólica–uretánica manteniendo constante el catalizador en 1,50%

Parámetros operación	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
<b>AFS</b>	48,5	48,5	48,5	48,5	48,5
<b>% Finos</b>	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
<b>% LOI</b>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Temperatura (°C)</b>	16	16	16	16	16
<b>Resina Pep Set Quantum</b>	0,65%	0,75%	0,85%	0,90%	0,95%
<b>Resina parte I</b>	65%	65%	65%	65%	65%
<b>Resina parte II</b>	35%	35%	35%	35%	35%
<b>Catalizador</b>	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
<b>Tiempo de cura (min)</b>	29	29	29	29	29
<b>Tiempo vida banca (min)</b>	6	6	6	6	6
<b>Costo insumo (USD/TN arena SiO<sub>2</sub>)</b>	22,5	25,9	29,4	31,4	32,9

Tabla 5.38. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina fenólica – uretánica empleando 1,5% de catalizador

Tiempo (Hr)	0,65% resina	0,75% resina	0,85% resina	0,90% resina	0,95% resina
<b>1</b>	40,0	44,5	50,0	55,0	58,0
<b>2</b>	47,0	53,0	58,5	62,5	66,0
<b>3</b>	53,0	59,0	64,0	67,5	72,0
<b>6</b>	61,0	67,0	74,0	78,5	84,0
<b>12</b>	64,0	72,0	79,0	85,0	90,0
<b>24</b>	70,0	76,5	84,5	90,0	96,5

Figura 5.24. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina fenólica – uretánica empleando 1,5% de catalizador

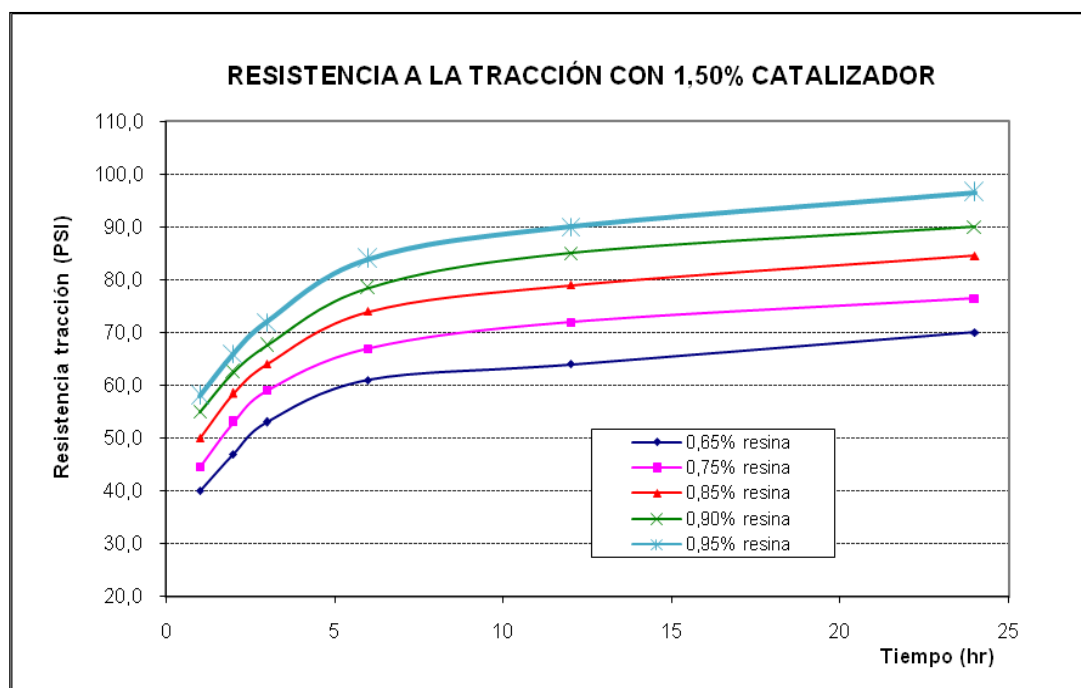


Tabla 5.39. Parámetros de operación al trabajar arena sílice a distintos porcentajes de resina fenólica – uretánica manteniendo constante el catalizador en 2,5%

Parámetros operación	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
<b>AFS</b>	48,5	48,5	48,5	48,5	48,5
<b>% Finos</b>	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
<b>% LOI</b>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Temperatura (°C)</b>	16	16	16	16	16
<b>Resina Pep Set Quantum</b>	0,65%	0,75%	0,85%	0,90%	0,95%
<b>Resina parte I</b>	65%	65%	65%	65%	65%
<b>Resina parte II</b>	35%	35%	35%	35%	35%
<b>Catalizador</b>	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%
<b>Tiempo de cura (min)</b>	20	20	20	20	20
<b>Tiempo vida banca (min)</b>	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
<b>Costo insumo (USD/TN arena SiO<sub>2</sub>)</b>	22,8	26,3	29,9	31,6	33,4



Tabla 5.40. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina fenólica – uretánica empleando 2,5% de catalizador

Tiempo (Hr)	0,65% resina	0,75% resina	0,85% resina	0,90% resina	0,95% resina
1	44,0	48,0	54,5	61,0	65,5
2	52,5	56,0	62,0	69,0	73,0
3	58,5	62,0	68,0	75,5	80,0
6	65,5	70,0	76,0	83,0	88,0
12	67,0	73,0	81,0	88,0	92,5
24	70,0	76,0	85,0	90,5	97,0

Figura 5.25. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina fenólica – uretánica empleando 2,5% de catalizador

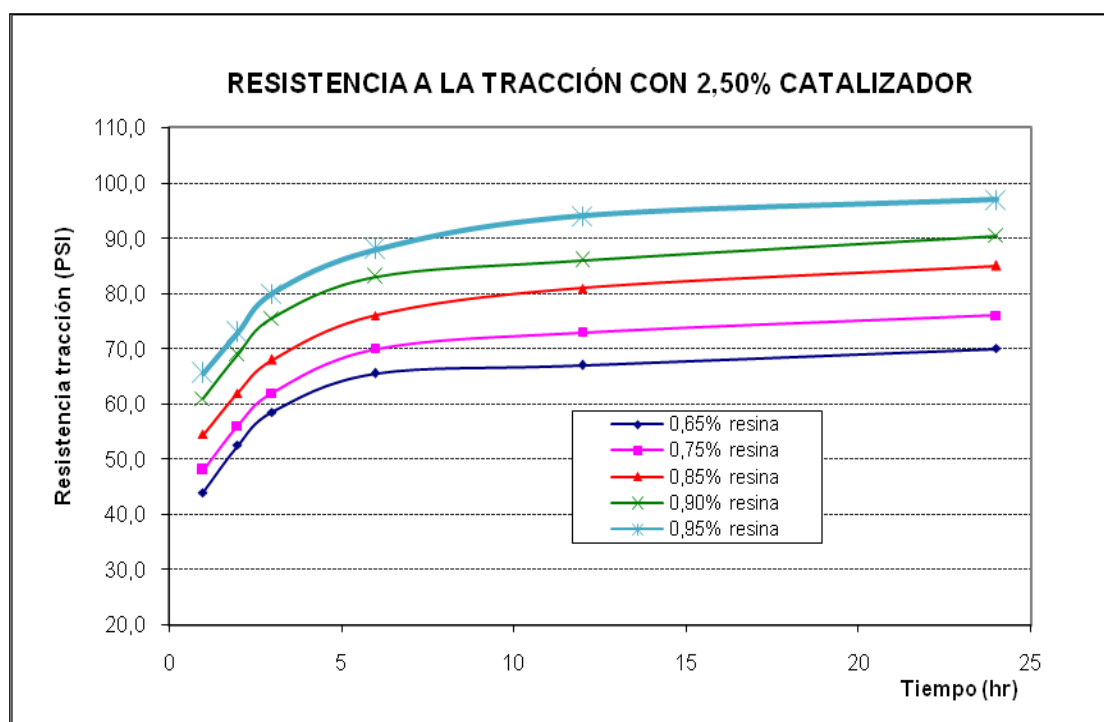


Tabla 5.41. Parámetros de operación al trabajar arena sílice a distintos porcentajes de resina fenólica – uretánica manteniendo constante el catalizador en 3,5%

<b>Parámetros operación</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>
<b>AFS</b>	48,5	48,5	48,5	48,5	48,5
<b>% Finos</b>	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
<b>% LOI</b>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Temperatura (°C)</b>	16	16	16	16	16
<b>Resina Pep Set Quantum</b>	0,65%	0,75%	0,85%	0,85%	0,95%
<b>Resina parte I</b>	65%	65%	65%	65%	65%
<b>Resina parte II</b>	35%	35%	35%	35%	35%
<b>Catalizador</b>	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%
<b>Tiempo de cura (min)</b>	8	8	8	8	8
<b>Tiempo vida banca (min)</b>	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
<b>Costo insumo (USD/TN arena SiO<sub>2</sub>)</b>	23,2	26,7	30,3	32,1	33,9

Tabla 5.42. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina fenólica – uretánica empleando 3,5% de catalizador

<b>Tiempo (Hr)</b>	<b>0,65% resina</b>	<b>0,75% resina</b>	<b>0,85% resina</b>	<b>0,90% resina</b>	<b>0,95% resina</b>
<b>1</b>	46,5	52,0	59,0	66,0	69,0
<b>2</b>	55,0	61,0	67,5	76,0	80,0
<b>3</b>	60,0	66,0	73,0	82,0	86,5
<b>6</b>	66,0	72,0	80,0	87,0	92,5
<b>12</b>	69,5	75,5	83,0	89,0	95,0
<b>24</b>	71,0	77,0	85,0	90,0	97,0

Figura 5.26. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina fenólica – uretánica empleando 3,5% de catalizador

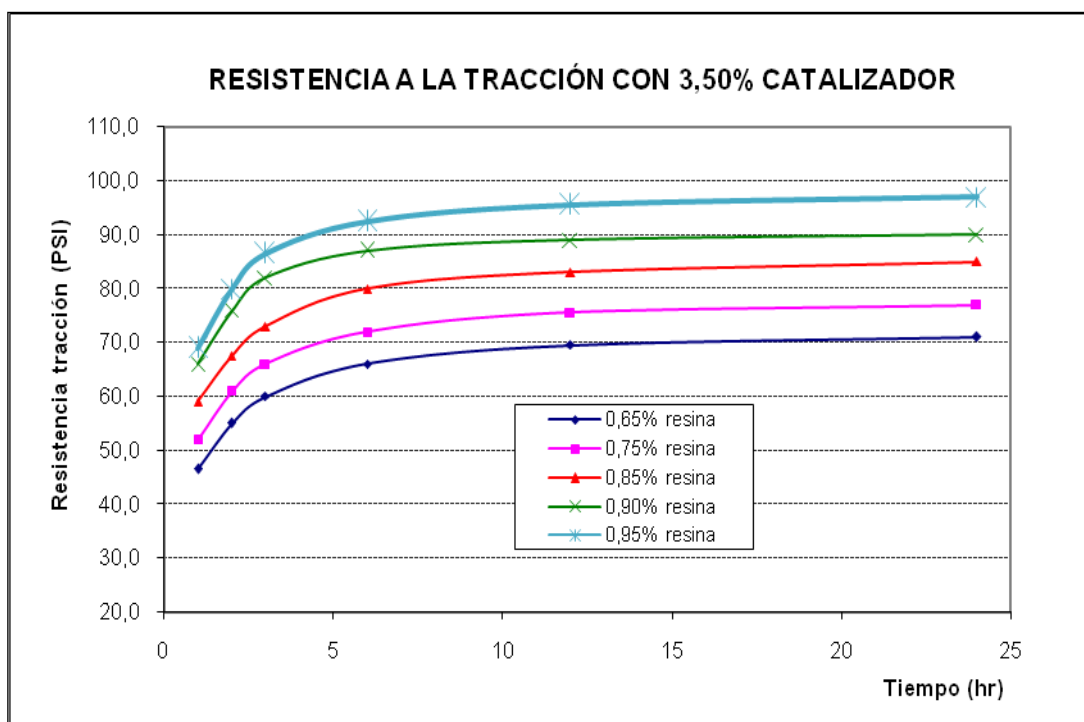


Tabla 5.43. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,95% de resina fenólica – uretánica

