



Centro de Maquinado CNC (Control Numérico Computarizado)

## TECNOLOGÍA DE PROCESO DE INYECCIÓN DE CERA, RECUBRIMIENTO CERÁMICO, FUSIÓN Y VACIADO, ACONDICIONAMIENTO, MAQUINADO Y ENSAMBLE

### *INYECCIÓN DE CERA*

Para la fabricación de los componentes de acero inoxidable 316L mediante el método de fundición de precisión o a la cera perdida, es necesario hacer una pieza en cera de cada componente, igual a la que se requiere como producto terminado en metal. Para hacer este prototipo en cera, es necesario una máquina de inyección con la capacidad de llenar el molde (este debe contemplar la contracción de la cera y del metal para asegurar que las dimensiones finales sean las requeridas).

- Equipos y herramientas

Máquina de inyección de cera: Es un equipo que funde e inyecta a presión la cera hacia el molde; esta debe tener la capacidad para fundir la cera e inyectarla a una temperatura aproximada a 150 °F y presión mínima de inyección de 500 psi.

Molde: Es un herramental que puede estar fabricado en aluminio, acero, resinas etc.; el cual en su interior presenta la configuración geométrica de la pieza a fabricar. La forma de alimentación de la máquina al interior del molde se realiza por medio de un conducto o canal, en el cual se le ajusta la boquilla de inyección.

Espátulas: Herramienta de apoyo.

- Materias primas

Cera; Cerita Wax F20-6

Nota: La cera a inyectar debe estar libre de materiales extraños como papel, cartón, cerámicos, con el fin de evitar defectos y obstrucciones en el sistema de inyección.

Desmoldante de silicón: Se utiliza como antiadherente entre el molde y la pieza de cera.

- Pasos para la inyección de cera

Precalentar la cera a la temperatura de inyección según sean las recomendaciones del fabricante, tipo de máquina y el arreglo del sistema de inyección (este comprende: diámetros de canales alimentadores, material, espesor y el tipo de enfriamiento del molde).

Colocar el molde en la mesa de trabajo con la aplicación previa de desmoldante (silicón), ajustar a este la boquilla inyectora y aplicar una presión de 900 a 1000 psi para su fijación sobre la mesa de la máquina. Estos parámetros estarán en función de la máquina de inyección con que se trabaje y peso de la pieza a inyectar.

Determinar la presión de inyección mediante pruebas preliminares. Estas se realizan con el objeto de ajustar las variables de nuestro sistema a las condiciones de inyección. Las variables que se tendrán que ajustar para cada volumen dado de inyección (volumen ocupado por la cavidad y canales del molde), serán la presión y temperatura. Estas pruebas servirán también para determinar el tiempo de solidificación y enfriamiento de la pieza en cera. Ya seleccionada la presión y temperatura de trabajo, se procede a ajustar estos parámetros en la máquina y se procede con la inyección.

El tiempo de solidificación de la pieza de cera dentro de un molde de aluminio es aproximadamente de 1 minuto, sin embargo, este parámetro debe ser fijado en las pruebas preliminares.

Se retira la presión de fijación del molde y se retira la parte superior de esta.

Se procede al desmolde de la pieza en cera mediante chorro de aire a presión y espátulas, teniendo precaución con el manejo debido a que su núcleo tarda más en enfriarse y pueden deformarse con facilidad. Se procede a realizar la limpieza del molde y se aplica el desmoldante para la siguiente inyección. A los moldes se les debe suministrar desmoldante antes de vaciar la cera con el objeto de disminuir la adherencia durante el desmoldeo. Para esta acción se recomienda utilizar silicón en spray.

Se revisan todas las piezas de cera, a fin de detectar si presentan golpes, poros, burbujas de aire, rechupes, partes sin rellenar, inclusiones o algún otro defecto. En caso de tener alguna imperfección que ponga en riesgo la calidad del producto, se deberá desechar. En caso de que las imperfecciones sean fáciles de reparar, se procede con la recuperación de éstas.







## ***ARMADO DE ÁRBOLES***

Árbol es el nombre comúnmente designado al molde que contiene las piezas el cual se compone de un alimentador principal, y ductos alimentadores o ramificaciones a través de las cuales entra el metal a las piezas.

El diseño de colada (configuración geométrica de los árboles) juega un papel importante en el proceso de cera perdida, un buen diseño de colada puede evitar defectos como rechupes, porosidad por gases atrapados, puntos fríos, choques de frentes de solidificación entre otros defectos; además, el diseño debe ser de fácil fabricación.

- Equipo a utilizar

Espátula: Se utilizan para unir los accesorios confortantes del árbol de colada.

Cautín punta de lápiz: Equipo que proporciona calor mediante una resistencia. Fuente de calor (Estufa o mechero de gas).

- Material a utilizar

Cerita red wax

- Pasos para el armado
  - Para los árboles de los componentes en cera, se empleará el diseño de colada.
  - Fabricación de accesorios

En este paso se deben fabricar las copas (bocas del árbol), alimentadores primarios, secundarios y venteos (ductos para salida de gases) de acuerdo a la geometría del diseño de colada que se presenta cada pieza. La forma de fabricar los accesorios es mediante la inyección o el vaciado de cera en moldes cuyas geometrías sean la de los accesorios (copas, alimentadores y venteas) del árbol de cera. Para el vaciado de cera es necesario calentarla en un recipiente metálico hasta alcanzar la fusión. La cera líquida es vertida por gravedad en los moldes para accesorios (se pueden fabricar en madera, resina o placa metálica) en los cuales se deja solidificar y enfriar para finalmente obtener la pieza mediante el desmoldeo.







## **LAVADO DE ÁRBOLES**

Este se realiza para eliminar los residuos del desmoldante de silicón algunas impurezas como polvo etc., de la superficie y proveer un parámetro de rugosidad Ra de 80 micropulgadas que ayude a adherirse el recubrimiento cerámico a la superficie del árbol.

- Equipo a utilizar

Depósito de wash and etch pattern cleaner (Depósitos de acero inoxidable para contenerlo)

Tina de enjuague (depósito para agua)

Equipo de aire comprimido.

- Material utilizado

- Wash and etch pattern cleaner.

- Agua.

- Aire comprimido.

- Pasos para el lavado de árboles

Sujetar el árbol del gancho y sumergirlo en el depósito de wash and etch pattern cleaner por espacio de 4 segundos de cuatro a cinco veces.

Después de sumergir el árbol en wash and etch pattern cleaner, inmediatamente se lava con agua en la tina de enjuague.

Eliminar el exceso de agua utilizando aire a presión.

Dejar secar el árbol en un estante por un espacio de 2 horas en la sala de cerámicos.





## ***RECUBRIMIENTO CERÁMICO***

- Preparación de lodos cerámicos y lechos fluidos

El procedimiento para la preparación de los lodos cerámicos se realiza previo al recubrimiento de los árboles de cera, esta etapa se considera de suma importancia en el proceso, pues con esta se debe garantizar el éxito de las etapas subsecuentes. Se recomienda que los lodos y las arenas se preparen dentro de la sala de recubrimientos cerámicos cuyas condiciones de temperatura y humedad sean controladas.

- Equipo a utilizar
  - Copas para medir la viscosidad tipo Zahn # 4 y # 5
  - 2 tinas mezcladoras para lodos (tamaño en función de volumen de producción y de los árboles)
  - 3 tinas contenedoras de lecho fluido para arena ó lluvia (tamaño en función de volumen de producción y de los árboles), comúnmente llamado “stucco”

- Material a utilizar
  - Aglutinante (Sílice coloidal)
  - Harina de sílice fundida de malla -325
  - Harina de zirconio de malla -200.
  - Arena de zirconio de malla -80+100
  - Arena sílice fundida de malla -50+100
  - Arena de sílice fundida de malla -30+50

#### PASOS PARA LA PREPARACIÓN DE TINAS CON LODOS Y LECHOS FLUIDOS

##### - *PRIMER LODO*

Para la preparación del lodo debe utilizarse la relación de 1 litro de aglutinante (sílice coloidal) por cada 1.9 Kg. de mezclas de harinas (50% de arena de sílice -325 y 50% de zirconio -200). Homogenizar el lodo mediante mezclador por 12 horas. Verificar y ajustar la viscosidad hasta obtener de 20-25 segundos con copa Zahn # 4. Para regular la viscosidad se podrá adicionar agua destilada.

##### - *SEGUNDO LODO*

Para la preparación del segundo lodo debe utilizarse la relación de 1 litro de aglutinante (sílice coloidal) por cada 1.4 Kg del 100% harina de sílice fundida -200. Homogenizar el lodo durante 12 horas mínimo. Verificar y ajustar la viscosidad hasta obtener 20-25 segundos con copa Zahn # 5. Para regular la viscosidad se podrá utilizar agua destilada.

##### - *LECHO FLUIDO PARA ARENA O LLUVIA (stucco)*

Primer stucco ; Arena de zirconio de malla -80+100

Segundo stucco ; Arena sílice fundida de malla -50+80

Tercer stucco ; Arena de sílice fundida de malla -30+50

#### VARIABLES CRÍTICAS PARA LA PREPARACIÓN DE LODOS CERÁMICOS

*Humedad relativa de la sala:* 50 a 60%.

*Temperatura de la sala:* 20 a 25°C.



