

Evaluación de Moldes Cerámicos en Procesos de Fundición

HECTOR MOSQUERA MOSQUERA
Ing. Especializado en Metalurgia Física
LUIS ERNESTO CARDOZO A.
CARLOS MANUEL RUIZ D.

La búsqueda de nuevas líneas de investigación en el campo de los materiales y procesos, (para desarrollar en el futuro) nos llevó a realizar un sondeo de evaluación de los materiales cerámicos en la fabricación de moldes para los procesos de fundición, con el objeto de economizar costos de operación en la elaboración de los elementos de máquinas y piezas matrices de formas complejas (intrincadas) principalmente.

La fundición en cerámica es un proceso de fundición de precisión que emplea, para la fabricación de los moldes, materiales cerámicos de grano muy fino aglutinados con sustancias especiales tales como el silicato de etilo. El uso de este aglutinante permite la posibilidad de controlar el tiempo de endurecimiento del molde; obteniéndose piezas con gran acabado superficial, finos detalles y alto grado de precisión dimensional.

La técnica de moldeado en cerámica para hacer fundición de precisión tiene un amplio campo de aplicación por las características que produce en las piezas fundidas y por la posibilidad de eliminar al máximo el maquinado. Además, constituye una de las pocas alternativas apropiadas para la fabricación de piezas en aleaciones extrafuertes que son prácticamente imposibles de maquinar.

PROPIEDADES, ESTRUCTURAS, REACCIONES Y TRANSFORMACIONES DE LOS MATERIALES CERAMICOS

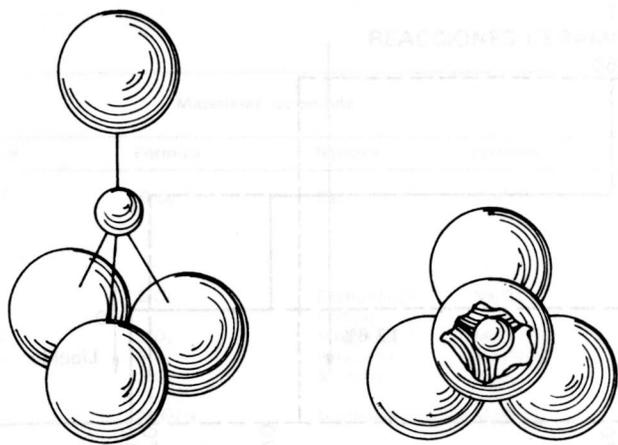
Propiedades y características de los cerámicos utilizados en fundición

La escogencia de los materiales cerámicos para fundición depende de tres propiedades fundamentales:

- Alta resistencia al calor combinada con una baja conductividad térmica.
- Estabilidad química relativamente buena a las temperaturas de colada de los metales utilizados.
- Buena aptitud para la conformación y manufactura de moldes precisos.

Para hacer posible la utilización en moldes para fundición, las mezclas cerámicas deben poseer las siguientes características:

- Resistencia: necesaria para permitir la manipulación de los moldes durante el proceso de prepa-

FIGURA 1. El tetraedro SiO_4^{4-}

ración, para evitar el lavado del molde al verter el metal.

- **Refractariedad:** capacidad de los moldes para mantener su estado a la temperatura de colada de los metales. Esta propiedad depende de la refractariedad de sus componentes y de la presencia de impurezas. Algunos compuestos, tales como los álcalis, la mica, la cal y los óxidos de hierro, comúnmente presentes en algunos materiales cerámicos, actúan como fundentes y por tanto disminuyen la refractariedad. En general, a mayor tamaño de grano, más refractaria será la mezcla.
- **Permeabilidad:** los gases generados durante la colada deben pasar a través de las paredes de los moldes, de lo contrario resultarían las piezas porosas o con sopladuras. La permeabilidad depende fundamentalmente de la granulometría y del grado de compactación de las mezclas.
- **Colapsibilidad:** una colapsibilidad adecuada, además de facilitar el desmoldeo, impide la formación de tensiones internas y grietas en las piezas fundidas al permitir la contracción del metal.