Tiempo (Hr)	1,5% Catalizador	2,5% Catalizador	3,5% Catalizador
1	58,0	65,5	69,0
2	66,0	73,0	80,0
3	72,0	80,0	86,5
6	84,0	88,0	92,5
12	90,0	92,5	95,0
24	96,5	97,0	97,0

Figura 5.27. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,95% de resina fenólica – uretánica

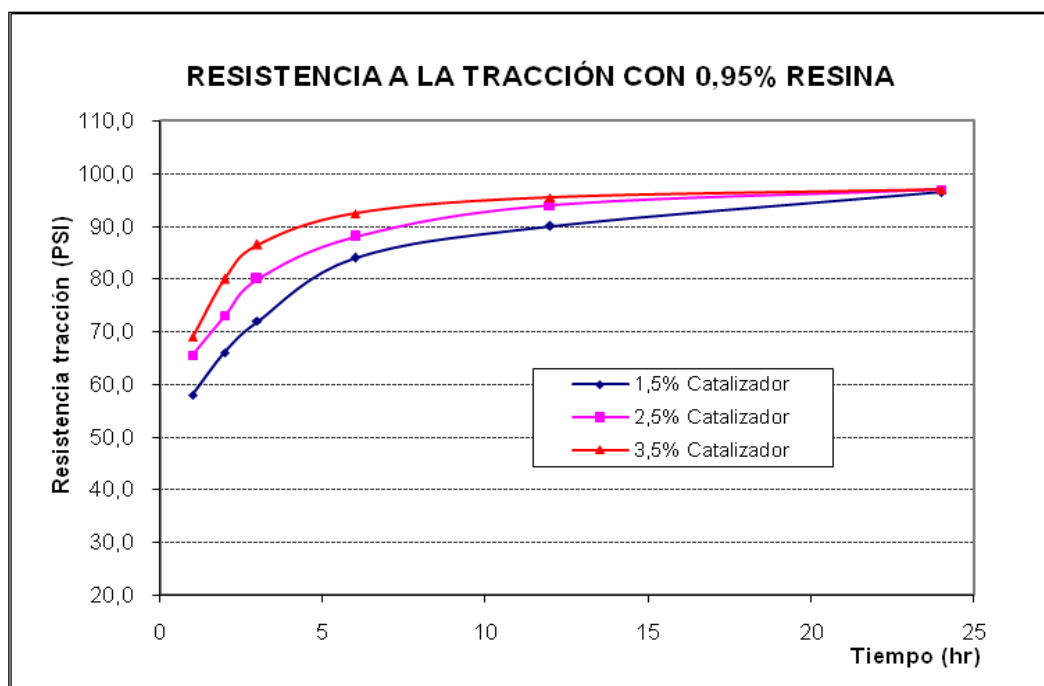


Tabla 5.44. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,90% de resina fenólica – uretánica

Tiempo (Hr)	1,5% Catalizador	2,5% Catalizador	3,5% Catalizador
1	55,0	61,0	66,0
2	62,5	69,0	76,0
3	67,5	75,5	82,0
6	78,5	83,0	87,0
12	85,0	88,0	89,0
24	90,0	90,5	90,0

Figura 5.28. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,90% de resina fenólica – uretánica

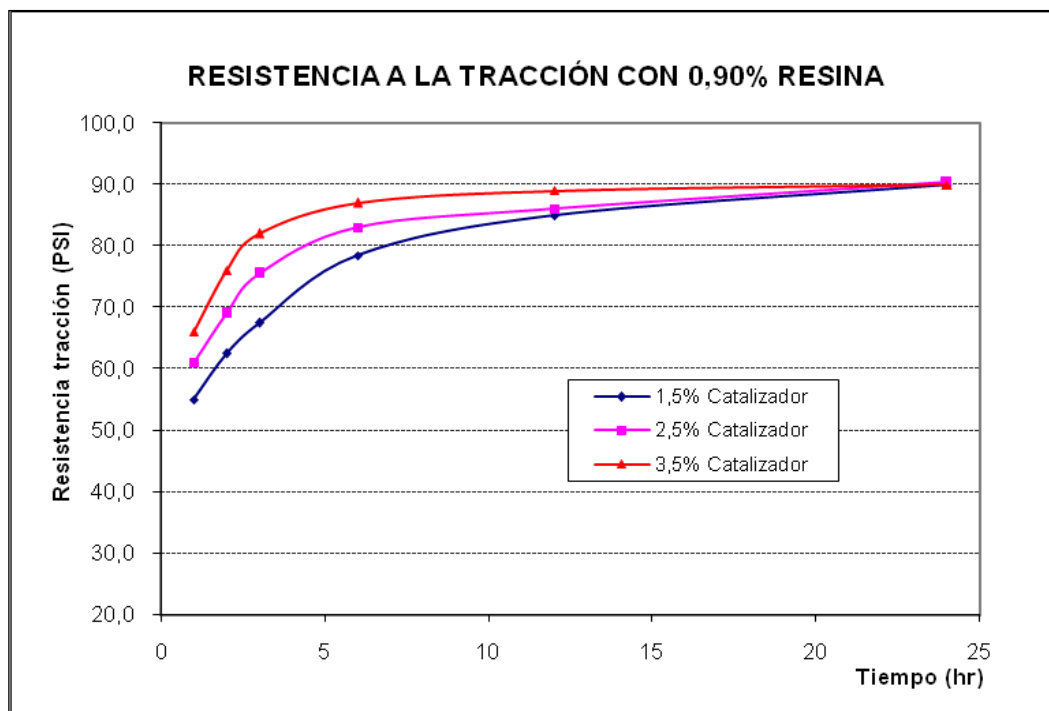


Tabla 5.45. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,85% de resina fenólica – uretánica

Tiempo (Hr)	1,5% Catalizador	2,5% Catalizador	3,5% Catalizador
<b>1</b>	50,0	54,5	59,0
<b>2</b>	58,5	62,0	67,5
<b>3</b>	64,0	68,0	73,0
<b>6</b>	74,0	76,0	80,0
<b>12</b>	79,0	81,0	83,0
<b>24</b>	84,5	85,0	85,0

Figura 5.29. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,85% de resina fenólica – uretánica

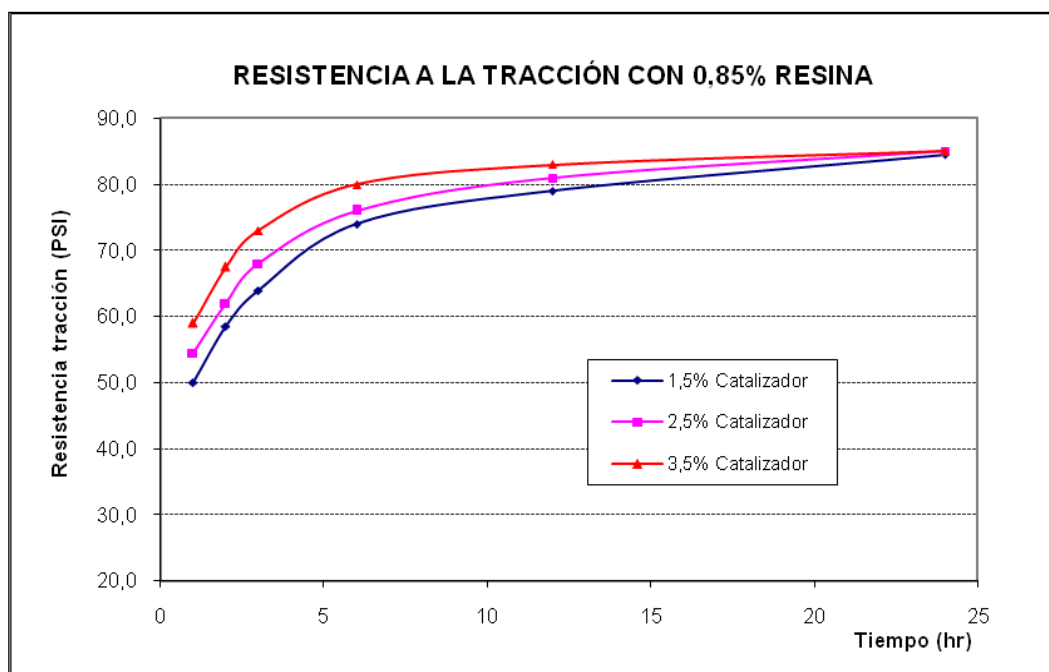


Tabla 5.46. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,75% de resina fenólica – uretánica

Tiempo (Hr)	1,5% Catalizador	2,5% Catalizador	3,5% Catalizador
1	44,5	48,0	52,0
2	53,0	56,0	61,0
3	59,0	62,0	66,0
6	67,0	70,0	72,0
12	72,0	73,0	75,5
24	76,5	76,0	77,0

Figura 5.30. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,75% de resina fenólica – uretánica

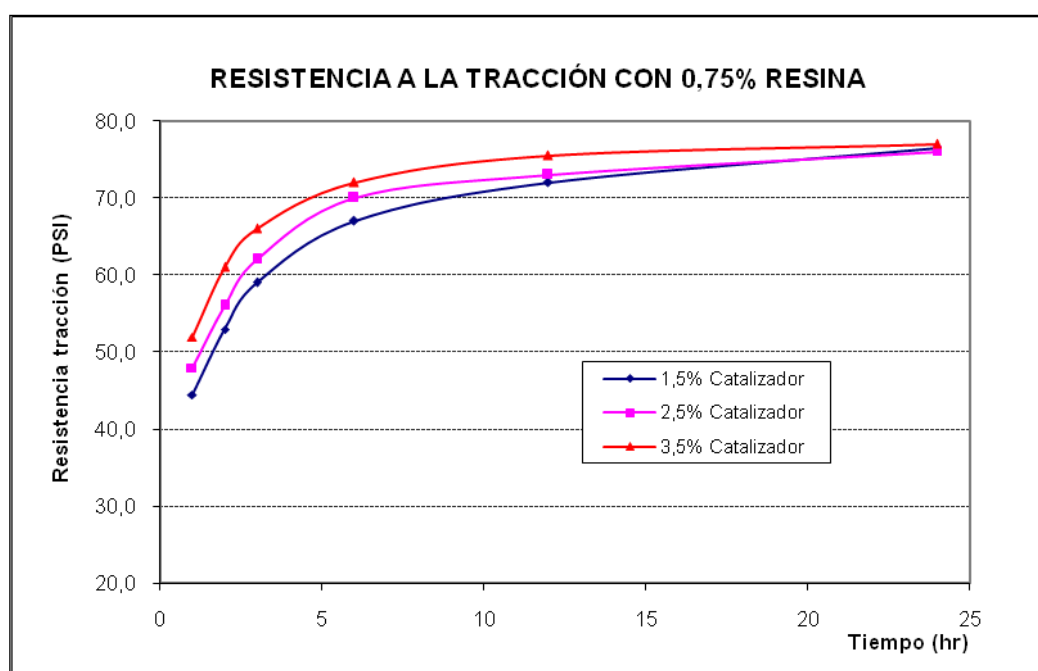
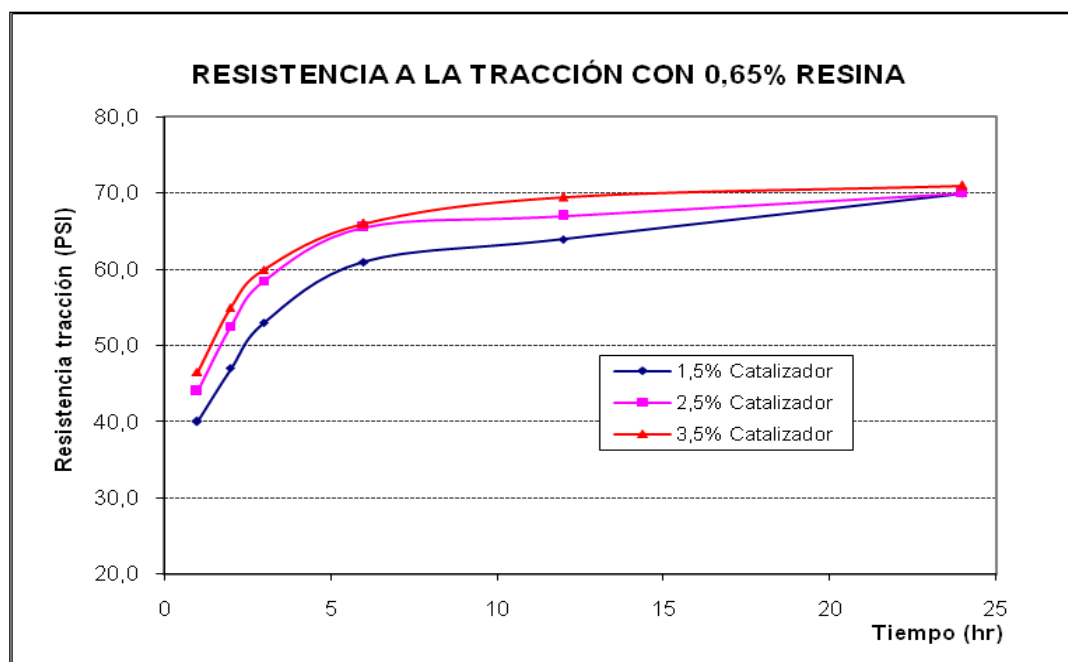