## ***PROCEDIMIENTO PARA EL RECUBRIMIENTO CERÁMICO***

El procedimiento parte del árbol de colada en cera previamente lavado. Este proceso consiste en recubrir mediante capas aglutinadas de cerámico hasta obtener un espesor de aproximadamente 6mm. Las capas se forman básicamente por dos pasos: El primer es la inmersión del árbol en un lodo, con el objeto de crear una capa que suministre un asiento en el cual se adhiere la arena que es aplicada en el segundo paso (stucco).

- **Primera capa**

Sumergir el árbol en el primer lodo durante 1 minuto, hasta formar una capa uniforme, permitiendo que escurran los excesos de lodo. En esta primera capa se emplea el método de lluvia o manual, en la cual se arroja el primer stucco de arena sobre la superficie del árbol hasta haber recubierto con una capa uniforme y la arena se deja adherir. (Arena de zirconio de malla -80+100). Se deja secar en una sala acondicionada a la temperatura de 20 a 25°C, con una humedad relativa de 50 a 60% durante un tiempo de 2-3 horas.

- **Segunda y tercera capa**

Se sumerge el árbol en el segundo lodo durante un minuto, hasta obtener una capa uniforme dejando escurrir los excesos. Después se le aplicará por el método de lluvia el segundo stucco, hasta obtener una capa uniforme y la arena se deja adherir. (Arena sílice fundida de malla -50+80). Se deja secar nuevamente a la temperatura y humedad antes señalada durante 4 horas.

- **Cuarta, quinta y sexta capa**

Repetir tres veces, los siguientes puntos. Se sumerge el árbol en el segundo lodo hasta obtener una capa uniforme dejando escurrir los excesos. Después se sumergirá el segundo lecho fluido, stucco 3, hasta obtener una capa uniforme y la arena deje de adherirse. (Arena de sílice fundida de malla -30+50). Se deja secar nuevamente a la temperatura y humedad antes señalada durante 4 horas.

- **Sello**

En este último paso el árbol se sumerge una vez más en el segundo lodo hasta recubrirlo por completo y después de extraerlo, no se le aplica el stucco, se deja secar a una temperatura de 20 a 25°C con una humedad relativa de 50 a 60% durante 12 horas.









## ***EVACUACIÓN DE CERA***

El objetivo de este proceso, es extraer la cera que se encuentra situada en el interior del molde cerámico, esto se logra calentando el molde con la finalidad de fundirla, la cual se traslada por acción gravitatoria entre los alimentadores del árbol hasta el exterior del molde donde cae en un contenedor. Para este proceso se utiliza un autoclave conectado a una caldera. El propósito de utilizar la caldera y autoclave es con la finalidad de acelerar la fusión y extracción de la cera, esto disminuye la posibilidad de agrietamientos del cerámico por efectos de expansión de la misma.

- Equipo a utilizar
  - Caldera de vapor de agua
  - Cámara autoclave
  
- Material a utilizar
  - Agua
  - Mortero refractario

Prender la caldera siguiendo los pasos de operación según sea el modelo hasta alcanzar una presión de vapor de 6 Kg/cm<sup>2</sup> en la caldera.

Precalear el autoclave a una temperatura correspondiente a la presión del vapor de 4 Kg/cm<sup>2</sup> durante 4 a 5 minutos. Extraer todo el vapor de la autoclave e introducir rápidamente los árboles.

Cerrar la puerta de la autoclave lo más rápido posible.

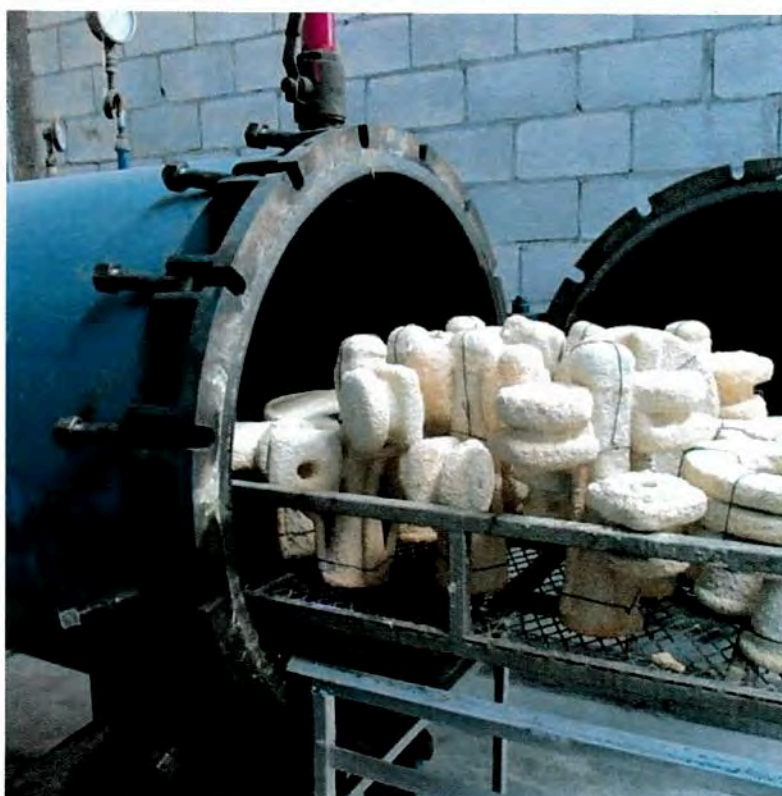
Alimentar la autoclave con una presión de vapor de 4 kg/cm<sup>2</sup> manteniendo por un tiempo de 15 a 20 minutos. Despresurizar el autoclave y sacar los árboles.

Realizar la inspección visual de los árboles para que en caso de que estos presenten agrietamientos se proceda a resanarlos con mortero refractario (Zincaset o arcset) y dejarlo secar.

### ***VARIABLES CRÍTICAS PARA LA EVACUACIÓN DE CERA***

Presión de trabajo de autoclave: 4 kg/cm<sup>2</sup>.

Tiempo de permanencia de los árboles en el autoclave: 15 a 20 minutos.



## FUSIÓN Y VACIADO

Para el proceso de fusión y vaciado es necesario considerar el cálculo de carga teórica del acero inoxidable 316L.

INOXIDABLE 316L

ELEMENTOS		P	Mn	Ni	S	Si	C	Mo	C	Fe	TOTAL
ACERO 316		0.03	1.50	12.00	0.02	1.50	0.03	2.50	20.00	62.42	
ACERO 1006		0.02	0.30	0.01	0.04	0.5	0.06			99.07	100
	61.55	0.0123	0.1847	0.00616	0.025	0.308	0.037			60.977	61.55
FERRO MOLIBDENO		0.10	0.10		0.04	0.15		65		34.61	100
EFICIENCIA 95%	3.90	0.0039	0.0039		0.002	0.006		2.535		1.3497	2.7
SILICIO METALICO		0.02	0.01		0.17	99.7	0.1				100
EFICIENCIA 98%	0.9	0.0002	0.0001		0.002	1.196	0.001				1.2
NIQUEL ELECTROLITICO				99.89	0.1			0.01			100
	12			11.9868	0			0			11.9868
CROMO ELECTROLITICO		0.01	0.01		0.1	0.1			99.8		100
	15	0.00	0.00		0.02	0.02			14.97		14.9985
MANGANESO ELEC.		0.02	99.7	0.01	0.01	0.16				0.1	100
	1.35	0.0003	1.35	0.00	0.00	0.00				0	1.3486495
TOTAL	100.00	0.01672	1.53462	11.99309	0.0284	1.5122	0.0381	2.535	19.956	62.32738	99.94145

Para la presente práctica se tomó como base de carga 180 Kg de acuerdo a cálculo de carga.

- Se carga el horno con 50% de chatarra de 1006 y se empieza a calentar a potencia baja, después de aproximadamente 10 minutos se aplica potencia para empezar fusión.
- Después de 10 minutos para permitir ligera oxidación del metal y verificando el caldo en el crisol se aplicó la cobertura de escoria sintética.
- Se cargan el 100% de las aleaciones y resto de chatarra verificando las condiciones de fusión para evitar embancamientos o recalentamiento del horno, se coloca la tobera para crear la atmósfera inerte con argón, se introduce lanza termopar para chequeo de temperatura.
- Se procede a desoxidar con aluminio
- Se prosigue calentando a potencia media y se verifica temperatura, ya alcanzada la temperatura de vaciado (1480°C). Se procede a desgasicar con argón y a retirar cobertura, se inicia el vaciado de piezas. Moldes precalentados a 800°C.











## ***ACONDICIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES***

El acondicionamiento se realiza a partir de los moldes cerámicos, estos son removidos por medio de vibración y golpeteo con el uso de martillos y cinceles, para después proceder al corte de cada uno de los componentes, utilizado para este proceso una cortadora de disco de carburo de silicio. Después de que se han cortado los componentes se desbasta la rebaba que pudiera quedar en la parte de alimentación y finalmente se procede a someter la pieza con arena a presión con el objeto de dejar libre la superficie de cerámicos.

- Equipo a utilizar
  - Cortadora de disco.
  - Máquina de golpeteo neumático.
  - Sandblast.
  
- Material a utilizar
  - Discos de corte de carburo de silicio.
  - Arena sílice 50-55 para sandblast
  - Discos de desbaste.
  
- Procedimiento para el acondicionamiento
  - Fracturar las capas de cerámico mediante vibración o martilleo, para desprenderlo completamente del molde, corte de la colada de los componentes, mediante el corte con discos de carburo de silicio.
  - Limpieza a presión (sandblast) utilizando arena silica.
  - Esmerilar los sobrantes de colada que aun estén en los componentes vaciados.