Estructuras de la sílice y los silicatos

La sílice y los silicatos constituyen el grupo más importante de los materiales de moldeo. Tanto los silicatos como los diferentes tipos de SiO_2 , están constituidos a partir del tetraedro silicio-oxígeno, SiO_4^{4-} (Fig. 1). En el enlace silicio-oxígeno, cada oxígeno comparte dos electrones con un silicio. Cuatro electrones de silicio y cuatro iones de oxígeno que lo rodean satisfacen el enlace. Para tener una órbita exterior estable de ocho electrones, cada ion de oxígeno requiere un electrón adicional, compartido en enlace iónico con un metal. Por tanto, en los silicatos existe una combinación de enlace iónico y enlace covalente. Los iones metálicos de carga positiva compensan la carga negativa del esqueleto de sílice. El punto final de las series de silicato es la sílice misma, como se muestra en la Fig. 2-a, que es la estructura del cuarzo, la forma más común de sílice. La sílice se encuentra normalmente en cuatro estructuras diferentes, todas construidas a partir del tetraedro SiO_4^{4-} : cuarzo, tridimita,

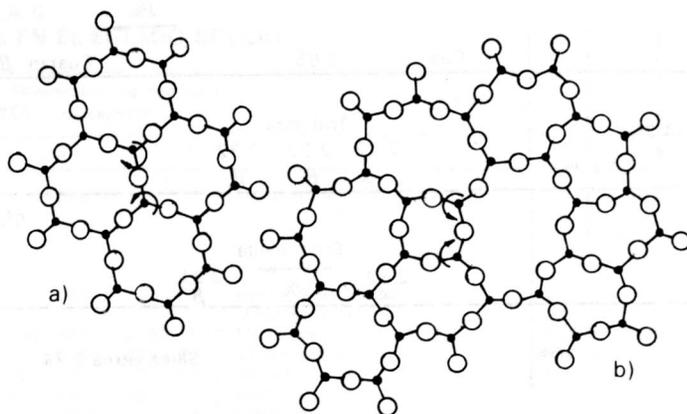


FIGURA 2. Estructuras de silicio en representación bi-dimensional. a) Cuarzo, b) Sílice vítrea.

cristobalita (que se diferencian por su orientación) y la sílice vítrea.

Los rangos de temperatura de equilibrio para estas cuatro formas son:

Cuarzo	hasta 870°C
Tridimita	870 - 1470°C
Cristobalita	1470° - 1710°C
Sílice vítrea	por encima de 1710°C

Los cambios de una estructura a otra llevan consigo ruptura y reacomodamiento de enlaces de SiO_4^{4-} y son extremadamente lentos. Durante el calentamiento y el enfriamiento, las estructuras mencionadas sufren cambios de volumen con la temperatura (Fig. 3). Los cambios volumétricos son diferentes para cada estructura; mientras que la sílice vítrea casi no varía de volumen, el cuarzo sufre una pronunciada variación. Es importante tener en cuenta este hecho en el vaciado de moldes cerámicos elaborados de arena de cuarzo, ya que a la temperatura de inversión el cuarzo pasa de forma α a forma β con un fuerte cambio de volumen.

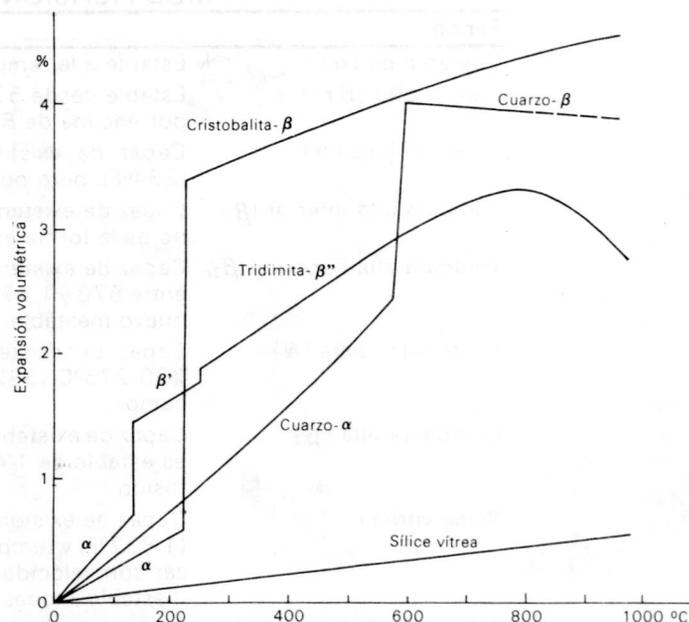


FIGURA 3. Cambios de volumen con la temperatura en las estructuras de sílice.