Tabla 5.47. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,65% de resina fenólica – uretánica

Tiempo (Hr)	1,5% Catalizador	2,5% Catalizador	3,5% Catalizador
1	40,0	44,0	46,5
2	47,0	52,5	55,0
3	53,0	58,5	60,0
6	61,0	65,5	66,0
12	64,0	67,0	69,5
24	70,0	70,0	71,0

Figura 5.31. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,65% de resina fenólica – uretánica



### 5.3.3 Determinación de los parámetros de operación

Tabla 5.48. Precio unitario de la resina y catalizador para un sistema fenólico - uretánico

Insumos químicos	Precios (USD/Kg)
Resina parte I	3,10
Resina parte II	3,90
Catalizador	8,20



### 5.3.1.1. Determinación de las concentración de resina y catalizador

Tabla 5.49. Valores de los costos de los insumos por tonelada de arena y resistencia a la tracción obtenida de las distintas pruebas de aglomeración para un sistema fenólico - uretánico

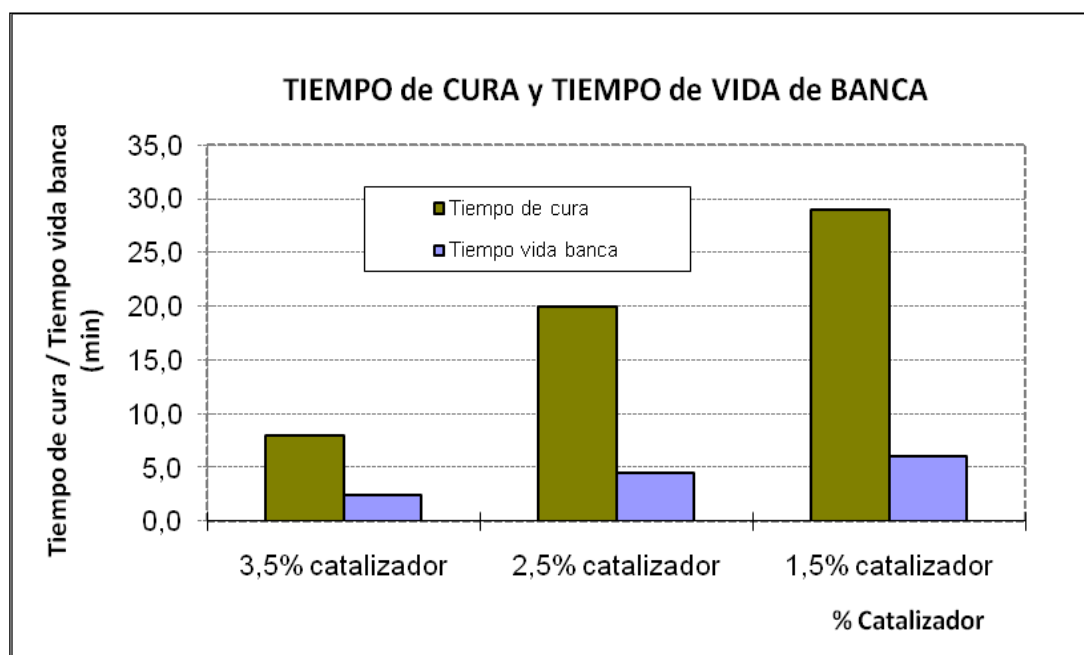
Catalizador (%)		1,50%					2,50%					3,50%				
Parámetros operación	Resina (%)	0,65%	0,75%	0,85%	0,90%	0,95%	0,65%	0,75%	0,85%	0,90%	0,95%	0,65%	0,75%	0,85%	0,90%	0,95%
Costo insumo (USD/TN arena SiO <sub>2</sub> )		22,77	26,27	29,78	31,53	33,28	23,30	26,89	30,47	32,27	34,06	23,84	27,50	31,17	33,00	34,84
Resistencia a la Tracción a las 12hr (PSI)		64,0	72,0	79,0	85,0	90,0	67,0	73,0	81,0	88,0	92,5	69,5	75,5	83,0	89,0	95,0
Costo Insumos/Resistencia Tracción (USD/PSI)		0,356	0,365	0,377	0,371	0,370	0,348	0,368	0,376	0,367	0,368	0,343	0,364	0,376	0,371	0,367

### 5.3.1.1. Determinación del tiempo de vida de banca y tiempo de curado

Tabla 5.50. Valores del tiempo de cura y tiempo de vida de banca al emplear arena sílice a dosis de resina fenólica – uretánica de 0,65%, 0,75%, 0,85%, 0,90% y 0.95% y a distintos porcentajes de catalizador

Parámetros operación	1,50% catalizador	2,50% catalizador	3,50% catalizador
AFS	48,5%	48,5%	48,5%
% Finos	0,30	0,30	0,30
Temperatura (°C)	16	16	16
Tiempo de cura (min.)	29,0	20,0	8,0
Tiempo vida banca (min.)	6,0	4,5	2,5

Figura 5.32. Valores del tiempo de cura y tiempo de vida de banca al emplear arena sílice a dosis de resina fenólica - uretánica de 0,65%, 0,75%, 0,85%, 0,90% y 0,95% y a distintos porcentajes de catalizador



### 5.3.1.2. Determinación del porcentaje de finos

Para determinar el porcentaje de finos de la arena sílice adecuado en un sistema fenólico - uretánico se trabajó con una concentración de resina de 0,90% y 2,5% de catalizador y con una relación de resina parte I/parte II: 65/35, debido a que fueron las dosis obtenidas para trabajar moldes de medianos y grandes con mejores beneficios de operación.

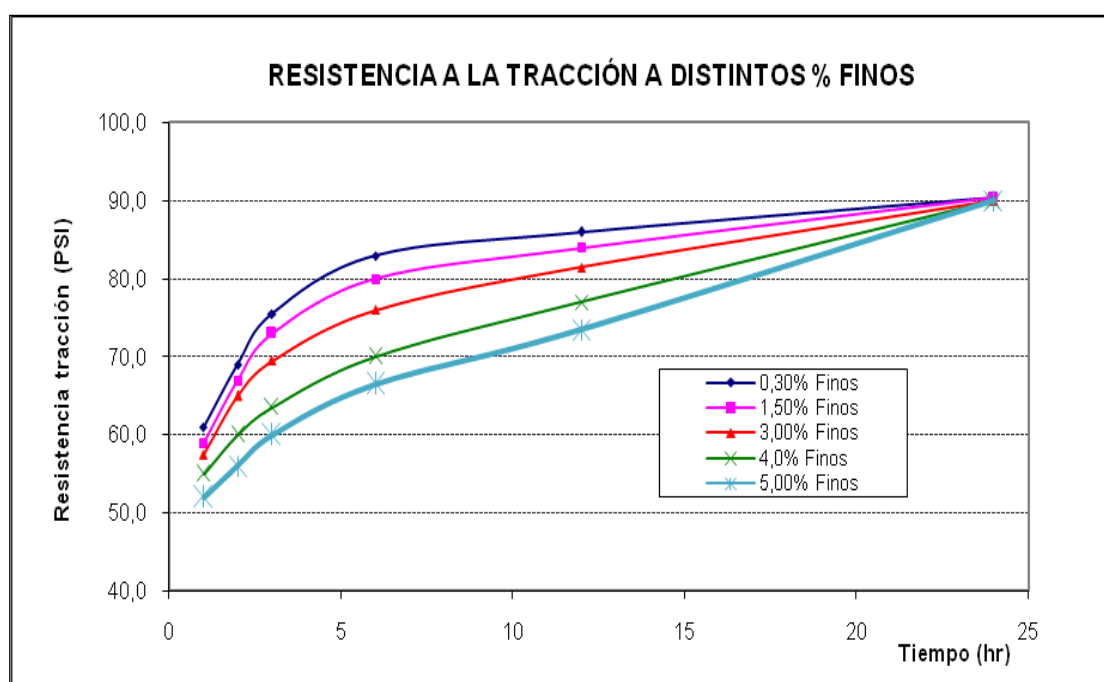
Tabla 5.51. Valores de operación al trabajar arena sílice nueva de distintas granulometrías y a dosis constantes de 0,90% de resina y 2,5% de catalizador

<b>Parámetros operación</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>
<b>AFS</b>	48,5%	51,8%	53,5%	56,7%	60,6%
<b>% Finos</b>	0,30	1,50	3,00	4,00	5,00
<b>% LOI</b>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Temperatura (°C)</b>	16	16	16	16	16
<b>Tiempo de cura (min)</b>	20	20	20	20	20
<b>Tiempo vida banca (min)</b>	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5

Tabla 5.52. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de finos, empleando dosis de 0,90% de resina y 2,5% de catalizador

<b>Tiempo (Hr)</b>	<b>0,30% Finos</b>	<b>1,50% Finos</b>	<b>3,00% Finos</b>	<b>4,0% Finos</b>	<b>5,00% Finos</b>
<b>1</b>	61,0	59,0	57,5	55,0	52,0
<b>2</b>	69,0	67,0	65,0	60,0	56,0
<b>3</b>	75,5	73,0	69,5	63,5	60,0
<b>6</b>	83,0	80,0	76,0	70,0	66,5
<b>12</b>	86,0	84,0	81,5	77,0	73,5
<b>24</b>	90,5	90,5	90,0	90,0	90,0

Figura 5.33. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de finos empleando dosis de 0,90% de resina y 2,5% de catalizador



### 5.3.1.3. Determinación del porcentaje de retorno de la arena

Para determinar el porcentaje máximo de retorno de arena sílice se efectuaron pruebas de resistencia a la tracción a distintos tiempos, a fin de ver la influencia del porcentaje de retorno en la dureza del molde. Se trabajó con los mejores parámetros de operación: 0,90% de resina y 2,5% de catalizador, manteniendo constante la relación de resina Parte I/Parte II de 65/35.

Para el sistema fenólico – uretánico se efectuaron pruebas de retorno de arena sílice del 50%, 60%, 70%, 80% y 90%. Los cuadros detallan los resultados de las pruebas.