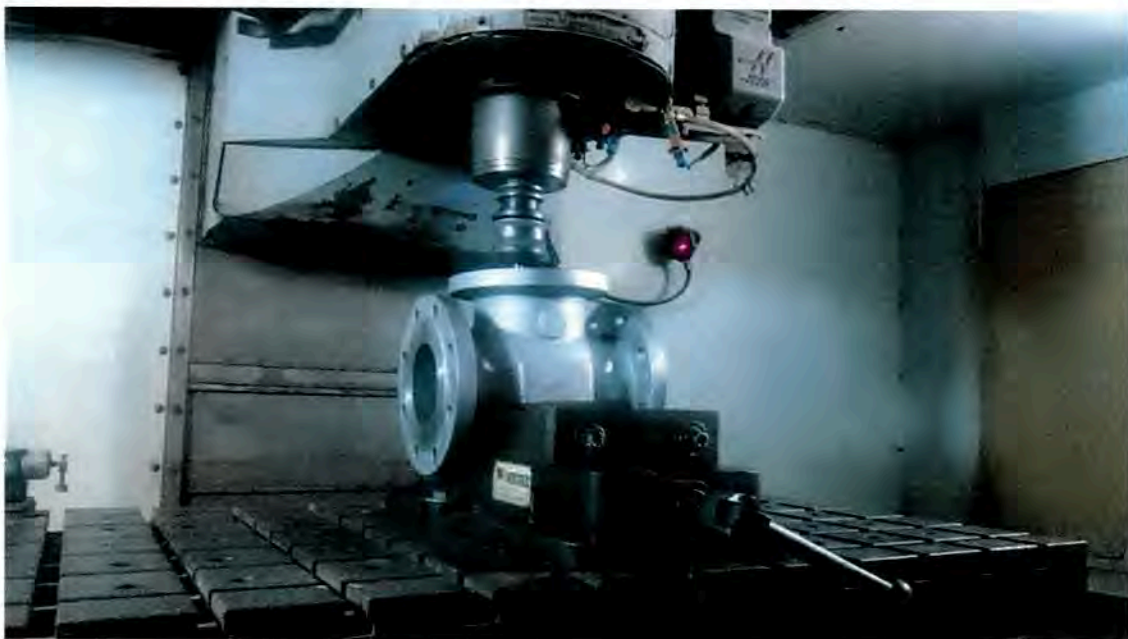


## MAQUINADO Y ENSAMBLE

El maquinado de las piezas se lleva a cabo en un centro de maquinado, el cual cuenta con una disposición automatizada capaz de realizar múltiples operaciones de maquinado en una instalación bajo CNC (control numérico computarizado) con la mínima intervención humana.

La pieza es colocada dentro de la cámara del centro de maquinado y asegurada por sujeción para su operación, a través de paletas transportadoras se transfieren la pieza el trabajo a la posición de maniobra y con herramientas de corte rotatorio, como cortadores y brocas se remueve el material, teniendo como resultado final piezas de geometría similar a las planteadas en los planos.

Después de esta operación las piezas son inspeccionada y llevadas a el área de ensamble, donde a través de herramienta convencional en armada y provista como producto final, es decir *válvula tipo globo de 4" vaciada en acero inoxidable 316L*.















## TECNOLOGÍA DE EQUIPO DE MOLDEO POR TRANSFERENCIA

El proceso de moldeo por transferencia de resina es un proceso simple y de bajo costo que se utiliza para la fabricación de grandes piezas y diseños complejos (como los diseños de asientos de todo tipo de válvulas) [1]; se considera un proceso intermedio entre la inyección y la compresión. El moldeo por transferencia de resina está indicado en el caso de que se deseen moldear muchas cavidades o cuando el llenado del molde con el material de moldeo resulte problemático (moldes muy planos o con inserciones metálicas), está relacionado estrechamente con el moldeo por compresión, debido a que utiliza el mismo tipo de polímeros (termofijos y elastómeros). Una característica importante del proceso es que demuestra adaptabilidad en el uso de insertos de metal o de cerámica que se colocan en la cavidad antes de la inyección, el plástico calentado se adhiere al inserto durante el moldeo. El ciclo del proceso de manufactura suele ser más corto debido a la mejor transferencia de calor cuando el material circula por los canales [2].

La temperatura es un parámetro importante del proceso de moldeo por transferencia, está estrictamente relacionada con la presión de inyección y la viscosidad de la resina. Cuando la temperatura aumenta, disminuye el tiempo de llenado y las presiones de trabajo son más bajas. Cuando la temperatura es baja, la viscosidad de la resina aumenta y es necesario aumentar la presión para asegurar la transferencia de la resina [3]. Recubrimientos de gel se pueden usar para proporcionar una alta calidad y un acabado duradero en las piezas [4].

Otro factor que influye en dicho proceso es la distribución de la permeabilidad dentro del molde que puede ser diferente para cada inyección. Particularmente, los canales de flujo pueden influir en el llenado del patrón significativamente. Los tiempos de ciclo pueden variar debido a las alteraciones de permeabilidad, lo que lleva al aumento de los costes de fabricación, así como problemas con el curado prematuro de la resina [5].

Por otra parte, la viscosidad de la resina aumenta debido a la adición de la carga de partículas que contribuye a disminuir el flujo de resina y es responsable de la aparición de manchas, falta de homogeneidad en el cuerpo del molde con respecto a la posición de las fibras y el tiempo de ciclo de producción más largo [6]. Por lo anterior es recomendable que la resina a utilizar sea relativamente de baja viscosidad.

Una de las ventajas del proceso respecto a la compresión e inyección es una productividad elevada; el sistema puede producir de 4 a 16 piezas complejas por día y como máximo de 12 a 30 piezas con menor dificultad en un turno de ocho horas aproximadamente [7].

## Bibliografía

1. Kevin Potter. Resin Transfer Moulding. Editorial Chapman & Hill (1997).
2. Beltrán, M., Marcilla, A. (2012) Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades. Publicaciones Universidad de Alicante.
3. Laurenzi, S. & Marchetti, M. (2012). Advanced Composite Materials by Resin Transfer Molding for Aerospace Applications. Department of Astronautic Electrical and Energy Engineering, Sapienza Università di Roma, Italy.
4. Molded Fiber Glass Companies. (2015). <http://www.moldedfiberglass.com/processes/processes/closed-molding-processes/resin-transfer-molding>
5. Arbter, R. (2008). Contribution To Robust Resin Transfer Molding. Dissertation (Diss eth No. 18108).
6. Rodríguez, I., Campos, S., Ávila, J., & Barbosa, A. (2013). Resin transfer molding process: a numerical and experimental investigation. Int. Jnl. of Multiphysics. 7(2).
7. Lacovara, B. (2010). Considering Resin Transfer Molding? Composites Fabricators Association. Arlington.

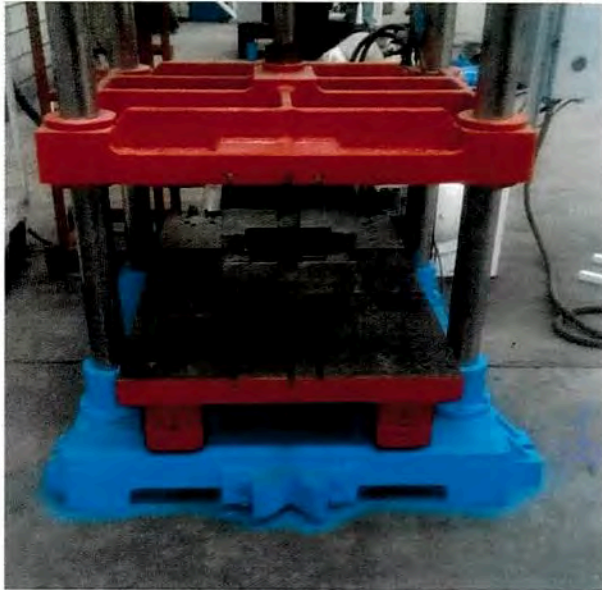
## *GALERÍA FOTOGRÁFICA DEL DESARROLLO DE EQUIPO DE MOLDEO POR TRANSFERENCIA*



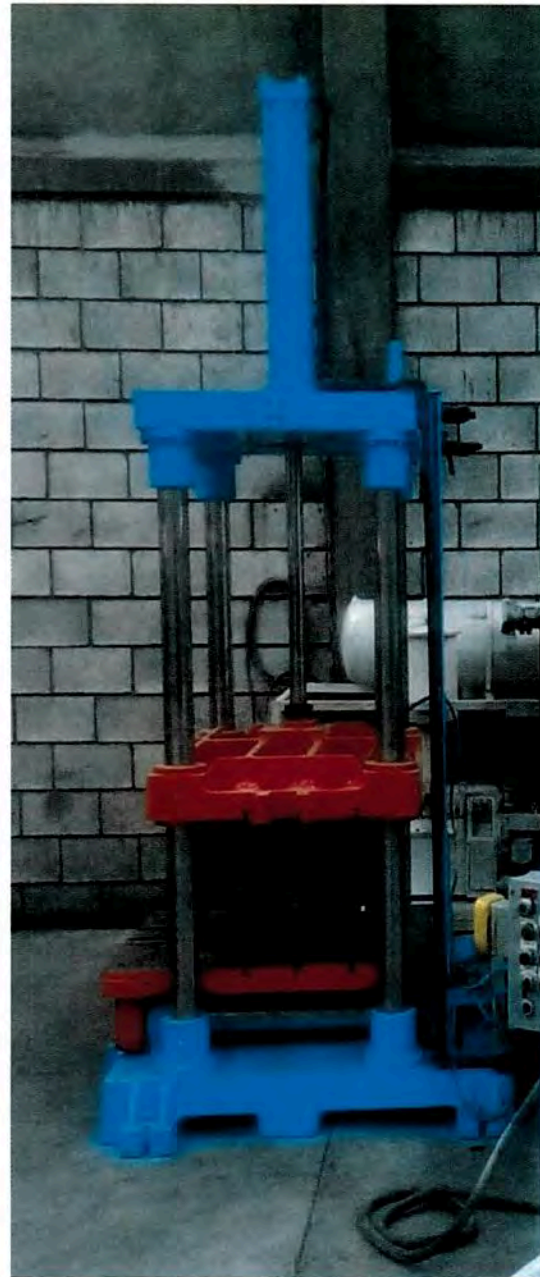
Armado de soporte de equipo de moldeo por transferencia