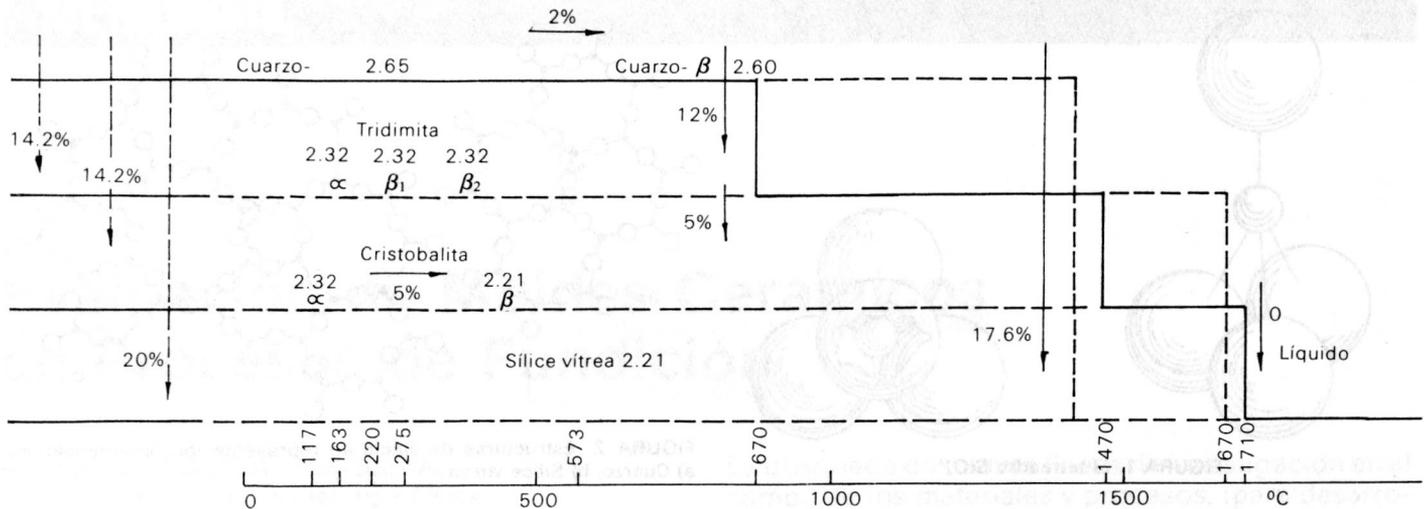


FIGURA 4. Temperatura de inversión, densidades relativas y expansiones de las cuatro formas de la sílice.

Por tanto es conveniente hacer el vaciado con el molde precalentado a temperatura superior al punto de inversión para evitar agrietamientos.

Acción del calor sobre los materiales cerámicos

El examen de una pasta cerámica sometida a calentamiento muestra que el material de partida es diferente al del estado de poscalentamiento, es decir, sufre cambios de forma, tamaño, estructura o composición. Las reacciones y efectos más importantes que sufren los cerámicos en estado sólido son:

- Transformaciones de fases en estado sólido, (ver Fig. 4 y Tabla I) las cuales resumen las posibles transformaciones.
- Reacciones de sinterización.
- Relación de solubilidad en estado sólido; la

Tabla II resume las reacciones en estado sólido de algunos materiales cerámicos.

- Tensiones térmicas.

REACCIONES METAL-MOLDE

La calidad superficial de las piezas fundidas y sus tolerancias dimensionales son profundamente afectadas por las reacciones en la interfase metal-molde. El efecto de la atmósfera del molde sobre esta reacción ha sido estudiado; en muestras de arena de cuarzo puro calentadas en contacto con hierro puro a temperaturas cercanas y por encima del punto de fusión del hierro y en atmósferas en las que la relación CO_2/CO fueron ajustadas a diversos grados de oxidación:

En atmósfera de 10% de CO_2 y 90% CO , el hierro se oxidó a 1566°C. El óxido actuó como fundente de la sílice, formando un vidrio fundido del cual cristalizó