Tabla 5.53. Valores de operación al trabajar distintos porcentajes de retorno de arena sílice con dosis de resina de 0,90% y 2,5% de catalizador. Relación de resina Parte I/Parte II de 65/35

<b>Parámetros operación</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>	<b>Prueba 6</b>
<b>AFS</b>	48,5%	50,5%	52,3%	55,3%	58,7%	60,10
<b>% Finos</b>	0,30	1,80	2,45	3,05	3,45	4,10
<b>% LOI</b>	0,10	0,55	0,70	0,95	1,10	1,20
<b>% Retorno</b>	0%	90%	80%	70%	60%	50%
<b>Temperatura (°C)</b>	16	16	16	16	16	16
<b>Tiempo de cura (min)</b>	20	20	20	20	20	20
<b>Tiempo vida banca (min)</b>	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5

Tabla 5.54. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice de retorno a distintos porcentajes y empleando dosis de 0,90% de resina y 2,5% de catalizador. Relación de resina Parte I/Parte II de 65/35

<b>Tiempo (Hr)</b>	<b>0% Retorno</b>	<b>90% Retorno</b>	<b>80% Retorno</b>	<b>70% Retorno</b>	<b>60% Retorno</b>	<b>50% Retorno</b>
<b>1</b>	61,0	46,0	49,0	50,5	54,5	56,0
<b>2</b>	69,0	52,0	56,0	58,5	61,0	63,0
<b>3</b>	75,5	60,0	64,0	66,0	68,0	70,0
<b>6</b>	83,0	71,0	73,0	75,0	76,5	78,0
<b>12</b>	86,0	80,0	82,0	82,5	83,5	84,0
<b>24</b>	90,5	86,0	87,0	87,0	88,0	88,0

Figura 5.34. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de retorno de arena sílice y empleando dosis de 0,90% de resina y 2,5% de catalizador. Relación de resina Parte I/Parte II de 65/35

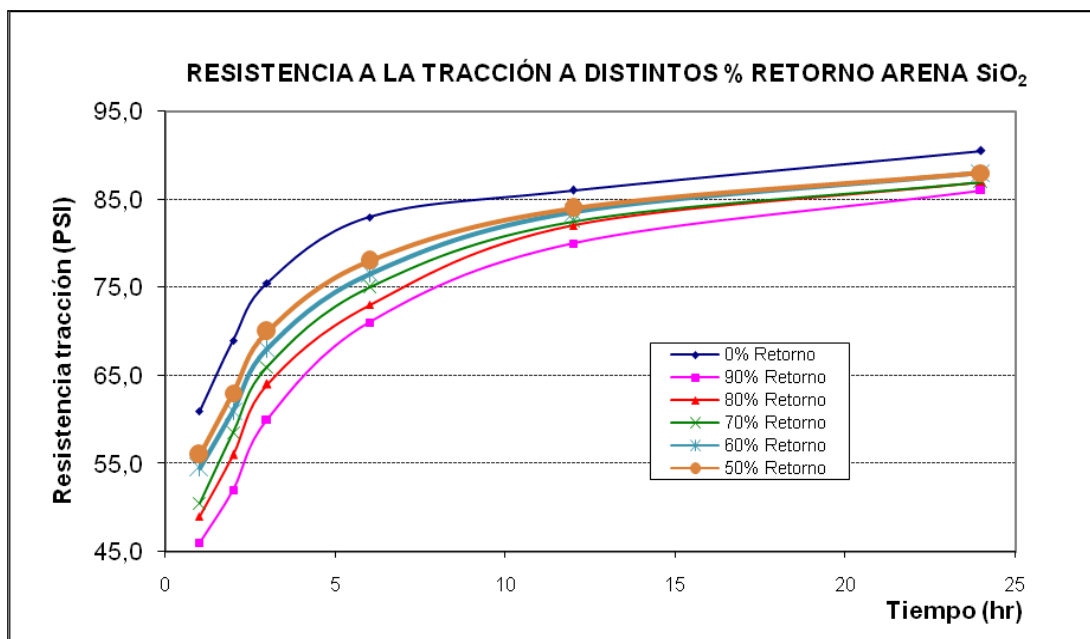
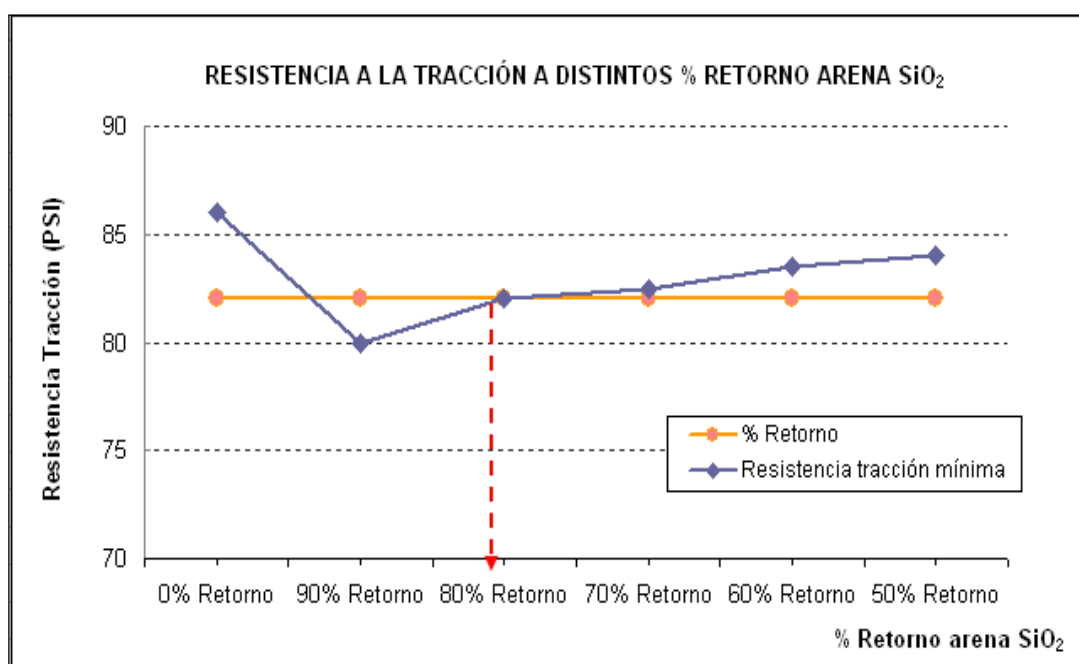


Figura 5.35. Determinación del porcentaje máximo de retorno de la arena sílice en un sistema de resina fenólica – uretánica empleando dosis de 0,90% de resina y 2,5% de catalizador. Relación de resina Parte I/Parte II de 65/35



#### 5.4. Reportes comparativos de los distintos sistemas de aglomeración

Tabla 5.55. Precio unitario y dosificación de los distintos tipos de resina con sus respectivos catalizadores para los sistemas de curado en frío utilizadas por las principales fundiciones en Lima

Sistema de aglomeración	Insumo químico		Precio unitario promedio	Dosis (%)	% Retorno de arena
Fenólico alcalino	Resina		USD 1,70 / Kg	1,15%	20%
	Catalizador		USD 1,60 / Kg	22%	
Fenólico – uretánico	Resina (0,90%)	Resina parte I	USD 3,10 / Kg	65%	80%
		Resina parte II	USD 3,90 / Kg	35%	
	Catalizador		USD 8,20 / Kg	2,50%	
Furánico	Resina		USD 2,72 / Kg	1,10%	90%
	Catalizador		USD 1,75 / Kg	22%	

Tabla 5.56. Tiempo de Vida de Banca y Tiempo de Curado para los distintos tipos de sistemas de aglomeración con resinas de curado en frío

TIPOS DE SISTEMAS	Insumos		Tiempos (min.)	
	Resina	Catalizador	Vida de Banca	Curado
Fenólico alcalino	1,15%	22,0%	5,0	22,0
Fenólico – uretánico	0,90%	2,5%	4,5	20,0
Furánico	1,10%	22,0%	6,0	21,0

Figura 5.36. Gráfico comparativo de los tiempos de Vida de banca y tiempo de Curado para los distintos tipos de sistemas de aglomeración con resinas de curado en frío

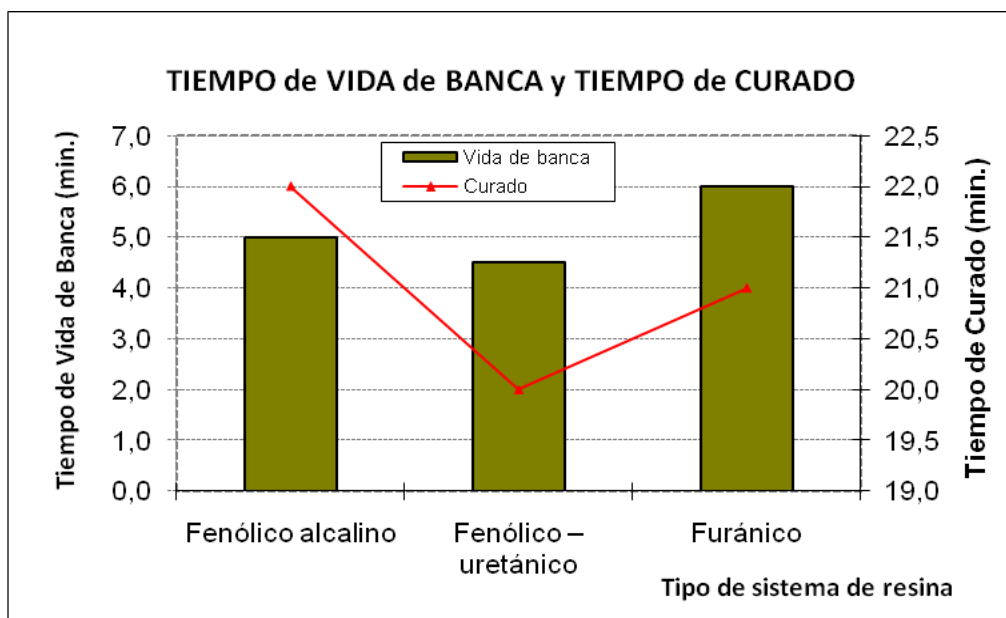




Tabla 5.57. Costos de resina, catalizador y arena sílice para los distintos tipos de sistemas de curado en frío empleados para la fabricación de moldes con arena nueva y reciclada para un sistema de producción de moldeo de 5TN de arena

<b>% Retorno</b>	<b>20%</b>				<b>80%</b>				<b>90%</b>			
<b>Insumos</b>	<b>Sistema fenólico alcalino</b>				<b>Sistema fenólico - uretánico</b>				<b>Sistema furánico</b>			
	<b>Nueva</b>	<b>Recuperada</b>			<b>Nueva</b>	<b>Recuperada</b>			<b>Nueva</b>	<b>Recuperada</b>		
		<b>Nueva</b>	<b>Retorno</b>	<b>TOTAL</b>		<b>Nueva</b>	<b>Retorno</b>	<b>TOTAL</b>		<b>Nueva</b>	<b>Retorno</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Costo resina</b>	<b>97,75</b>	78,20	19,55	<b>97,75</b>	<b>152,10</b>	30,42	121,68	<b>152,10</b>	<b>149,60</b>	14,96	134,64	<b>149,60</b>
<b>Costo catalizador</b>	<b>20,24</b>	16,19	4,05	<b>20,24</b>	<b>6,00</b>	1,20	4,80	<b>6,00</b>	<b>21,18</b>	2,12	19,06	<b>21,18</b>
<b>Costo arena SiO<sub>2</sub></b>	<b>300,00</b>	240,00	0,00	<b>240,00</b>	<b>300,00</b>	60,00	0,00	<b>60,00</b>	<b>300,00</b>	30,00	0,00	<b>30,00</b>
<b>Costo botar desmonte</b>	<b>0,00</b>	0,00	34,91	<b>30,55</b>	<b>0,00</b>	0,00	8,73	<b>8,73</b>	<b>0,00</b>	0,00	4,36	<b>4,36</b>
<b>TOTAL</b>	<b>417,99</b>	<b>334,39</b>	<b>58,52</b>	<b>392,90</b>	<b>458,10</b>	<b>91,62</b>	<b>135,20</b>	<b>226,82</b>	<b>470,78</b>	<b>47,08</b>	<b>158,06</b>	<b>205,14</b>
<b>Costo insumos (USD/TN SiO<sub>2</sub>)</b>	<b>83,60</b>			<b>78,58</b>	<b>91,62</b>			<b>45,36</b>	<b>94,16</b>			<b>41,03</b>

Tabla 5.58. Cuadro resumen de los costos de la resina y catalizador por tonelada de arena sílice nueva y de retorno para los distintos tipos de sistemas de aglomeración con resinas de curado en frío

TIPOS DE SISTEMAS DE RESINAS	Porcentaje de retorno de arena	Insumos		Costo insumos (USD/TN arena SiO <sub>2</sub> )		Reducción de costo con arena de retorno (%)
		Resina	Catalizador	Arena nueva	Arena de retorno	
Fenólico alcalino	20%	1,15%	22,0%	83,60	78,58	6,0%
Fenólico-uretánico	80%	0,90%	2,5%	91,62	45,36	49,2%
Furánico	90%	1,10%	22,0%	94,16	41,03	56,4%

Figura 5.37. Gráfico comparativo de los costos de los insumos por tonelada de arena sílice nueva y de retorno para los distintos tipos de sistemas de aglomeración con resinas de curado en frío