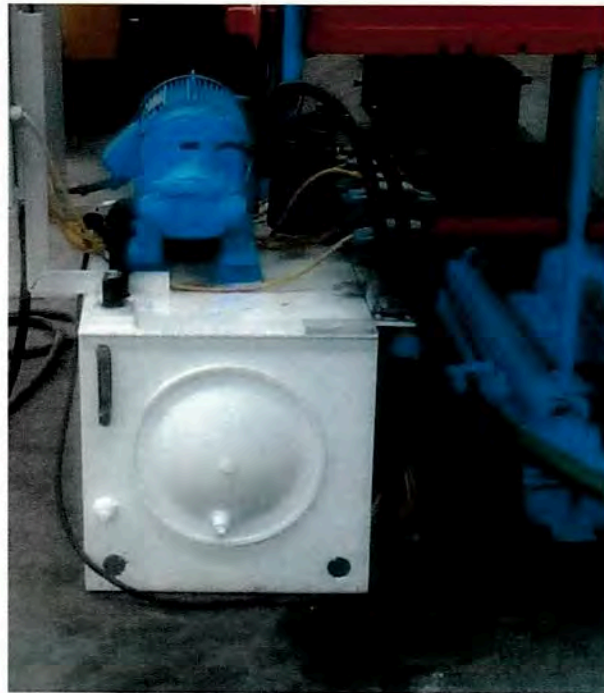


Adaptación de sistema de vacío

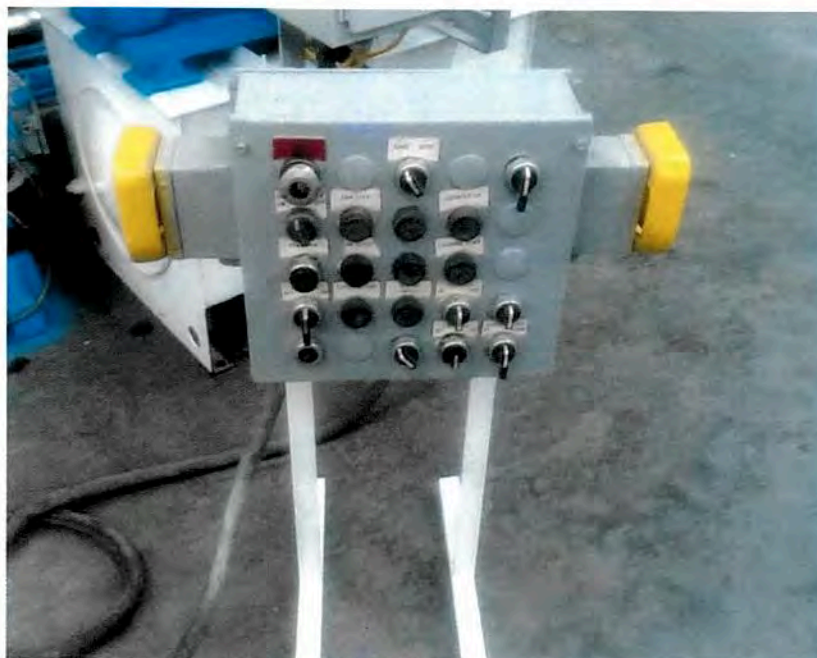


Acondicionamiento de sistema de prensado y compresión





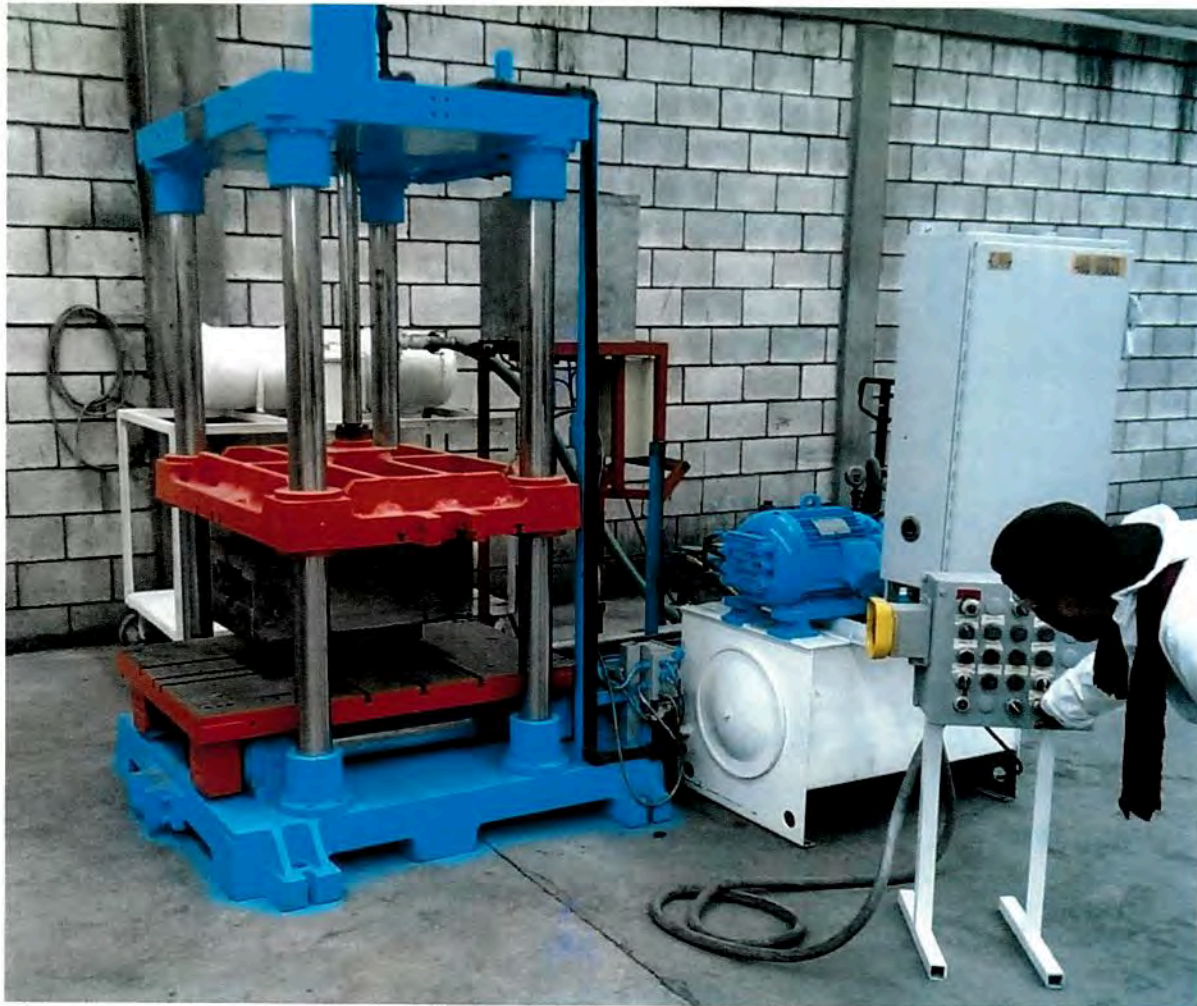
Acondicionamiento de sistema hidráulico



Acondicionamiento panel de control



Acondicionamiento de sistema de precalentamiento de polímero (resina PFA)



Equipo de moldeo por transferencia



## TECNOLOGÍA DE PROCESO DE LA FABRICACIÓN DE ASIENTOS PARA VÁLVULA GLOBO DE 4"

A continuación, se describe en forma general la tecnología de proceso para la fabricación de asientos para válvula globo de 4" por el método de moldeo por transferencia.

Para la fabricación de los componentes poliméricos mediante el método de moldeo por transferencia, es necesario una máquina de transferencia la cual tenga la capacidad de llenado del molde (este debe contemplar la contracción del PFA para asegurar que las dimensiones finales sean las requeridas), en el equipo se funde y mantiene homogéneo el polímero, a una temperatura aproximada de 450°C.

Enseguida se presenta la descripción de la resina polimérica PFA (perfluoroalcoxi), comercialmente disponible en el mercado por la marca DUPONT.