TABLA I
MODIFICACIONES DE LA SILICE

Forma	Propiedades
Cuarzo bajo (α)	Estable a la temperatura ambiente y hasta 573°C (1.063°F).
Cuarzo alto (β)	Estable desde 573 a 870°C (1.063 a 1.598°F), capaz de existir por encima de 870°C pero entonces no es la forma estable.
Tridimita baja (α)	Capaz de existir a la temperatura ambiente y hasta 117°C (234°F), pero no es la forma estable en este campo.
Tridimita alta inferior (β_1)	Capaz de existencia entre 117°C (243°F) y 163°C (325°F) pero no es la forma estable en este campo.
Tridimita alta-superior (β_2)	Capaz de existencia por encima de 163°C y es la forma estable entre 870 y 1.470°C (1.598 a 2.678°F) a partir de 1.470°C es de nuevo inestable, funde a 1.670°C (3.038°F).
Cristobalita baja (α)	Capaz de existencia por encima de 163°C (325°F) y hasta 200-275°C (392-527°F), pero no es la forma estable en este campo.
Cristobalita alta (β)	Capaz de existencia por encima de 200 a 275°C (392 a 527°F), y es estable de 1.470 a 1.710°C (2.678 a 3.110°F), su punto de fusión.
Sílice vítrea	Capaz de existencia a la temperatura ambiente y hasta 1.000°C (1.832°F) y temperaturas superiores, en que comienza a cristalizar con velocidad apreciable, pero es un líquido sobreenfriado, inestable a todas las temperaturas inferiores a 1.710°C (3.110°F).
Fase de transición no cristalina	Aparece como fase de transición cuando se convierte el cuarzo en cristobalita.

TABLA II
REACCIONES CERAMICAS EN EL ESTADO SOLIDO

Materiales de partida				Temperatura de Reacción perceptible		Producto	
Nombre	Fórmula	Nombre	Fórmula	(°C)	(°F)		
Cuarzo	SiO ₂	Cal	CaO	600	1112	Silicatos de Calcio	2CaO-SiO ₂ después 2CaO-SiO ₂ 3CaO-2SiO ₂ 3CaO-SiO ₂ CaO-SiO ₂
Cuarzo	SiO ₂	Carbonático Sódico	Na ₂ CO ₂	1300	2372	Metasilicato Sódico Ortosilicato Sódico	Na ₂ SiO ₃ Na ₄ SiO ₄
Cuarzo	SiO ₂	Magnesia	MgO	1200-1400	2192-2552	Forsterita	Mg ₂ SiO ₄
Cuarzo	SiO ₂	Forsterita	Mg ₂ SiO ₄	1400-1500	2552-2732	Clinoenstatita	MgO-SiO ₂
Cuarzo	SiO ₂	Alúmina	Al ₂ O ₂	1500-1700	2732-3092	Mullita	3Al ₂ O ₂ -2SiO ₂
Alúmina	Al ₂ O ₃ -a	Magnesia	MgO	1300-1500	2372-2732	Mullita	3Al ₂ O ₃ -3SiO ₂
				1000	1832	Espinela	MgO-Al ₂ O ₃
				1000-1200	1832-2192	(muy dependiente del tamaño de part.)	
Magnesita 23%	MgCO ₃	Caolín 77%	Al ₂ O ₂ -2SiO ₂ - 2H ₂ O	1450-1500	2642-2732	Cordierita	
Talco	3MgO-4SiO ₂	Caolín	Al ₂ O ₃ -2SiO ₂ - 2H ₂ O	1300-1400 Superior a	2372-2552 Superior a	Cordierita	2MgO-2Al ₂ O ₂ -5SiO ₂
				1000	1832	Cordierita	
Fayalita	Fe ₂ SiO ₄	Magnesita	MgCO ₃	1000-1200	1832-2192	Forsterita y ferrito de magnesia	Mg ₂ SiO ₄ -MgFe ₂ O ₄
Sillimanita	Al ₂ O ₃ -SiO ₂	Mullita	3Al ₂ O ₃ -2SiO ₂	1545	2813	Sílice vitrea	SiO ₂
Andalucita	Al ₂ O ₃ -SiO ₂	Mullita	3Al ₂ O ₃ -2SiO ₂	1380-1400	2516-2652	Sílice vitrea	SiO ₂
Kianita (cianita)	Al ₂ O ₃ -SiO ₂	Mullita	3Al ₂ O ₃ -2SiO ₂	1310-1380	2390-2516	Sílice vitrea	SiO ₂
Mullita	Al ₂ O ₃ -SiO ₂	Corindón	Al ₂ O ₃ -a	1810	3290	Sílice líquida	SiO ₂
Caolín	Al ₂ O ₃ -2SiO ₂ - 2H ₂ O	Product. no cristalino		650	1202		
		Mullita	3Al ₂ O ₃ -2SiO ₂	950	482	Sílice vitrea	SiO ₂
		Mullita	3Al ₂ O ₃ -2SiO ₂	1000	1832	Sílice vitrea	SiO ₂
		Mullita	3Al ₂ O ₃ -2SiO ₂	1200	2192	Sílice vitrea	SiO ₂
		Mullita	3Al ₂ O ₃ -2SiO ₂	1225-1275	2237-2327	Cristobalita	SiO ₂
Carbonato Magnésico, magnesita	MgCO ₃	Magnesia	MgO	350	662	Dióxido de carbono	CO ₂