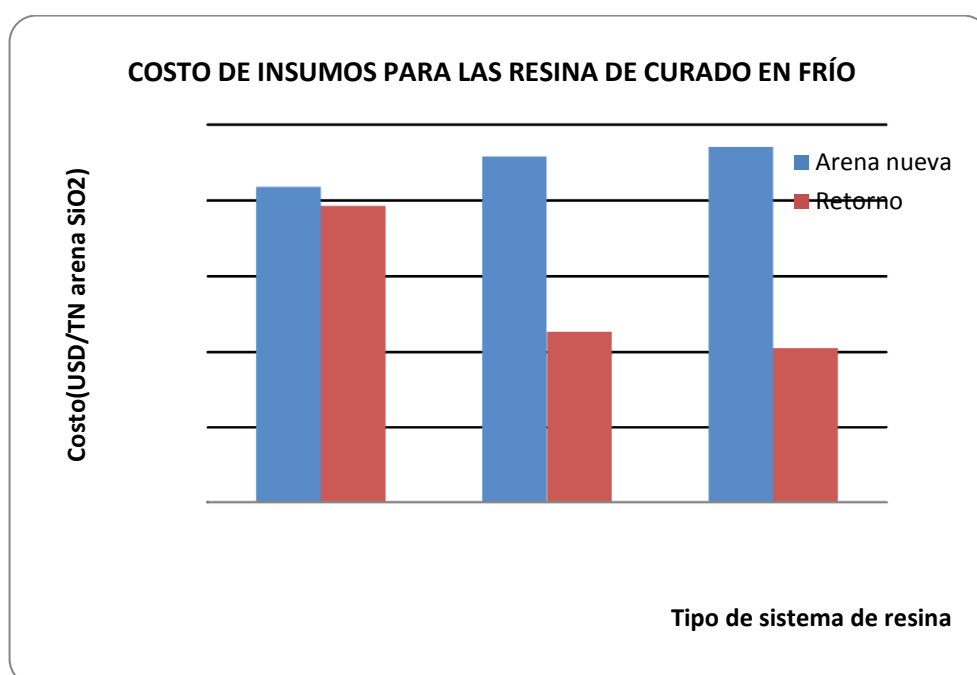


Tabla 5.59. Resistencia a la Tracción a las 12 horas de moldeo con arena sílice nueva y de retorno para los distintos tipos de sistemas de aglomeración con resinas de curado en frío

TIPOS DE SISTEMAS	Insumos		Resistencia Tracción a 12 horas (PSI)	
	Resina	Catalizador	Arena nueva	Retorno
Fenólico alcalino	1,15%	22,0%	86,0	81,0
Fenólico – uretánico	0,90%	2,5%	86,0	82,0
Furánico	1,10%	22,0%	89,0	81,5

Figura 5.38. Gráfico comparativo de la resistencia a la tracción a las 12 horas de moldeo con arena sílice nueva y de retorno para los distintos tipos de sistemas de aglomeración con resinas de curado en frío

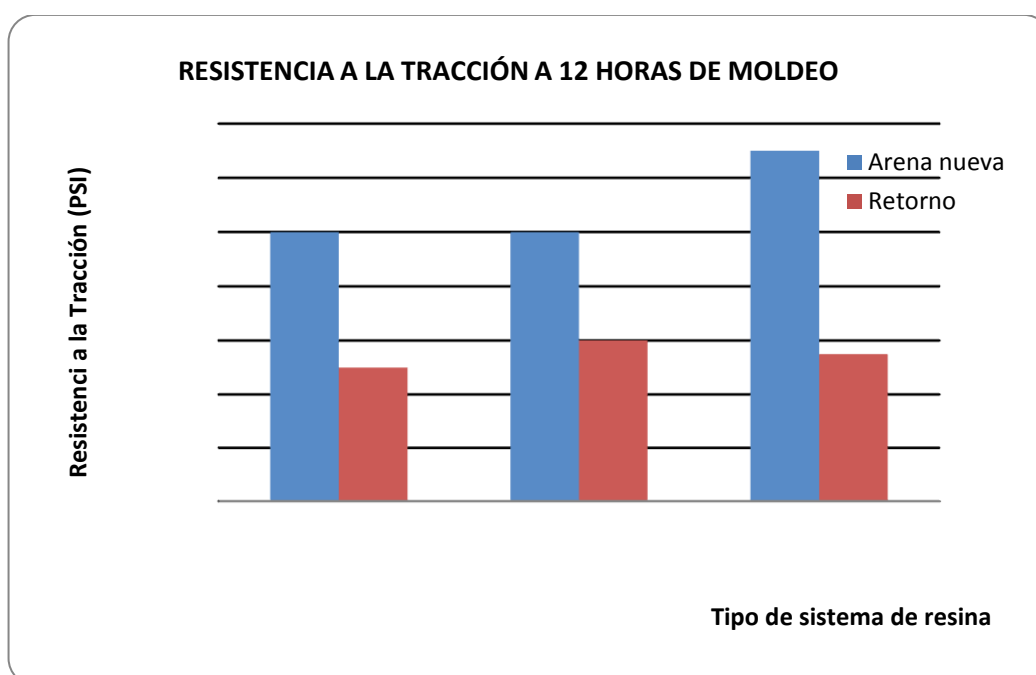
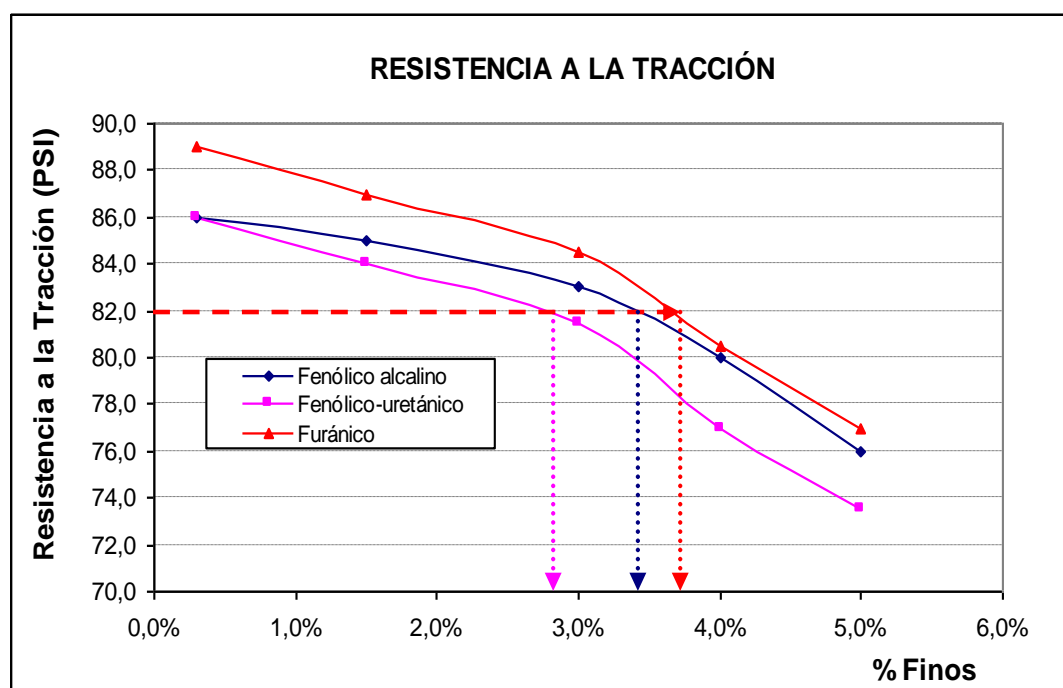


Tabla 5.60. Valores de Resistencia a la Tracción a las 12 horas de moldeo para determinar el porcentaje máximo de finos para los distintos tipos de sistemas de aglomeración con resinas de curado en frío

TIPO DE SISTEMA	Insumos		Resistencia a la Tracción (PSI)				
	Resina	Catalizador	0,30%	1,50%	3,00%	4,00%	5,00%
Fenólico alcalino	1,15%	22,0%	86,0	85,0	83,0	80,0	76,0
Fenólico – uretánico	0,90%	2,5%	86,0	84,0	81,5	77,0	73,5
Furánico	1,10%	22,0%	89,0	87,0	84,5	80,5	77,0

Figura 5.39. Determinación del porcentaje máximo de finos de la arena sílice nueva a través de la Resistencia a la Tracción para los distintos tipos de sistemas de aglomeración con resinas de curado en frío



## **CAPÍTULO 6**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

1. Las tablas 5.14, 5.32 y 5.49 permitieron determinar el porcentaje máximo de finos contenidos en la arena sílice para los distintos sistemas con resina. Se determinó que el porcentaje máximo de finos es 3,0%, trabajar con mayor porcentaje de finos implicaría formar moldes de baja compactibilidad, moldes que podrían romperse cuando se efectúa la colada. Para revertir este efecto se podría adicionar más cantidad de resina a la mezcla, sin embargo esto incrementaría el costo al proceso, así mismo el exceso de resina en la mezcla podría ocasionar porosidades en la pieza debido a la formación de gases.
  
2. Con la determinación del 3,0% como porcentaje máximo de finos para los tres sistemas de aglomeración de resina de curado en frío, se puede determinar que el AFS de la arena sílice no debe exceder del 54%. El porcentaje de finos debe controlarse cuando la arena sílice retorna al proceso y evitar que supere dicho valor, caso contrario se corre el riesgo que los moldes se rompan o incrementar la dosis de resina en la mezcla.

3. De los reportes para la obtención del porcentaje máximo de retorno se puede determinar que el porcentaje del LOI no debe exceder del 1,0%, el exceso de resina en la mezcla ocasiona porosidades y defectos en la pieza debido a la formación de gases.
4. Los valores de resistencia a la tracción a las 12 horas de moldeo contenidos en las tablas 5.16, 5.34 y 5.51 se han empleado para determinar el porcentaje máximo de retorno para cada sistema de aglomeración con resina. Para el sistema fenólico se puede recircular 20% de arena, para el sistema furánico 90% y para el sistema fenólico – uretánico 80%, manteniendo constante las dosificaciones iniciales de resina y catalizador determinadas para cada sistema de resina.
5. De las tablas elaboradas para la determinación del porcentaje de retorno se puede observar que para mezclar arena sílice nueva el sistema de resina fenólica nos brinda el menor costo de los insumos (USD 83,60/TN), sin embargo el retorno de la arena al proceso es sólo el 20%, implica una reducción de costo a USD 78,58/TN, sólo el 6,0%. De igual manera, para un sistema furánico cuyo retorno es del 90% el costo se reduce de USD 94,16 a USD 41,03/TN y para un sistema fenólico – uretánico con retorno del 80%, el costo se reduce de USD 91,62 a USD 45,36/TN. Ver tabla 5.55.
6. Debido al ítem 3, actualmente las fundiciones están cambiando el sistema fenólico al fenólico – uretánico o al furánico, debido a las siguientes razones:

- La arena sílice es retornada al proceso de moldeo entre 80 - 90%. Se evita acumular grandes cantidades de desmonte en el área de fundición y pagar los fletes para botar dicho producto.
  - Los porcentajes de resina y catalizador son menores con respecto al emplear resina fenólica, el cual implica no depender de los insumos importados.
  - Son insumos más ecológicos, no contienen nitrógeno en su composición y bajo porcentaje de formaldehído, el cual garantiza producir piezas libres de porosidades y con un buen acabado superficial.
7. Para escoger el adecuado sistema de aglomeración de resina de curado en frío se busca que la resina tenga el mayor tiempo de vida de banca y el menor periodo para el tiempo de curado. En el primer caso permitirá que el operador tenga el mayor tiempo posible para la fabricación del molde sin correr el riesgo que se degrade la mezcla, mientras que para el segundo permitirá que los moldes fragüen en el menor tiempo posible y brindar mayor rotación al modelo. De la tabla 5.53 se puede determinar que con el sistema de resina furánica se obtienen los mejores resultados.
8. Las pruebas de aglomeración en un sistema con los tres tipos de sistema de resinas de curado en frío demostraron que la adición de los catalizadores con la resinas permiten sólo acelerar o retardar el

tiempo de vida de banca y el tiempo de curado en los moldes de arena. El aumentar la dosis de catalizador permitirá incrementar las propiedades de dureza y resistencia a la tracción en las primeras seis horas de preparado el molde, llegando a estabilizarse dichos parámetros a las 24 horas. Ver figuras 6.2, 6.7 y 6.12.