Typical Property Data for Teflon® PFA 450HP				
PROPERTY	TEST METHOD		UNIT	TYPICAL VALUE
<b>GENERAL</b>				
Melt Flow Rate	ISO 12086	ASTM D3307	g/10min	2
Melting Point		ASTM D4591	°C (°F)	305 (581)
Specific gravity		ASTM D792		2.15
Critical Shear Rate, 372°C (702°F)			1/s	12
<b>MECHANICAL</b>				
Tensile Strength	ISO 12086	ASTM D3307	MPa (psi)	
23°C (73°F)				28 (4,000)
250°C (482°F)				14 (2,000)
Ultimate Elongation	ISO 12086	ASTM D3307	%	
23°C (73°F)				300
250°C (482°F)				500
Flexural Modulus	ISO 178	ASTM D790	MPa (psi)	
23°C (73°F)				625 (90,000)
250°C (482°F)				69 (10,000)
MIT Folding Endurance (0.20mm, 8mils film)		ASTM D2176†	Cycles	500,000*
Hardness Durometer	ISO 868	ASTM D2240		D55
<b>ELECTRICAL</b>				
Dielectric Strength, Short Time, 0.25mm (0.010 in)	IEC 243	ASTM D149	kV/mm (V/mil)	80 (2,000)
Dielectric Constant, 1 MHz (106 Hz)	IEC 250	ASTM D150		2.03
Dissipation Factor, 1 MHz (106 Hz)	IEC 250	ASTM D150		<0.0002
Volume Resistivity	SO 1325	ASTM D257	ohm•cm	1018
<b>OTHER</b>				
Water Absorption, 24h		ASTM D570	%	<0.03
Weather and Chemical Resistance				Outstanding
Limiting Oxygen Index	ISO 4589	ASTM D2863	%	>95
Flammability Classification†		UL 94		V-0

## ***ACONDICIONAMIENTO DE MOLDE***

El molde de transferencia y el de conformado deben estar limpios y sin residuos de material plástico, los moldes regularmente se mantienen a una temperatura de 60°C. Revisar que las venas de enfriamiento estén limpias para un libre flujo del fluido refrigerante, así mismo revisar las venas de transferencia y vacío estén limpias. Aplicar una capa de desmoldante de silicón en todas las zonas de contacto con el material plástico.

## ***PROCEDIMIENTO PARA MOLDEO POR TRANSFERENCIA***

Máquina de transferencia: Equipo que funde y transfiere a presión el polímero hacia el molde, esta debe tener la capacidad para fundir el polímero y transferirlo a una temperatura aproximada a 450°C, presión mínima de transferencia de 250 toneladas, así como contar con la capacidad de realizar vacío.

Molde de transferencia: Es un herramental que puede estar fabricado en acero inoxidable, el cual en su interior presenta una cavidad preferentemente cilíndrica con la capacidad de volumen de la pieza a ser conformada, más el volumen de las venas de transferencia. La forma de alimentación de éste al molde de conformado se realiza por medio de un conducto o canal.

Molde de conformado: Es un herramental que puede estar fabricado en acero inoxidable, el cual en su interior presenta la configuración geométrica de la pieza a fabricar. La forma de alimentación de la máquina al interior del molde se realiza por medio de un conducto o canal.

Con el cierre de los moldes se inicia el ciclo, preparándolo para recibir el material fundido. En esta fase se aplica la fuerza de cierre, que es aquella que hace la máquina para mantener cerrado el molde durante la transferencia, depende de la superficie proyectada de la pieza y de la presión real (presión específica), que se tiene en la cavidad del molde, regularmente de 180 toneladas/cm<sup>2</sup>.

En esta etapa se producen dos fases: fase de llenado y fase de mantenimiento.

Una vez cerrado el molde y aplicada la fuerza de cierre, se inicia la fase de llenado del molde (transferencia), el pistón de la prensa transfiere el material fundido que está en la cavidad superior dentro del molde al molde de conformado a una presión elevada (180 -220 ton/cm<sup>2</sup>), la duración de esta etapa puede ser de décimas de segundo hasta varios segundos, dependiendo de la cantidad de material a transferir y de las características del proceso. La finalidad de esta fase es

llenar el molde de conformado con una cantidad suficiente de material. En la transferencia son muy importantes las siguientes variables:

- Velocidad de transferencia
- Presión de transferencia
- Temperatura del material.

La unidad de cierre mueve las dos mitades del molde para unirlos y cerrarlos herméticamente. Los moldes se mueven longitudinalmente hacia el pistón y el material que se encuentra dentro del molde de transferencia es transferido mediante presión del pistón dentro del molde, por el movimiento de avance del mismo. Los sistemas hidráulicos deben ejercer grandes esfuerzos en la fase de transferencia, además de mantener la fuerza de cierre; han de ser capaces de transferir el material dentro de la cavidad, a una presión elevada y precisa. Así, el sistema hidráulico debe superar la resistencia ofrecida por las venas y por propio el molde de conformado.

En el comienzo de la operación de transferencia el material fundido y homogeneizado está localizado en el sistema de almacenamiento, de esta manera alimenta la cantidad requerida al molde de transferencia. El sistema hidráulico ejerce presión y se mueve longitudinalmente hasta la posición de compresión. Esta presión hace que el material fundido se mueva hacia dentro de la cavidad del molde de conformado a través de las venas de transferencia, el material se expulsa fuera de la cámara de transferencia y se introduce en la cavidad dentro del molde. El material fundido solidifica dentro de la cavidad para que la pieza moldeada pueda ser expulsada.

Tan pronto como el material que se moldea contacta con el molde en la operación de transferencia, comienza a enfriarse y a solidificar, por este motivo la operación de transferencia debe ocurrir rápidamente, con lo que la cavidad se llena mientras que el material se encuentre fundido. Esto requiere presiones muy grandes ya que el compuesto es muy viscoso, a pesar de las temperaturas elevadas. El material fundido debe superar la resistencia ofrecida por la fricción, en las venas de llenado y la cavidad. Las presiones en el interior del molde son altísimas a causa de presión de llenado, por lo que la unidad de cierre debe ser capaz de mantener el molde cerrado, en oposición a estas presiones.

La presión dentro del molde crece hasta un máximo valor, cuando ha sido transportado material suficiente; llenando completamente las cavidades (si bien, bajo ciertas condiciones, la presión máxima se puede alcanzar durante el mantenimiento). De esta manera, durante la transferencia de material las dos mitades del molde están completamente presionadas por el efecto de la fuerza de cierre, ésta contrarresta a aquella que resulta de la presión ejercida desde el interior por el material. Si la presión de transferencia dentro del molde es mayor que la fuerza de cierre, la

línea de partición está forzada a abrirse; permitiendo al compuesto que se moldea escapar de la cavidad (con lo que se produce rebaba y se requiere un trabajo adicional para eliminarla).

Durante el enfriamiento el material se contrae dentro del molde. Por este motivo se ha de añadir más material para que el volumen de la pieza sea el deseado. En esta fase de mantenimiento, que es posterior a la del llenado durante la transferencia, la presión interior de la pieza va disminuyendo. Esto ocurre ya que se va enfriando y aumentan las pérdidas de carga desde el pistón hasta el interior del molde. De esta manera, la velocidad del pistón es baja porque tiene la finalidad de alimentar, con una cantidad suficiente de material, la cavidad, además de compensar las contracciones que sufre la pieza durante la solidificación.

Cuando la presión ha caído hasta el valor del entorno se puede dar por finalizada la fase de mantenimiento. Esta fase condiciona ciertas características de la pieza final, tales como el peso total, sus tolerancias dimensionales y características internas. Las variables que más afectan en esta fase son:

- Tiempo de mantenimiento de la segunda presión.
- La temperatura del molde.
- Nivel de presión de mantenimiento.
- Ajuste del tiempo de mantenimiento.

Este tiempo dependerá mucho del material que estemos transfiriendo y del grosor que tenga la pieza. Tiene especial relevancia cuando las diferencias de volúmenes específicos son considerables entre su estado líquido y el sólido.

Cuando tenemos un tiempo de mantenimiento correcto, se pueden obtener piezas con la compactación adecuada, estabilidad dimensional, ausencia de deformaciones y buenas propiedades mecánicas. Sin embargo, el conseguir dicho tiempo no es una garantía cuando se tiene venas de transferencia demasiado pequeñas, pues estas se solidificarán antes de que se llene la cavidad.

Para ajustar el tiempo de mantenimiento, se recurre a la construcción de una curva que relaciona los pesos de las piezas conformadas con el tiempo para la presión de mantenimiento. De esta forma, empezamos a transferir con un tiempo igual a cero, esto es, sin presión de mantenimiento. Se empieza la gráfica cuando se tenga la primera pieza completa, aunque no esté compactada. Se aumenta progresivamente el tiempo de mantenimiento, anotando los valores de tiempo y peso de la pieza, hasta que el peso se estabilice. Este resultado puede ser verificado por medio de un corte transversal de la pieza para asegurar la ausencia de porosidades.

Tan pronto como el material llena el molde, éste comienza a enfriarse. El enfriamiento comienza en las paredes del molde y se desplaza hacia el interior de la pieza. Durante un cierto tiempo, el material permanece fluido en la región interna de la pieza moldeada. Al enfriarse el compuesto, este se contrae. Si la presión o un porcentaje de ella con la que se transfirió se retira después de la fase de llenado, no será posible controlar las dimensiones de la pieza. Para evitarlo, mientras que la región interna de la pieza permanezca fluida, la presión sobre el material se mantiene. De esta manera, el nuevo material entra al molde para compensar la contracción (en cantidad suficiente).

La presión de mantenimiento generalmente es más baja que la presión de transferencia en el llenado, pero si es demasiado baja, o se aplica en un período muy corto, entonces se obtienen piezas defectuosas. La curva de la presión interna del molde influye en la calidad de la producción y de las piezas. Es importante que la transición de la fase de presión de llenado a la fase de la presión de mantenimiento suceda en el momento correcto, si la transición ocurre demasiado pronto la presión disminuye; por lo que será imposible llenar completamente la cavidad. Si ocurre demasiado tarde, se obtiene un pico de presión que puede dañar al molde.