la fayalita durante el enfriamiento (Fig. 6).

Con 2.7% de CO₂ y 95.5% de CO el hierro no fue atacado (Fig. 7) a bajas temperaturas del orden de 1.227°C, tampoco fue atacado por una mezcla de gas de 10% de CO₂, pero sí lo fue severamente por una mezcla de 50% de CO₂ (Fig. 8).

Un resumen de los datos obtenidos por medio de cálculos adicionales se presenta en la Fig. 5. La región importante del diagrama es la esquina inferior derecha que indica el campo metal-sílice, en él no hubo ataque a las atmósferas y relaciones

CO₂/CO indicadas. Si la temperatura o el potencial de oxidación se incrementa hasta llegar al campo fundido sílice, en el cual el hierro se oxida y forma un fundido frágil.

Otro aspecto importante que muestran las microfotografías de la Fig. 8 es el problema de la penetración del metal en el molde dando como resultado una superficie mala en la fundición; nótese que el hierro líquido (Figs. 6 y 7) no moja a la sílice y de ahí que no tienda a penetrar, excepto a altas presiones ferrostáticas.

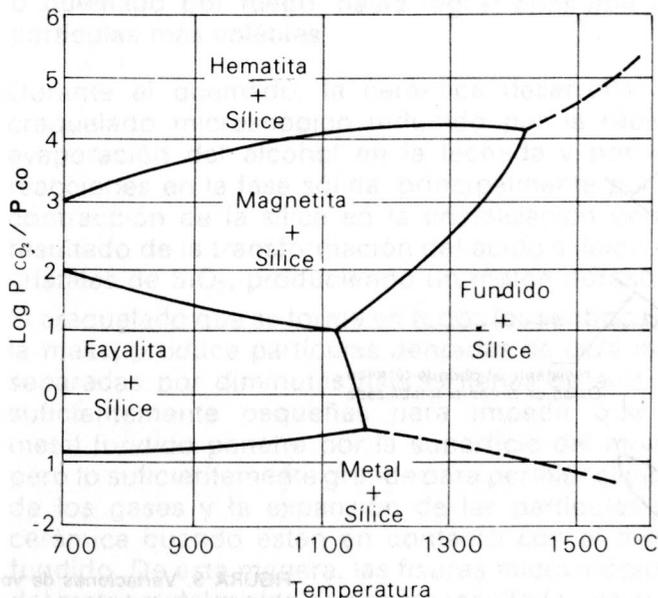


FIGURA 5. Localización experimental para probetas sobre el diagrama de equilibrio de Darken's (Sistema Fe-Si-O).