**Nota:**

**Tiempo de vida de banca:** Es el tiempo en el cual el operador puede maniobrar o trabajar con la arena mezclada con resina, para darle forma al molde, sin que pierda sus propiedades de cura.

**Tiempo de Cura:** Tiempo en el cual, una vez se el molde se ha terminado, el molde es consistente, pero es apto para la colada, este valor se determina según las pruebas de tracción.



## **CAPÍTULO 7**

### **CONCLUSIONES**

#### **7.1. Para el sistema de aglomeración con resina fenólica alcalina**

- 7.1.1. Los mejores parámetros de resistencia a la tracción a las 12 horas de moldeo (valores mayores a 82 PSI) para un sistema fenólico alcalino se obtienen al mezclar 1,15% de resina y 20 ó 22% de catalizador. Sin embargo es preferible emplear 22% de catalizador para mejorar la resistencia del molde en las primeras 6 horas después del moldeo, Ver tablas 5.2 y 5.4.
- 7.1.2. A las concentraciones de 1,15% de resina y 22% de catalizador se determinó que la arena sílice tiene un tiempo de vida de banca de 5 minutos y un tiempo de curado de 22 minutos.
- 7.1.3. Para la fabricación de moldes pequeños en donde no existe una gran exigencia mecánica del metal en el molde se puede emplear dosis de 1,05% de resina y manteniendo el catalizador en 22%. Ver tabla 5.1.
- 7.1.4. El incremento de la resistencia a la tracción en el molde dependerá exclusivamente de la adición de la resina en la mezcla. Valores superiores a 1,15% de resina permitirá obtener

moldes con más de 90 PSI a las 12 horas de moldeo. Ver tabla 5.4.

- 7.1.5. Otros factores que favorecen a obtener moldes con buena resistencia es la forma y tamaño de grano de la arena, en el primer caso es preferible trabajar con arena con granos redondeados con el fin de tener una buena humectación de las partículas al adicionar la resina, mientras que en el segundo caso se aconseja trabajar con arenas con porcentajes de finos menor al 3% (se obtienen valores mayores a 82 PSI en la resistencia a la tracción a las 12 horas de moldeo). Emplear arena con porcentajes de finos mayores al 3% incrementaría el consumo de resina y catalizador en la mezcla. Ver tabla 5.14.
- 7.1.6. De las pruebas de resistencia a la tracción a la arena sílice con 1,15% de resina y 22% de catalizador se determinó que el porcentaje máximo de retorno de la arena debe ser 20%, cantidades mayores a la indicada permitiría formar moldes de baja compactibilidad. Este efecto podría corregirse adicionando más cantidad de resina a la mezcla, sin embargo incrementaría el costo de operación. Ver tabla 5.17 y figura 5.11.
- 7.1.7. Trabajar a concentraciones de resina de 1,15% y 22% de catalizador con arena nueva permiten tener un costo de insumos de USD 83,60/TN, mientras que trabajar con arena de retorno al 20% el costo es USD 78,58/TN, disminuyendo en 6,0% el costo de insumos. Ver tabla 5.12.

## **7.2. Para el sistema de aglomeración con resina furánica**

- 7.2.1. Los mejores parámetros de resistencia a la tracción a las 12 horas de moldeo (valores mayores a 82 PSI) para un sistema furánico se obtienen al mezclar 1,10% de resina y 20 ó 22% de catalizador. Sin embargo es preferible emplear 22% de catalizador para mejorar la resistencia del molde en las primeras 6 horas después del moldeo, Ver tablas 5.21 y 5.23.
- 7.2.2. A las concentraciones de 1,10% de resina y 22% de catalizador se determinó que la arena sílice tiene un tiempo de vida de banca de 6 minutos y un tiempo de curado de 21 minutos.
- 7.2.3. Para la fabricación de moldes pequeños en donde no existe una gran exigencia mecánica del metal en el molde se puede emplear dosis de 1,00% de resina y manteniendo el catalizador en 22%. Ver tabla 5.21.
- 7.2.4. El incremento de la resistencia a la tracción en el molde dependerá exclusivamente de la adición de la resina en la mezcla. Valores superiores a 1,10% de resina permitirá obtener moldes con más de 90 PSI a las 12 horas de moldeo. Ver tabla 5.27.
- 7.2.5. Teniendo la misma premisa que la conclusión 7.1.5. se aconseja trabajar con arenas con porcentajes de finos menor al 3% (se obtienen valores mayores a 85 PSI en la resistencia a la tracción a las 12 horas de moldeo). Emplear arena con porcentajes de

finos mayores al 3% incrementaría el consumo de resina y catalizador en la mezcla. Ver tabla 5.34.

7.2.6. De las pruebas de resistencia a la tracción a la arena sílice con 1,10% de resina y 22% de catalizador se determinó que el porcentaje máximo de retorno de la arena debe ser 90%, cantidades mayores a la indicada permitiría formar moldes de baja compactibilidad. Este efecto podría corregirse adicionando más cantidad de resina a la mezcla, sin embargo incrementaría el costo de operación. Ver tabla 5.36 y figura 5.22.

7.2.7. Trabajar a concentraciones de resina de 1,10% y 22% de catalizador con arena nueva permiten tener un costo de insumos de USD 94,16/TN, mientras que trabajar con arena de retorno al 90% el costo es USD 41,03/TN, disminuyendo en 56,4% el costo de insumos. Ver tabla 5.31.

### **7.3. Para el sistema de aglomeración con resina fenólica - uretánica**

7.3.1. Los mejores parámetros de resistencia a la tracción a las 12 horas de moldeo (valores mayores a 82 PSI) para un sistema fenólico - uretánico se obtienen al mezclar 0,90% de resina y 2,5% de catalizador. Ver tabla 5.40.

7.3.2. A las concentraciones de 0,90% de resina y 2,5% de catalizador se determinó que la arena sílice tiene un tiempo de vida de banca de 4,5minutos y un tiempo de curado de 20minutos.

7.3.3. Para la fabricación de moldes pequeños en donde no existe una gran exigencia mecánica del metal en el molde se puede

emplear dosis de 0,85% de resina y manteniendo el catalizador en 2,5%. Ver tabla 5.44.

- 7.3.4. El incremento de la resistencia a la tracción en el molde dependerá exclusivamente de la adición de la resina en la mezcla. Valores superiores a 0,90% de resina permitirá obtener moldes con más de 86 PSI a las 12 horas de moldeo. Ver tabla 5.44.
- 7.3.5. Las pruebas de resistencia a la tracción efectuadas a la arena de moldeo con distintos porcentajes de finos demostraron que el porcentaje máximo de finos debe ser 3% (valores mayores a 81,5 PSI se obtienen al trabajar porcentajes de finos menores al 3%). Ver tabla 5.52.
- 7.3.6. Las pruebas de resistencia a la tracción a la arena sílice de retorno determinaron que para dosis de 0,90% de resina y 2,5% de catalizador el porcentaje máximo de retorno de la arena debe ser 80%, cantidades mayores a la indicada permitiría formar moldes de baja compactibilidad. Ver tabla 5.54 y figura 5.35.
- 7.3.7. Trabajar a concentraciones de resina de 0,90% y 2,5% de catalizador con arena nueva permiten tener un costo de insumos de USD 91,62/TN, mientras que trabajar con arena de retorno al 90% el costo es USD 45,36/TN, disminuyendo en 50,5% el costo de insumos. Ver tabla 5.49.

## **CAPÍTULO 8**

### **OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES**

- 8.1. Se aconseja determinar la dosificación adecuada de resina y catalizador, altas concentraciones de dichos insumos permitirían formar moldes con elevada resistencia a la tracción, moldes compactos evitan la eliminación de gases que se generan durante la fundición, formando porosidades en las piezas; mientras que una baja dosificación permitirá formar moldes frágiles que pueden romperse durante el proceso de colada.
- 8.2. Para un sistema de aglomeración fenólico alcalino no es aconsejable que la arena recircule constantemente a pesar que se retiren los finos, debido a que el contenido del fenol en la resina, dicho producto es generador de gases en el molde, ocasionando porosidades en las piezas, así como es perjudicial al operador debido a que es producto cancerígeno.

# ANEXOS

## EQUIPOS DE LABORATORIO

Fuente: Catálogo de productos Simpson+Generosa

### Compactador Universal de Probetas

El compactador universal de probetas puede ser usado para preparar una muestra de arena AFS 2" x 2" (50 mm x 50 mm) y para determinar la compactabilidad de arena de moldeo preparada. La muestra de arena estándar se utiliza en diferentes pruebas: permeabilidad, compresión, corte, partición, etc. La arena que va a ser ensayada es puesta dentro de un tubo probetero y es compactada por pesa. El vástago del compactador de probetas posee dos escalas de medición. Una de las escalas es para medir la compactabilidad y la otra es para medir la altura final de la muestra. Las escalas también pueden usarse para determinar el peso necesario de la muestra para la preparación de una muestra de arena estándar.

El compactador incluye un extractor de probetas, un tubo probetero y pedestal para el tubo.

Norma de Ensayo	Dimensiones y Peso
AFS: Standard Métrico: Opcional	Largo: 191 mm (7.5") Ancho: 241 mm (9.5") Alto: 559 mm (22") Peso: 22.7 Kg (50 lb)

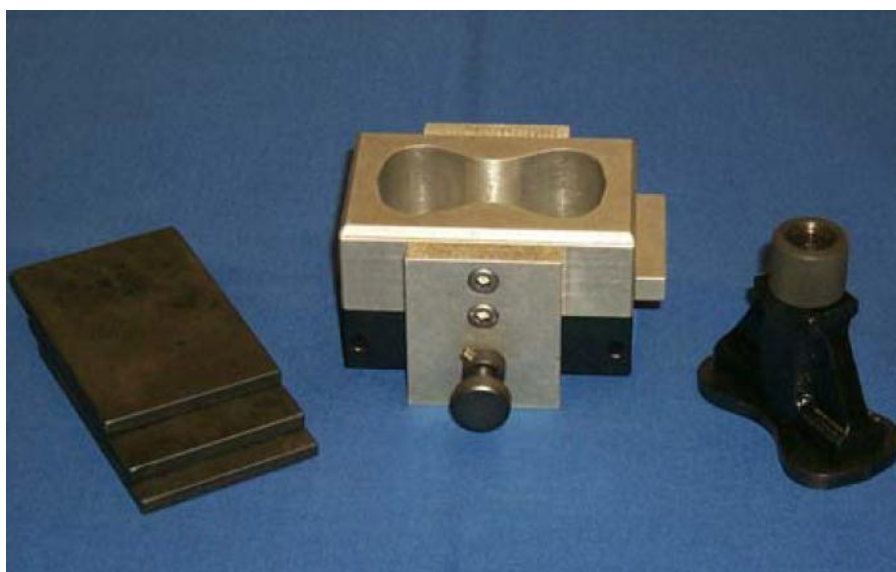




### Probetero para Tracción en frío.

El probetero para tracción en frío se usa con el compactador universal de probetas, para preparar probetas de tracción de “hueso de perro ligadas” con sustancias autofraguantes. El kit incluye caja de noyo para confeccionar la probeta de tracción, el pie de compactación especial y tres secadores para el endurecimiento (si es necesario) de las muestras de arena compactada. Estas probetas son usadas en la una maquina universal de ensayos electrónicos y la mordaza de tracción en frío para determinar la tracción en frío.

Norma de Ensayo	Dimensiones y Peso
AFS: Standard Métrico: Opcional	Largo: 102 mm (4") Ancho: 102 mm (4") Alto: 152 mm (6") Peso: 2 Kg (4.4 lb)



### Probetero Múltiple de tracción en frío (9 cavidades)

El probetero de tracción múltiple en frío es usado para hacer probetas estándar para ensayo en frío usando arenas autofraguadas. Con este probetero se moldea nueve huesos para perro simultáneamente. Consiste en tres hileras con tres cavidades cada una dentro de un cuadro de madera. Se incluye una barra para remover el exceso de arena.