En el comienzo de la fase de mantenimiento, la cavidad ya ha recibido la mayoría del material que necesita, pero una pequeña cantidad de material es transferida para compensar la contracción. Incluso al final de esta fase, aún queda material sobrante en la cámara de transferencia (al cual se llamará cojín). Este cojín fundido facilita que la presión sea transmitida entre el pistón y la cavidad. El mismo se inyecta en el siguiente ciclo.

Cuando se considera que el material de la pieza ha alcanzado la temperatura denominada de extracción, el molde se abre y se expulsa la pieza de su interior para reiniciar el ciclo de transferencia. Esta fase comienza simultáneamente con la de llenado, dado que el material empieza a enfriarse tan pronto y toca la pared del molde. Finaliza cuando la pieza alcanza la temperatura adecuada para su extracción. De esta forma, esta fase del ciclo se traslapa con las anteriores. En ocasiones es necesario esperar un tiempo, entre la etapa de plastificación y la de apertura de molde, para que se produzca el enfriamiento requerido de la pieza. El objetivo de ello es conseguir una consistencia tal, que impida su deformación al ser expulsada. Las variables que más afecta en esta fase es la temperatura de molde.

La fase de mantenimiento termina cuando solidifican las venas de transferencia, a partir de entonces ya no entra más material en la cavidad. Durante las fases de llenado y mantenimiento, el material dentro de la cavidad ya ha comenzado a solidificar contra la pared del molde que está más fría. Las capas más externas solidifican antes. El tiempo de enfriamiento empieza con la transferencia.

El enfriamiento es más lento hacia el centro de la pieza ya que los plásticos son poco conductores del calor. El calor cedido por la solidificación se disipa a través de las capas más externas de las paredes del molde. El tiempo de enfriamiento depende del tipo de pieza que se enfría dentro del molde. No es necesario esperar que toda la pieza enfríe hasta la temperatura del mismo; sino que, es suficiente que estén frías las regiones externas de la pieza, para poder extraerla en condiciones estables. Con ello se consigue optimizar el tiempo de producción y así poder realizar el siguiente ciclo.

### ***IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES MÁS IMPORTANTES***

Existen numerosas variables que pueden afectar al proceso de moldeo por transferencia de forma directa o indirecta. Para determinar cuáles son las mejores condiciones de operación, desde el punto de vista de productividad y calidad, es importante conocer muy bien el proceso y saber cuáles de estas variables tienen más efecto sobre estos dos aspectos. A partir de los conocimientos que se tienen sobre el proceso, se puede hacer una clasificación de las variables que influyen de forma más significativa en la productividad del proceso, y en la calidad de la pieza. De mayor a menor importancia, según pertenezcan a una de estas cuatro categorías: temperaturas, distancias, tiempos y presiones.

Es importante mencionar la interdependencia existente entre estas cuatro categorías de variables, de modo que cada una depende de las demás. El cambio de cualquiera de ellas afectará a las otras.

### ***PROCEDIMIENTO DE CONFORMADO***

1. Encienda la calefacción y revise con frecuencia la temperatura de las superficies de moldear con un pirómetro calibrado y sonda de superficie. Típicamente, empiece con una temperatura de molde de 120°C - 140°C. La temperatura nominal para arrancar la mayoría de los moldes es aproximadamente 160°C (320°F). La temperatura debería ser relativamente uniforme sobre la superficie de moldeo entero.
2. Establezca la temperatura de las camisas de agua. Típicamente, la zona adelantada debería empezar al 27°C - 44°C.
3. El próximo paso en el arranque es fijar la distancia de la abertura del molde. Esta distancia es importante porque si un molde se abre demasiado, puede reducir todo el ciclo, lo que resultará en menos transferencias por hora. Si un molde no se abre lo suficiente, quitar las

piezas y el canal puede ser difícil. Esto puede afectar el tiempo del ciclo y también puede causar daño a las piezas.

4. Al mismo tiempo que la distancia de la abertura del molde está establecida, la longitud de la carrera de expulsión también deberá ser determinada. La carrera de expulsión debería ser lo suficientemente larga para asegurar que todas las piezas son expulsadas desde la cavidad. Una carrera completa de expulsión que se extiende hasta los tapones no siempre es necesaria. Una carrera de expulsión más corta puede ser utilizada algunas veces para ayudar a reducir el tiempo que el molde está abierto entre transferencias. Establezca la velocidad del pistón de compresión para igualar la tasa de salida del alimentador.
5. Permitir que el aire se quede o que entre en el molde ocasionara defectos de porosidades para evitar que ocurra esto, los moldes están ventilados por vacío.
6. Antes de transferir el material para la primera operación, la velocidad del pistón deberá estar completamente abierta. La cantidad de vacío que se aspira en el molde deberá verificarse para asegurarse de que sea al menos 21" Hg y luego establecerse la cantidad de demora de la transferencia, para permitir que se logre el sistema por vacío. El tamaño de la transferencia debería ser ajustado para que sea menos que una transferencia completa. Las presiones de transferencia también deberían ser ajustadas para que así el material llene las cavidades en 3 - 6 segundos. Es normalmente mejor empezar con menos de una transferencia llena (aproximadamente  $\frac{3}{4}$  hasta  $\frac{7}{8}$  de una transferencia completa) y poco a poco trabajar hasta transferencias llenas. De esta manera, hay menos posibilidades de dañar el molde torciendo y rompiendo las espigas de núcleo y mostrará si el relleno de las cavidades está equilibrado.
7. Justo antes de aplicar la primera transferencia, el molde debe ser encerado. La cera carnuba es buena para este propósito o el desmoldante de silicón. Para encerar un molde, se derrite la cera en una superficie de moldeo y con la ayuda de un pincel de púas naturales, se difunde sobre la superficie entera del moldeo poniéndola en todos los rincones y lugares. Elimine cualquier cera excesiva de la superficie del molde.
8. Los parámetros de moldeo deberían ser ajustados para producir buenas piezas desde todas las cavidades, cada transferencia. Típicamente, el tiempo de transferencia debería ser 3 - 6 segundos. La presión primaria de la transferencia debería estar en la gama de 2.8 y 6.2 MPa (400 y 900 psi), mientras la presión de mantenimiento de la transferencia debería ser puesta al  $\frac{1}{2}$  hasta  $\frac{2}{3}$  de la presión primaria de la transferencia. Después de establecer un procedimiento aceptable de moldeo, debería ser capaz de continuar sin alteración y sin cambio por muchas horas.

9. Para asegurar que las variaciones típicas del material de un lote al otro no afecten el procedimiento de arranque, se añaden 1.4 MPa (200 psi) a la presión primaria de la transferencia.
10. Una vez que el material ha sido trasferido en el molde, está contenido bajo presión hasta que la entrada esté bien curada. El tiempo que toma la entrada en curar puede variar y cuanto más grande sea la abertura de la entrada, más durará la curación. La indicación más común de una entrada que no está bien curada son las depresiones y marcas de hundimiento en o cerca de la entrada.







## TECNOLOGÍA DE PRODUCTO

### *VÁLVULA GLOBO DE CUATRO PULGADAS VACIADA EN ACERO INOXIDABLE 316L Y CON ASIENTO EN RESINA PFA*

#### 1. Composición química elementos metálicos

La composición química de los componentes cuerpo, brida y bonete se encuentra de acuerdo a lo que marca la norma UNS S31603, enseguida se muestra las composiciones que marca dicha norma, así como los componentes analizados.

Elemento	Acero 316L UNS S31603		CUERPO	BONETE	BRIDA
	Min	Max			
C	-	0.08	0.035	0.0464	0.0546
Mn	-	1.5	0.739	0.768	0.721
Si	-	1.5	0.828	0.713	0.794
P	-	0.040	0.0254	0.0279	0.0311
S	-	0.040	0.0127	0.0159	0.0147
Cr	18.0	21.0	19.1	19.3	18.9
Mo	2.00	3.00	2.28	2.14	2.32
Ni	9.0	12.0	10.2	9.93	10.84
Fe	Balance		Bal.	Bal.	Bal.

## 2. Especificaciones de asiento de resina PFA

Enseguida se presenta las características del asiento

CARACTERÍSTICAS	ASIENTO RESINA PFA
Temperatura de uso	0°F a 450°F
Color	Natural
Conductividad termal (Factor K) del recubrimiento, BTU-in/hr-sqrt-°F	1.3
Elongación, %	300 – 350
Resistencia a la compresión, PSI	3,500
Gravedad específica	2.12 – 2.17

## 3. Propiedades mecánicas

DUREZA	HRB
CUERPO	72.57
BONETE	71.08
Dureza Rockwll B, carga 100 kgf, penetrador 1,587° de diámetro, ASTM E18/12	

Identificación	Diámetro, mm	Longitud, mm	Área, mm <sup>2</sup>	TENSIÓN				
				Carga Máxima, kg	Carga al 0.2% de def, kg	Esfuerzo Máx, Mpa	Esfuerzo de Cedencia, Mpa	% de Alargamiento
CUERPO	6,20	25,4	31,00	1798	803,9	686	362	27
BONETE	6,21	25,4	31,20	1692	740,46	651	341	32
ASTM E8/03								

#### 4. Resistencia a la corrosión

A través de ensayos de corrosión acelerada se determinó que la aleación 316L es una excelente opción, cuando se habla de componentes sometidos a una amplia gama de entornos atmosféricos y muchos medios corrosivos. Las pruebas que se realizaron corresponden a ambiente de cloruro de sodio con temperatura, y se encontró que puede crearse una corrosión superficial debido a las condiciones de la prueba, sin embargo, se recomienda que sean monitoreas las piezas en campo, buscando particularmente la aparición de grietas o corrosión por picaduras.





UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
DE COAHUILA

**TECNOLOGÍA DE PROCESO DE LA  
FABRICACIÓN DE ASIENTOS PARA  
VÁLVULA GLOBO DE 4”**

Se realiza la entrega del presente reporte ejecutivo en el marco del convenio con la empresa **FUNDICIÓN DE ALEACIONES ESPECIALES DE MÉXICO, S.A. DE C.V.** como parte del **DESARROLLO DEL PAQUETE TECNOLÓGICO INTEGRAL** del proyecto **“DISEÑO, DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE PROTOTIPOS DE VÁLVULAS TIPO GLOBO EN ACERO INOXIDABLE 316L Y ASIENTOS POLIMÉRICOS”**.

## TECNOLOGÍA DE PROCESO DE LA FABRICACIÓN DE ASIENTOS PARA VÁLVULA GLOBO DE 4”

A continuación, se describe en forma general la tecnología de proceso para la fabricación de asientos para válvula globo de 4” por el método de moldeo por transferencia.

Para la fabricación de los componentes de PFA mediante el método de moldeo por transferencia, es necesario una máquina de transferencia la cual tenga la capacidad de llenado del molde (este debe contemplar la contracción del PFA para asegurar que las dimensiones finales sean las requeridas), en el equipo se funde y mantiene homogéneo el polímero, a una temperatura aproximada de 450°C.

Enseguida se presenta la descripción de la resina polimérica PFA, comercialmente disponible en el mercado por la marca DUPONT.

Typical Property Data for Teflon® PFA 450HP				
PROPERTY	TEST METHOD		UNIT	TYPICAL VALUE
<b>GENERAL</b>				
Melt Flow Rate	ISO 12086	ASTM D3307	g/10min	2
Melting Point		ASTM D4591	°C (°F)	305 (581)
Specific gravity		ASTM D792		2.15
Critical Shear Rate, 372°C (702°F)			1/s	12
<b>MECHANICAL</b>				
Tensile Strength	ISO 12086	ASTM D3307	MPa (psi)	
23°C (73°F)				28 (4,000)
250°C (482°F)				14 (2,000)
Ultimate Elongation	ISO 12086	ASTM D3307	%	
23°C (73°F)				300
250°C (482°F)				500
Flexural Modulus	ISO 178	ASTM D790	MPa (psi)	
23°C (73°F)				625 (90,000)
250°C (482°F)				69 (10,000)
MIT Folding Endurance (0.20mm, 8mils film)		ASTM D2176‡	Cycles	500,000*
Hardness Durometer	ISO 868	ASTM D2240		D55
<b>ELECTRICAL</b>				
Dielectric Strength, Short Time, 0.25mm (0.010 in)	IEC 243	ASTM D149	kV/mm (V/mil)	80 (2,000)
Dielectric Constant, 1 MHz (106 Hz)	IEC 250	ASTM D150		2.03
Dissipation Factor, 1 MHz (106 Hz)	IEC 250	ASTM D150		<0.0002
Volume Resistivity	SO 1325	ASTM D257	ohm•cm	1018
<b>OTHER</b>				
Water Absorption, 24h		ASTM D570	%	<0.03
Weather and Chemical Resistance				Outstanding
Limiting Oxygen Index	ISO 4589	ASTM D2863	%	>95
Flammability Classification†		UL 94		V-0

## ***Acondicionamiento de molde***

El molde de transferencia y el de conformado deben estar limpios y sin residuos de material plástico, los moldes regularmente se mantienen a una temperatura de 60°C. Revisar que las venas de enfriamiento estén limpias para un libre flujo del fluido refrigerante, así mismo revisar las venas de transferencia y vacío estén limpias. Aplicar una capa de desmoldante de silicón en todas las zonas de contacto con el material plástico.

## ***Procedimiento para moldeo por transferencia***

Máquina de transferencia: Equipo que funde y transfiere a presión el polímero hacia el molde, esta debe tener la capacidad para fundir el polímero y transferirlo a una temperatura aproximada a 450°C, presión mínima de transferencia de 250 toneladas, así como contar con la capacidad de realizar vacío.

Molde de transferencia: Es un herramental que puede estar fabricado en acero inoxidable, el cual en su interior presenta una cavidad preferentemente cilíndrica con la capacidad de volumen de la pieza a ser conformada, más el volumen de las venas de transferencia. La forma de alimentación de éste al molde de conformado se realiza por medio de un conducto o canal.

Molde de conformado: Es un herramental que puede estar fabricado en acero inoxidable, el cual en su interior presenta la configuración geométrica de la pieza a fabricar. La forma de alimentación de la máquina al interior del molde se realiza por medio de un conducto o canal.

Con el cierre de los moldes se inicia el ciclo, preparándolo para recibir el material fundido. En esta fase se aplica la fuerza de cierre, que es aquella que hace la máquina para mantener cerrado el molde durante la transferencia, depende de la superficie proyectada de la pieza y de la presión real (presión específica), que se tiene en la cavidad del molde, regularmente de 180 toneladas/cm<sup>2</sup>.

En esta etapa se producen dos fases: fase de llenado y fase de mantenimiento.

Una vez cerrado el molde y aplicada la fuerza de cierre, se inicia la fase de llenado del molde (transferencia), el pistón de la prensa transfiere el material fundido que está en la cavidad superior dentro del molde al molde de conformado a una presión elevada (180 -220 ton/cm<sup>2</sup>), la duración de esta etapa puede ser de décimas de segundo hasta varios segundos, dependiendo de la cantidad de material a transferir y de las características del proceso. La finalidad de esta fase es llenar el molde de conformado con una cantidad suficiente de material. En la transferencia son muy importantes las siguientes variables:

- Velocidad de transferencia
- Presión de transferencia
- Temperatura del material.

La unidad de cierre mueve las dos mitades del molde para unir las y cerrarlas herméticamente. Los moldes se mueven longitudinalmente hacia el pistón y el material que se encuentra dentro del molde de transferencia es transferido mediante presión del pistón dentro del molde, por el movimiento de avance del mismo. Los sistemas hidráulicos deben ejercer grandes esfuerzos en la fase de transferencia, además de mantener la fuerza de cierre; han de ser capaces de transferir el material dentro de la cavidad, a una presión elevada y precisa. Así, el sistema hidráulico debe superar la resistencia ofrecida por las venas y por propio el molde de conformado.

En el comienzo de la operación de transferencia el material fundido y homogeneizado está localizado en el sistema de almacenamiento, de esta manera alimenta la cantidad requerida al molde de transferencia. El sistema hidráulico ejerce presión y se mueve longitudinalmente hasta la posición de compresión. Esta presión hace que el material fundido se mueva hacia dentro de la cavidad del molde de conformado a través de las venas de transferencia, el material se expulsa fuera de la cámara de transferencia y se introduce en la cavidad dentro del molde. El material fundido solidifica dentro de la cavidad para que la pieza moldeada pueda ser expulsada.

Tan pronto como el material que se moldea contacta con el molde en la operación de transferencia, comienza a enfriarse y a solidificar, por este motivo la operación de transferencia debe ocurrir rápidamente, con lo que la cavidad se llena mientras que el material se encuentre fundido. Esto requiere presiones muy grandes ya que el compuesto es muy viscoso, a pesar de las temperaturas elevadas. El material fundido debe superar la resistencia ofrecida por la fricción, en las venas de llenado y la cavidad. Las presiones en el interior del molde son altísimas a causa de presión de llenado, por lo que la unidad de cierre debe ser capaz de mantener el molde cerrado, en oposición a estas presiones.

La presión dentro del molde crece hasta un máximo valor, cuando ha sido transportado material suficiente; llenando completamente las cavidades (si bien, bajo ciertas condiciones, la presión máxima se puede alcanzar durante el mantenimiento). De esta manera, durante la transferencia de material las dos mitades del molde están completamente presionadas por el efecto de la fuerza de cierre, ésta contrarresta a aquella que resulta de la presión ejercida desde el interior por el material. Si la presión de transferencia dentro del molde es mayor que la fuerza de cierre, la línea de partición está forzada a abrirse; permitiendo al compuesto que se moldea escapar de la cavidad (con lo que se produce rebaba y se requiere un trabajo adicional para eliminarla).



Durante el enfriamiento el material se contrae dentro del molde. Por este motivo se ha de añadir más material para que el volumen de la pieza sea el deseado. En esta fase de mantenimiento, que es posterior a la del llenado durante la transferencia, la presión interior de la pieza va disminuyendo. Esto ocurre ya que se va enfriando y aumentan las pérdidas de carga desde el pistón hasta el interior del molde. De esta manera, la velocidad del pistón es baja porque tiene la finalidad de alimentar, con una cantidad suficiente de material, la cavidad, además de compensar las contracciones que sufre la pieza durante la solidificación.

Cuando la presión ha caído hasta el valor del entorno se puede dar por finalizada la fase de mantenimiento. Esta fase condiciona ciertas características de la pieza final, tales como el peso total, sus tolerancias dimensionales y características internas. Las variables que más afectan en esta fase son:

- Tiempo de mantenimiento de la segunda presión.
- La temperatura del molde.
- Nivel de presión de mantenimiento.
- Ajuste del tiempo de mantenimiento.