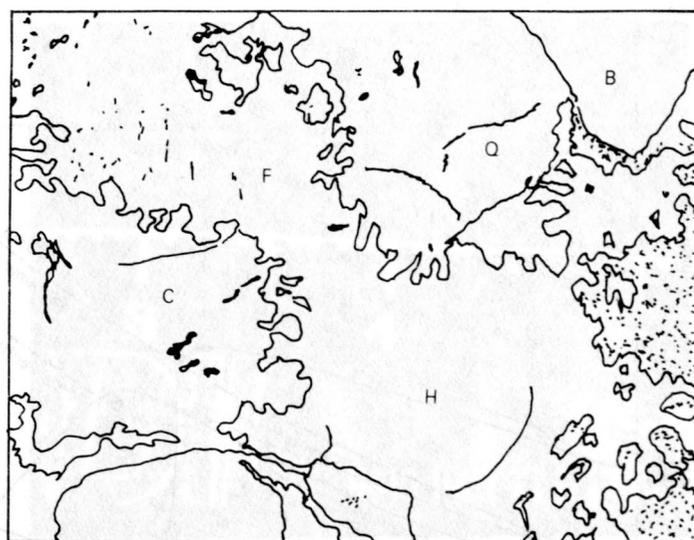


FIGURA 6. Microestructura desarrollada en probetas de arena de cuarzo puro calentadas en contacto con partículas de hierro por 60' a 1566°C, en una atmósfera de 10% de CO₂ y 90% de CO. Q = cuarzo, H = hierro, B = baquelita, C = cristobalita, F = fayalita (250X).

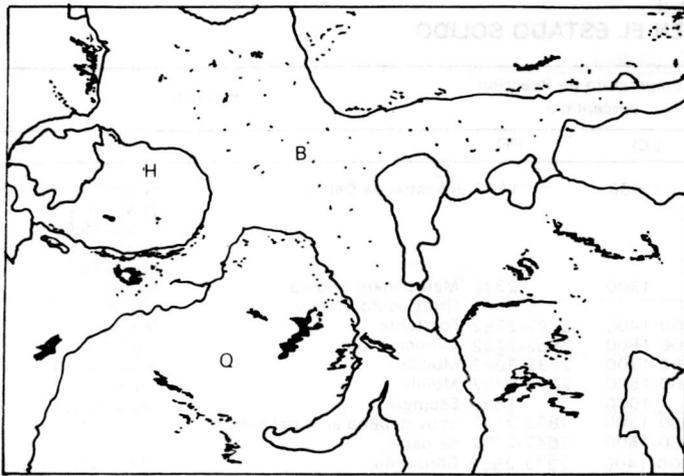


FIGURA 7. Microestructura en atmósfera reductora (2.7% CO₂, 97.3% CO). Q = cuarzo, H = hierro, B = baquelita. Probeta calentada por 60' a 1525°C (250X).

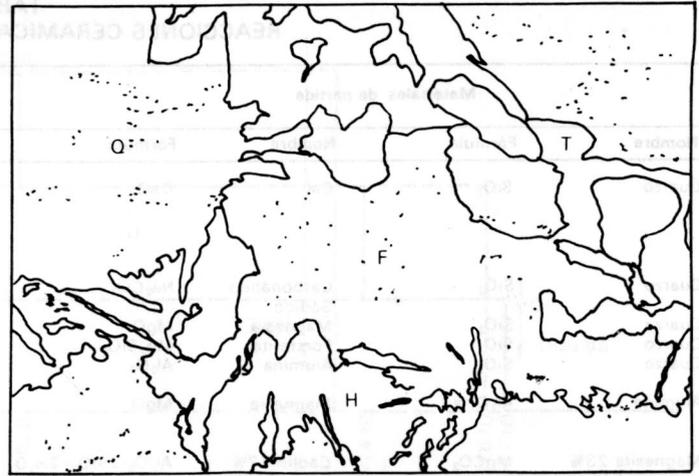


FIGURA 8. Microestructura desarrollada en atmósfera oxidante (50% CO₂, 50% CO) a bajas temperaturas (1225°C por 60'). Q = cuarzo, H = hierro, T = tridimita, F = fayalita (250X).

Por otro lado, el fundido formado por la reacción del óxido de hierro y sílice, moja la sílice y abre canales a través de la pared del molde por los cuales fluye el metal. Por tanto, la penetración y la reacción en la interfase metal-molde pueden reducirse, minimizando el potencial de oxidación por el cual se produce buen acabado superficial en los procesos de arena seca y de "cáscara": mientras que el alto potencial de oxidación del vapor de agua que se genera en los procesos con arena verde hacen que las fundiciones pesadas sean propicias para una reacción extensiva de interfase.

MATERIALES CERAMICOS PARA FUNDICION

Los más importantes materiales cerámicos que por sus propiedades son convenientes en el moldeo de fundiciones, son:

- El Olivino: mineral compuesto de cristales mixtos de ortosilicatos de magnesio y hierro, respectivamente "forsterita" (Mg₂SiO₄) y "fayalita" (Fe₂SiO₄). Punto de fusión de Olivino

1.520°C.