Norma de Ensayo	Dimensiones y Peso
AFS: Standard Métrico: Opcional	Largo: 330 mm (13") Ancho: 241 mm (9.5") Alto: 51 mm (2") Peso: 3.6 Kg (8 lb)



## Maquina Universal de Ensayos Electrónica

La máquina Universal de tracción Electrónica se usa para determinarse las propiedades de resina de las probetas de arena ligadas con arcilla y/o químicamente. Un brazo que se mueve horizontalmente aplica presión sobre una probeta de arena hasta el máximo. Una vez que se alcance la máxima resistencia, la prueba está completa y la maquina vuelve a su posición de reposo. La información de la resistencia se ve claramente en una pantalla digital. Cuando se está ensayando la resistencia de compresión verde, la muestra de arena no se destruye por que el ensayo para cuando se llega a la máxima resistencia. Esto mantiene el área limpia y le permite al operador que mida la deformación verde al máximo de la resistencia, usando el dispositivo de deformación en verde.

La máquina puede también realizar diferentes ensayos de resistencia de arena con aditamentos y accesorios adicionales que son fáciles de conectar al instrumento. Estos ensayos incluyen: resistencia de compresión en seco y verde, resistencia de corte en seco y verde, resistencia a la partición, deformación en verde al máximo de la resistencia a la tracción de arenas

revestidas en caliente, resistencia de tracción y flexión de arena revestida en frío, resistencia de flexión de disco, resistencia de tracción y flexión de noyós y resistencia de tracción en caja caliente. Después de poner la probeta en su lugar, el operador solo necesita seleccionar la opción de ensayo correcta y presionar el botón de inicio. En la pantalla se ven operaciones de cinco dígitos que muestran los valores de la resistencia de la muestra en N/cm<sup>2</sup> o psi, dependiendo de la preferencia del operador. El diseño de la máquina incorpora calibrador digital que puede ser completada en minutos y solo necesita la Celda de Carga Mecánica.

La máquina Universal de Ensayos Electrónica, incluye el accesorio necesario para determinar la resistencia de compresión y corte, lubricador y regulador neumático, conectores y manguera neumática para conectar el regulador /filtro/lubricador a la máquina.

Especificaciones	Capacidad de la celda de carga: 500 Kg (1,102 lb) Calibración: Vía teclado digital (la calibración de la celda de carga necesita la “celda de Carga Mecánica” Necesidades de Potencia: Estándar – 120 Volts, 60 Hz, 20 W Opcional-220 Volts, 50-60 Hz Aire comprimido: 5 a 6 Bas (72-87 psi)
<b>Norma de Ensayo</b>	<b>Dimensiones y Peso</b>
AFS: Standard Métrico: Opcional	Largo: 457 mm (18”) Ancho: 305 mm (12”) Alto: 305 mm (12”) Peso: 30 Kg (66 lb)



## Mordaza de tracción en frío

Este accesorio se monta en la máquina de tracción universal de ensayos. El ensayo determina la resistencia a la tracción en frío de las probetas de “hueso de perro” estándar preparadas en aceite, caja fría, caja caliente y arenas autografuantes.

Norma de Ensayo	Dimensiones y Peso
AFS: Standard Métrico: Opcional	Largo: 83 mm (3.25") Ancho: 32 mm (1.25") Alto: 229 mm (9") Peso: 1.5 Kg (3.3 lb)



## Zaranda Vibratoria

La zaranda vibratoria se usa para determinar la mezcla de arenas para fundición. La zaranda está diseñada para sostener hasta once tamices estándar de 8 pulgadas de diámetro de mitad de alto. El análisis de tamiz se usa para chequear el tamaño y la distribución de las arenas y para calcular el tamaño ya la distribución de las partículas de arena y para calcular la fineza del grano AFS y la superficie específica. La zaranda consiste en un vibrador electromagnético y controles para regular la intensidad de la vibración. Un cronometro incorporado controla el tiempo de vibración.

Especificaciones	Necesidades de Potencia: Estándar – 120 Volts, 60 Hz, 100 W Opcional-220 Volts, 50-60 Hz
<b>Norma de Ensayo</b>	<b>Dimensiones y Peso</b>
AFS: Standard Métrico: No aplicable	Largo: 305 mm (12") Ancho: 362 mm (14.25") Alto: 800 mm (31.5") Peso: 39.1 Kg (86 lb)



### Conjunto de tamices para ensayo

Los conjuntos de tamices para pruebas se usan con la zaranda vibratoria para determinar el número de fineza del grano AFS y la distribución de arenas moldeadas y de noyós. Los tamices AFS incluidos son para ensayo de muestras de área y son los siguientes números en USA 6, 12, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 140, 200, 270.

Norma de Ensayo	Dimensiones y Peso
AFS: Standard Métrico: Opcional	Diámetro: 203 mm (8") Alto: 330 mm (13") Peso: 5.5 Kg (12 lb)



### Mezclador de laboratorio a paletas

El mezclador de laboratorio a Paletas está diseñado para mezclar líquidos aglomerantes con arena que es común para todas las mezclas ligadas químicamente. El mezclador incorpora una paleta mezcladora en forma de "S" que mezcla completamente la masa de arena. El mezclador tiene una capacidad de 9 lb. De arena sílice y opera con un motor de 0.5 HP.

Especificaciones	Necesidades de Potencia: Estándar – 120 Volts, 60 Hz Opcional-220 Volts, 50-60 Hz, 300 W
<b>Norma de Ensayo</b>	<b>Dimensiones y Peso</b>
AFS: Standard Métrico: No aplicable	Largo: 521 mm (20.5") Ancho: 273 mm (10.75") Alto: 324 mm (12.75") Peso: 50 Kg (110 lb)



Tabla A. Consumo promedio mensual de los distintos tipos de resina de curado en frío utilizadas por las principales fundiciones en Lima

<b>Sistema de aglomeración</b>	<b>Fundiciones</b>	<b>Consumo promedio mensual (TN)</b>
<b>Fenólico alcalino</b>	Metalúrgica Peruana S.A.	12.0
	Fundición Moreno SAC	9.0
	Metalúrgica Los Olivos	6.0
	Royal Steel S.A.	3.0
	Fundiciones Especiales	2.5
	Fundición Wayras	2.0
	<b>TOTAL</b>	<b>34.5</b>
<b>Fenólico – uretánico</b>	Metalúrgica Peruana S.A.	10.0
	Fundición Callao S.A.	18.0
	Fundición Ventanilla S.A.	12.0
	Fundición Central	6.0
	Fundición FERROSA EIRL	2.5
	<b>TOTAL</b>	<b>48.5</b>
<b>Furánico</b>	Hidrostal S.A.	12.0
	Fundición FUMASA	8.0
	Metalurgia del hierro y el cobre	1.5
	<b>TOTAL</b>	<b>21.5</b>

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Molding Methods and Materials**, American Foundry Society 1962
2. **Molding Methods and Materials**, American Foundry Society 1973
3. **Particle size distribution of Foundry Sand, Mixture in Mold and Core**, Test Handbook American Foundrymens Society 1973
4. **ASM Metals Handbook CASTING** - Volumen 15
5. **Ensayo de Arenas y Arcillas para la Fundición**, Tesis de Grado por Geraldo Coello Porras 1983
6. **Libro Blanco de Minimización de Arenas en Fundiciones Ferreas**, IHOBE Sociedad Pública Gestión Ambiental.
7. **Moldeo y Conformación**, Heinrich Gerling 1979
8. **Tecnología de los Oficios Metalúrgicos**, A. Leyensetter, G. Würtemberger, Carlos Saenz de Magarola 1974
9. **Reciclaje de los Residuos Industriales: Aplicación a la Fabricación de Materiales de Construcción**, Xavier Castells 2000
10. **Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales Procesos y Sistemas**, Mikell P. Groover 1997
11. **Ciencia de los Polímeros**, Fred Wallace Bilmeyer 1975
12. **Tecnología de los Metales para Profesionales Técnico - Metálicas**, Hans Appold 1994
13. **Materiales y Técnicas Aplicadas al Moldeo y Vaciados**, José Perciva U. 1992
14. **Manual del Aluminio**, W. Hufnagel 1992
15. **Química Orgánica Industrial**, K. Weisnrmel, H. Jügen 1981
16. **Manual de Modelismo**, A. Jackson, D. Day 1990
17. **Elementos Metálicos y Sintéticos**, Enrique Sanchez F. 2006
18. **Metalurgia General V2**, F.R. Morral 1985
19. **Materiales Compuestos V1**, A. Miravete 2003
20. **Materiales y Procesos Avanzados: Materiales de Alta Tecnología**, F. J. Melero Columbri 1993
21. **Tecnología Mecánica**, A. Nápoles Alberso 2001
22. **Introducción a la Química de los Polímeros**, R. B. Seymour, Ch. E. Corraher 1985
23. **Fabricación Mecánica: Desarrollo y Fabricación de Productos**, Ministerio de Educación y Ciencia – España 1985



## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

- Tabla 1.1. Distribución típica de la arena sílice en función de la granulometría (página 10).
- Tabla 1.2. Influencia de la morfología de los granos de arena sílice en la formación de los moldes de fundición (página 12).
- Tabla 1.3. Distribución granulométrica típica de los distintos tipos de arenas empleados en la industria de la fundición (página 13)
- Tabla 1.4. Propiedades físico – químicas de las arenas de moldeo (página 13)
- Tabla 1.5. Influencia de la homogeneidad de las arenas de moldeo (página 14)
- Tabla 1.6. Especificaciones técnicas de la pintura a base de grafito (página 19)
- Tabla 1.7. Especificaciones técnicas de la pintura a base de zirconio (página 19)
- Tabla 1.8. Especificaciones técnicas de la pintura a base de magnésita (página 20)

- Tabla 3.1. Composición típica de la resina fenólica alcalina (página 32)
- Tabla 3.2. Especificaciones técnicas de la resina fenólica alcalina (página 32)
- Tabla 3.3. Composición típica del catalizador para resina fenólica alcalina (página 32)
- Tabla 3.4. Especificaciones técnicas de las resinas furánicas (página 35)
- Tabla 3.5. Especificaciones técnicas de los catalizadores para resinas furánicas (página 37)
- Tabla 3.6. Especificaciones técnicas de las resinas fenólicas – uretánicas (página 38)
- Tabla 3.7. Especificaciones técnicas de las resinas fenólicas – uretánicas, tipo Quantum (página 39)
- Tabla 3.8. Especificaciones técnicas de los catalizadores para resinas fenólicas – uretánicas (página 39)
- Tabla 3.9. Especificaciones técnicas de la resina fenólica con curado con CO<sub>2</sub> (página 44)
- Tabla 3.10. Composición de materiales de moldeo en la técnica de moldeo con silicato de sodio (página 47).
- Tabla 3.11. Componentes de la arena para un sistema de moldeo en verde (página 49)

- Tabla 3.12. Características de las bentonitas altamente activas (página 54)
- Tabla 3.13. Pesos máximos en kilogramo de las piezas elaboradas en moldes de arena en verde según el tipo de fundición (página 55)
- Tabla 5.1. Parámetros de operación al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina fenólica alcalina empleando 20% de catalizador (página 62)
- Tabla 5.2. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina fenólica alcalina empleando 20% de catalizador (página 62).
- Tabla 5.3. Parámetros de operación al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina fenólica alcalina empleando 22% de catalizador (página 63)
- Tabla 5.4. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina fenólica alcalina empleando 22% de catalizador (página 64)
- Tabla 5.5. Parámetros de operación al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina fenólica alcalina empleando 25% de catalizador (página 65)

- Tabla 5.6. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina fenólica alcalina empleando 25% de catalizador (página 65)
- Tabla 5.7. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,25% de resina fenólica alcalina (página 66)
- Tabla 5.8. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,15% de resina fenólica alcalina (página 67)
- Tabla 5.9. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,05% de resina fenólica alcalina (página 68)
- Tabla 5.10. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,95% de resina fenólica alcalina (página 69)
- Tabla 5.11. Precio unitario de la resina y catalizador para un sistema fenólico (página 70)
- Tabla 5.12. Valores de los costos de los insumos por tonelada de arena y resistencia a la tracción obtenida de las distintas pruebas de aglomeración para un sistema fenólico (página 71)