Este tiempo dependerá mucho del material que estemos transfiriendo y del grosor que tenga la pieza. Tiene especial relevancia cuando las diferencias de volúmenes específicos son considerables entre su estado líquido y el sólido.

Cuando tenemos un tiempo de mantenimiento correcto, se pueden obtener piezas con la compactación adecuada, estabilidad dimensional, ausencia de deformaciones y buenas propiedades mecánicas. Sin embargo, el conseguir dicho tiempo no es una garantía cuando se tiene venas de transferencia demasiado pequeñas, pues estas se solidificarán antes de que se llene la cavidad.

Para ajustar el tiempo de mantenimiento, se recurre a la construcción de una curva que relaciona los pesos de las piezas conformadas con el tiempo para la presión de mantenimiento. De esta forma, empezamos a transferir con un tiempo igual a cero, esto es, sin presión de mantenimiento. Se empieza la gráfica cuando se tenga la primera pieza completa, aunque no esté compactada. Se aumenta progresivamente el tiempo de mantenimiento, anotando los valores de tiempo y peso de la pieza, hasta que el peso se estabilice. Este resultado puede ser verificado por medio de un corte transversal de la pieza para asegurar la ausencia de porosidades.

Tan pronto como el material llena el molde, éste comienza a enfriarse. El enfriamiento comienza en las paredes del molde y se desplaza hacia el interior de la pieza. Durante un cierto tiempo, el material permanece fluido en la región interna de la pieza moldeada. Al enfriarse el compuesto, este se

contrae. Si la presión o un porcentaje de ella con la que se transfirió se retira después de la fase de llenado, no será posible controlar las dimensiones de la pieza. Para evitarlo, mientras que la región interna de la pieza permanezca fluida, la presión sobre el material se mantiene. De esta manera, el nuevo material entra al molde para compensar la contracción (en cantidad suficiente).

La presión de mantenimiento generalmente es más baja que la presión de transferencia en el llenado, pero si es demasiado baja, o se aplica en un período muy corto, entonces se obtienen piezas defectuosas. La curva de la presión interna del molde influye en la calidad de la producción y de las piezas. Es importante que la transición de la fase de presión de llenado a la fase de la presión de mantenimiento suceda en el momento correcto, si la transición ocurre demasiado pronto la presión disminuye; por lo que será imposible llenar completamente la cavidad. Si ocurre demasiado tarde, se obtiene un pico de presión que puede dañar al molde.

En el comienzo de la fase de mantenimiento, la cavidad ya ha recibido la mayoría del material que necesita, pero una pequeña cantidad de material es transferida para compensar la contracción. Incluso al final de esta fase, aún queda material sobrante en la cámara de transferencia (al cual se llamará cojín). Este cojín fundido facilita que la presión sea transmitida entre el pistón y la cavidad. El mismo se inyecta en el siguiente ciclo.

Cuando se considera que el material de la pieza ha alcanzado la temperatura denominada de extracción, el molde se abre y se expulsa la pieza de su interior para reiniciar el ciclo de transferencia. Esta fase comienza simultáneamente con la de llenado, dado que el material empieza a enfriarse tan pronto y toca la pared del molde. Finaliza cuando la pieza alcanza la temperatura adecuada para su extracción. De esta forma, esta fase del ciclo se traslapa con las anteriores. En ocasiones es necesario esperar un tiempo, entre la etapa de plastificación y la de apertura de molde, para que se produzca el enfriamiento requerido de la pieza. El objetivo de ello es conseguir una consistencia tal, que impida su deformación al ser expulsada. Las variables que más afecta en esta fase es la temperatura de molde.

La fase de mantenimiento termina cuando solidifican las venas de transferencia, a partir de entonces ya no entra más material en la cavidad. Durante las fases de llenado y mantenimiento, el material dentro de la cavidad ya ha comenzado a solidificar contra la pared del molde que está más fría. Las capas más externas solidifican antes. El tiempo de enfriamiento empieza con la transferencia.

El enfriamiento es más lento hacia el centro de la pieza ya que los plásticos son poco conductores del calor. El calor cedido por la solidificación se disipa a través de las capas más externas de las paredes del molde. El tiempo de enfriamiento depende del tipo de pieza que se enfría dentro del molde. No es necesario esperar que toda la pieza enfríe hasta la temperatura del mismo; sino que, es suficiente que estén frías las regiones externas de la pieza, para poder extraerla en condiciones estables. Con ello se consigue optimizar el tiempo de producción y así poder realizar el siguiente ciclo.

## *Identificación de las variables más importantes*

Existen numerosas variables que pueden afectar al proceso de moldeo por transferencia de forma directa o indirecta. Para determinar cuáles son las mejores condiciones de operación, desde el punto de vista de productividad y calidad, es importante conocer muy bien el proceso y saber cuáles de estas variables tienen más efecto sobre estos dos aspectos. A partir de los conocimientos que se tienen sobre el proceso, se puede hacer una clasificación de las variables que influyen de forma más significativa en la productividad del proceso, y en la calidad de la pieza. De mayor a menor importancia, según pertenezcan a una de estas cuatro categorías: temperaturas, distancias, tiempos y presiones.

Es importante mencionar la interdependencia existente entre estas cuatro categorías de variables, de modo que cada una depende de las demás. El cambio de cualquiera de ellas afectará a las otras.

## *Procedimiento de conformado*

1. Encienda la calefacción y revise con frecuencia la temperatura de las superficies de moldear con un pirómetro calibrado y sonda de superficie. Típicamente, empiece con una temperatura de molde de 120°C - 140°C. La temperatura nominal para arrancar la mayoría de los moldes es aproximadamente 160°C (320°F). La temperatura debería ser relativamente uniforme sobre la superficie de moldeo entero.
2. Establezca la temperatura de las camisas de agua. Típicamente, la zona adelantada debería empezar al 27°C - 44°C.
3. El próximo paso en el arranque es fijar la distancia de la abertura del molde. Esta distancia es importante porque si un molde se abre demasiado, puede reducir todo el ciclo, lo que resultará en menos transferencias por hora. Si un molde no se abre lo suficiente, quitar las piezas y el canal puede ser difícil. Esto puede afectar el tiempo del ciclo y también puede causar daño a las piezas.
4. Al mismo tiempo que la distancia de la abertura del molde está establecida, la longitud de la carrera de expulsión también deberá ser determinada. La carrera de expulsión debería ser lo suficientemente larga para asegurar que todas las piezas son expulsadas desde la cavidad. Una carrera completa de expulsión que se extiende hasta los tapones no siempre es necesaria. Una carrera de expulsión más corta puede ser utilizada algunas veces para ayudar a reducir el tiempo que el molde está abierto entre transferencias. Establezca la velocidad del pistón de compresión para igualar la tasa de salida del alimentador.

5. Permitir que el aire se quede o que entre en el molde ocasionara defectos de porosidades para evitar que ocurra esto, los moldes están ventilados por vacío.
6. Antes de transferir el material para la primera operación, la velocidad del pistón deberá estar completamente abierta. La cantidad de vacío que se aspira en el molde deberá verificarse para asegurarse de que sea al menos 21" Hg y luego establecerse la cantidad de demora de la transferencia, para permitir que se logre el sistema por vacío. El tamaño de la transferencia debería ser ajustado para que sea menos que una transferencia completa. Las presiones de transferencia también deberían ser ajustadas para que así el material llene las cavidades en 3 - 6 segundos. Es normalmente mejor empezar con menos de una transferencia llena (aproximadamente  $\frac{3}{4}$  hasta  $\frac{7}{8}$  de una transferencia completa) y poco a poco trabajar hasta transferencias llenas. De esta manera, hay menos posibilidades de dañar el molde torciendo y rompiendo las espigas de núcleo y mostrará si el relleno de las cavidades está equilibrado.
7. Justo antes de aplicar la primera transferencia, el molde debe ser encerado. La cera carnuba es buena para este propósito o el desmoldante de silicón. Para encerar un molde, se derrite la cera en una superficie de moldeo y con la ayuda de un pincel de púas naturales, se difunde sobre la superficie entera del moldeo poniéndola en todos los rincones y lugares. Elimine cualquier cera excesiva de la superficie del molde.
8. Los parámetros de moldeo deberían ser ajustados para producir buenas piezas desde todas las cavidades, cada transferencia. Típicamente, el tiempo de transferencia debería ser 3 - 6 segundos. La presión primaria de la transferencia debería estar en la gama de 2.8 y 6.2 MPa (400 y 900 psi), mientras la presión de mantenimiento de la transferencia debería ser puesta al  $\frac{1}{2}$  hasta  $\frac{2}{3}$  de la presión primaria de la transferencia. Después de establecer un procedimiento aceptable de moldeo, debería ser capaz de continuar sin alteración y sin cambio por muchas horas.
9. Para asegurar que las variaciones típicas del material de un lote al otro no afecten el procedimiento de arranque, se añaden 1.4 MPa (200 psi) a la presión primaria de la transferencia.
10. Una vez que el material ha sido transferido en el molde, está contenido bajo presión hasta que la entrada esté bien curada. El tiempo que toma la entrada en curar puede variar y cuanto más grande sea la abertura de la entrada, más durará la curación. La indicación más común de una entrada que no está bien curada son las depresiones y marcas de hundimiento en o cerca de la entrada.