- Tabla 5.13. Valores del tiempo de cura y tiempo de vida de banca al emplear arena sílice a dosis de resina fenólica de 0,95%, 1,05%, 1,15% y 1.25% y a distintos porcentajes de catalizador (página 72)
- Tabla 5.14. Valores de operación al trabajar arena sílice nueva de distintas granulometrías y a dosis constantes de 1,15% de resina y 22% de catalizador (página 73)
- Tabla 5.15. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos de finos, empleando dosis de 1,15% de resina y 22% de catalizador (página 73)
- Tabla 5.16. Valores de operación al trabajar distintos porcentajes de retorno de arena sílice con dosis de resina de 1,15% y 22% de catalizador (página 75)
- Tabla 5.17. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice de retorno a distintos porcentajes y empleando dosis de 1,15% de resina y 22% de catalizador (página 75).
- Tabla 5.18. Parámetros de operación al trabajar arena sílice a distintos porcentajes de resina furánica manteniendo constante el catalizador en 25% (página 77)
- Tabla 5.19. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina empleando 25% de catalizador (página 77)

- Tabla 5.20. Parámetros de operación al trabajar arena sílice a distintos porcentajes de resina furánica manteniendo constante el catalizador en 22% (página 78)
- Tabla 5.21. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina empleando 22% de catalizador (página 79)
- Tabla 5.22. Parámetros de operación al trabajar arena sílice a distintos porcentajes de resina furánica manteniendo constante el catalizador en 20% (página 80)
- Tabla 5.23. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina empleando 20% de catalizador (página 80)
- Tabla 5.24. Parámetros de operación al trabajar arena sílice a distintos porcentajes de resina furánica manteniendo constante el catalizador en 17% (página 81)
- Tabla 5.25. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina empleando 17% de catalizador (página 82)
- Tabla 5.26. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,20% de resina furánica (página 83)

- Tabla 5.27. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,10% de resina furánica (página 84)
- Tabla 5.28. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,00% de resina furánica (página 85)
- Tabla 5.29. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,90% de resina furánica (página 86)
- Tabla 5.30. Precio unitario de la resina y catalizador para un sistema furánico (página 87)
- Tabla 5.31. Valores de los costos de los insumos por tonelada de arena y resistencia a la tracción obtenida de las distintas pruebas de aglomeración para un sistema furánico (página 87)
- Tabla 5.32. Valores del tiempo de cura y tiempo de vida de banca al emplear arena sílice a dosis de resina furánica de 0,90%, 1,00%, 1,10% y 1.20% y a distintos porcentajes de catalizador (página 88)
- Tabla 5.33. Valores de operación al trabajar arena sílice nueva de distintas granulometrías y a dosis constantes de 1,10% de resina y 22% de catalizador (página 89)

- Tabla 5.34. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos de finos, empleando dosis de 1,10% de resina y 22% de catalizador (página 89)
- Tabla 5.35. Valores de operación al trabajar distintos porcentajes de retorno de arena sílice con dosis de resina de 1,10% y 22% de catalizador (página 91)
- Tabla 5.36. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice de retorno a distintos porcentajes y empleando dosis de 1,10% de resina y 22% de catalizador (página 91)
- Tabla 5.37. Parámetros de operación al trabajar arena sílice a distintos porcentajes de resina fenólica–uretánica manteniendo constante el catalizador en 1,50% (página 93)
- Tabla 5.38. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina fenólica – uretánica empleando 1,5% de catalizador (página 93)
- Tabla 5.39. Parámetros de operación al trabajar arena sílice a distintos porcentajes de resina fenólica – uretánica manteniendo constante el catalizador en 2,5% (página 94)
- Tabla 5.40. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina fenólica – uretánica empleando 2,5% de catalizador (página 95)



- Tabla 5.41. Parámetros de operación al trabajar arena sílice a distintos porcentajes de resina fenólica – uretánica manteniendo constante el catalizador en 3,5% (página 96)
- Tabla 5.42. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de resina fenólica – uretánica empleando 3,5% de catalizador (página 96)
- Tabla 5.43. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,95% de resina fenólica – uretánica (página 97)
- Tabla 5.44. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,90% de resina fenólica – uretánica (página 98)
- Tabla 5.45. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,85% de resina fenólica – uretánica (página 99)
- Tabla 5.46. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,75% de resina fenólica – uretánica (página 100)
- Tabla 5.47. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,65% de resina fenólica – uretánica (página 101)

- Tabla 5.48. Precio unitario de la resina y catalizador para un sistema fenólico – uretánico (página 102)
- Tabla 5.49. Valores de los costos de los insumos por tonelada de arena y resistencia a la tracción obtenida de las distintas pruebas de aglomeración para un sistema fenólico – uretánico (página 103)
- Tabla 5.50. Valores del tiempo de cura y tiempo de vida de banca al emplear arena sílice a dosis de resina fenólica – uretánica de 0,65%, 0,75%, 0,85%, 0,90% y 0.95% y a distintos porcentajes de catalizador (página 104)
- Tabla 5.51. Valores de operación al trabajar arena sílice nueva de distintas granulometrías y a dosis constantes de 0,90% de resina y 2,5% de catalizador (página 105)
- Tabla 5.52. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice nueva a distintos porcentajes de finos, empleando dosis de 0,90% de resina y 2,5% de catalizador (página 105)
- Tabla 5.53. Valores de operación al trabajar distintos porcentajes de retorno de arena sílice con dosis de resina de 0,90% y 2,5% de catalizador. Relación de resina Parte I/Parte II de 65/35 (página 107)
- Tabla 5.54. Valores de resistencia a la tracción (PSI) al trabajar arena sílice de retorno a distintos porcentajes y empleando dosis de 0,90%

de resina y 2,5% de catalizador. Relación de resina Parte I/Parte II de 65/35 (página 107)

Tabla 5.55. Precio unitario y dosificación de los distintos tipos de resina con sus respectivos catalizadores para los sistemas de curado en frío utilizadas por las principales fundiciones en Lima (página 109)

Tabla 5.56. Tiempo de Vida de Banca y Tiempo de Curado para los distintos tipos de sistemas de aglomeración con resinas de curado en frío (página 109)

Tabla 5.57. Costos de resina, catalizador y arena sílice para los distintos tipos de sistemas de curado en frío empleados para la fabricación de moldes con arena nueva y recirculada para un sistema de producción de moldeo de 5TN de arena (página 111)

Tabla 5.58. Cuadro resumen de los costos de la resina y catalizador por tonelada de arena sílice nueva y de retorno para los distintos tipos de sistemas de aglomeración con resinas de curado en frío (página 112)

Tabla 5.59. Resistencia a la Tracción a las 12horas de moldeo con arena sílice nueva y de retorno para los distintos tipos de sistemas de aglomeración con resinas de curado en frío (página 113)

- Tabla 5.60. Valores de Resistencia a la Tracción a las 12 horas de moldeo para determinar el porcentaje máximo de finos para los distintos tipos de sistemas de aglomeración con resinas de curado en frío (página 114)
- Figura 1.1. Modelos de cajas empleadas en el proceso de moldeo (página 22)
- Figura 1.2. Herramientas y equipos empleados en el proceso de moldeo (página 22)
- Figura 2.1. Fabricación de moldes por conformación (página 25)
- Figura 2.2. Flujograma para la fabricación de moldes perdidos (página 27)
- Figura 2.3. Flujograma para la fabricación de moldes partidos y enteros (página 29)
- Figura 3.1. Distintas fases del endurecimiento del macho (página 41)
- Figura 3.2. Flujograma operativo para un sistema de moldeo en verde (página 51)
- Figura 3.3. Sistema de cristalización de la bentonita cálcicas y de magnesio (página 52)
- Figura 3.4. Determinación del grado de activación por medio de la resistencia en húmedo con 6 partes en peso (pp) de bentonita y 3% de agua (página 53)

- Figura 5.1. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina fenólica alcalina empleando 20% de catalizador (página 63)
- Figura 5.2. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina fenólica alcalina empleando 22% de catalizador (página 64)
- Figura 5.3. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina empleando 25% de catalizador (página 66)
- Figura 5.4. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,25% de resina fenólica alcalina (página 67)
- Figura 5.5. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,15% de resina fenólica alcalina (página 68)
- Figura 5.6. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,05% de resina fenólica alcalina (página 69)
- Figura 5.7. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,95% de resina fenólica alcalina (página 70)

- Figura 5.8. Valores del tiempo de cura y tiempo de vida de banca al emplear dosis de resina de 0,95%, 1,05%, 1,15% y 1,25% de resina fenólica, variando la concentración del catalizador (página 72)
- Figura 5.9. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de finos empleando dosis de 1,15% de resina y 22% de catalizador (página 74)
- Figura 5.10. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo al emplear distintos porcentajes de retorno de arena sílice y empleando dosis de 1,15% de resina y 22% de catalizador (página 76)
- Figura 5.11. Determinación del porcentaje máximo de retorno de la arena sílice en un sistema de aglomeración en frío con resina fenólica alcalina empleando dosis de 1,15% de resina y 22% de catalizador (página 76)
- Figura 5.12. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina empleando 25% de catalizador (página 78)
- Figura 5.13. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina empleando 22% de catalizador (página 79)

- Figura 5.14. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina empleando 20% de catalizador (página 81)
- Figura 5.15. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina empleando 17% de catalizador (página 82)
- Figura 5.16. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,20% de resina furánica (página 83)
- Figura 5.17. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,10% de resina furánica (página 84)
- Figura 5.18. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 1,00% de resina furánica (página 85)
- Figura 5.19. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,90% de resina furánica (página 86)
- Figura 5.20. Valores del tiempo de cura y tiempo de vida de banca al emplear arena sílice a dosis de resina furánica de 0,90%, 1,00%, 1,10% y 1,20% y a distintos porcentajes de catalizador (página 88)

- Figura 5.21. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de finos empleando dosis de 1,10% de resina y 22% de catalizador (página 90)
- Figura 5.22. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo al emplear distintos porcentajes de retorno de arena sílice y empleando dosis de 1,10% de resina y 22% de catalizador (página 92)
- Figura 5.23. Determinación del porcentaje máximo de retorno de la arena sílice en un sistema de aglomeración en frío con resina furánica empleando dosis de 1,10% de resina y 22% de catalizador (página 92)
- Figura 5.24. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina fenólica – uretánica empleando 1,5% de catalizador (página 94)
- Figura 5.25. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina fenólica – uretánica empleando 2,5% de catalizador (página 95)
- Figura 5.26. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de resina fenólica – uretánica empleando 3,5% de catalizador (página 97)



- Figura 5.27. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,95% de resina fenólica – uretánica (página 98)
- Figura 5.28. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,90% de resina fenólica – uretánica (página 99)
- Figura 5.29. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,85% de resina fenólica – uretánica (página 100)
- Figura 5.30. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,75% de resina fenólica – uretánica (página 101)
- Figura 5.31. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de catalizador empleando 0,65% de resina fenólica – uretánica (página 102)
- Figura 5.32. Valores del tiempo de cura y tiempo de vida de banca al emplear arena sílice a dosis de resina fenólica - uretánica de 0,65%, 0,75%, 0,85%, 0,90% y 0,95% y a distintos porcentajes de catalizador (página 104)
- Figura 5.33. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de finos empleando dosis de 0,90% de resina y 2,5% de catalizador (página 106)

- Figura 5.34. Curvas comparativas de la resistencia a la tracción a través del tiempo a distintos porcentajes de retorno de arena sílice y empleando dosis de 0,90% de resina y 2,5% de catalizador. Relación de resina Parte I/Parte II de 65/35 (página 108)
- Figura 5.35. Determinación del porcentaje máximo de retorno de la arena sílice en un sistema de resina fenólica – uretánica empleando dosis de 0,90% de resina y 2,5% de catalizador. Relación de resina Parte I / Parte II de 65/35 (página 108)
- Figura 5.36. Gráfico comparativo de los tiempos de Vida de banca y tiempo de Curado para los distintos tipos de sistemas de aglomeración con resinas de curado en frío (página 110)
- Figura 5.37. Gráfico comparativo de los costos de los insumos por tonelada de arena sílice nueva y de retorno para los distintos tipos de sistemas de aglomeración con resinas de curado en frío (página 112)
- Figura 5.38. Gráfico comparativo de la resistencia a la tracción a las 12 horas de moldeo con arena sílice nueva y de retorno para los distintos tipos de sistemas de aglomeración con resinas de curado en frío (página 113)
- Figura 5.39. Determinación del porcentaje máximo de finos de la arena sílice nueva a través de la Resistencia a la Tracción para los

distintos tipos de sistemas de aglomeración con resinas de curado en frío (página 114)