- Compuestos de zirconio: como el zircón (ZrSiO₄) de alto punto de fusión y el óxido de zirconio (zirconia). La Fig. 9 ilustra las transformaciones volumétricas que sufre el zirconio con el calentamiento y el enfriamiento.
- Cromitas: cromita de hierro (FeOCr₂O₃) con punto de fusión 2.180°C y las cromitas naturales con puntos de fusión entre 1.700°C y 2.100°C; siendo útiles para el moldeo las de punto de fusión superior a 1.900°C.
- Sillimanita: existen tres minerales de igual composición química (Al₂O₃SiO₂): sillimita o fibrolita; kianita, cianita o disteno y andalucita. Estos minerales son ortosilicatos que poseen iones (SiO₄)⁻⁴ separados; los cuales se forman a partir de la mullita.
- Mullita sintética: de fórmula 3Al₂O₃ 2SiO₂; se prepara a partir de sílice y alúmina puras, por calentamiento a 1.800°C.

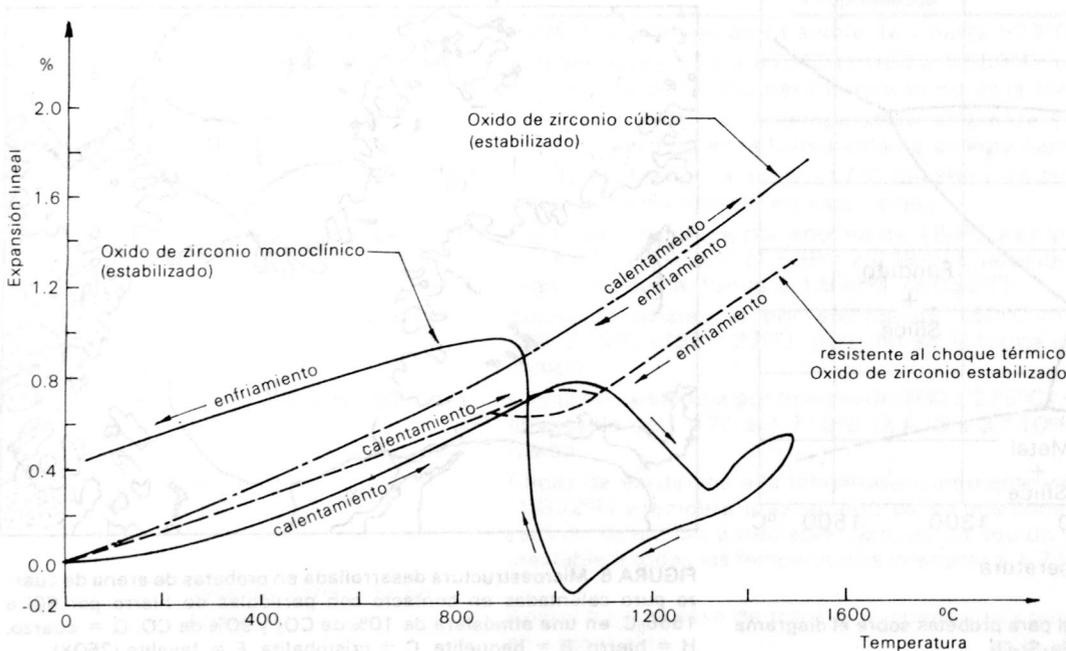


FIGURA 9. Variaciones de volumen del óxido de zirconio monoclinico puro y del óxido de zirconio puro cúbico estabilizado.

TECNOLOGIA DEL PROCESO DE MOLDEADO EN CERAMICA

Procesos para la producción de moldes:

El proceso consiste básicamente en la preparación de una mezcla de materiales refractarios cuidadosamente graduada y de granulometrías apropiadas, la cual se aglutina con agentes resistentes a altas temperaturas entre los cuales se cuenta el silicato de etilo. La mezcla así preparada se vierte sobre el modelo; luego que la mezcla ha endurecido se extrae este y el molde se quema a 1.000°C, después de lo cual queda listo para la colada.

El aglutinante silicato de etilo se encuentra comercialmente en dos formas: como ortosilicato de tetraetilo, con 30% de sílice y como silicato de etilo 40, que es una mezcla de ésteres de etilo de varios ácidos silícicos altamente condensados con un contenido de 40% de sílice.

El silicato de etilo se transforma en presencia de ácidos y alcohol, en una solución inorgánica de ácido silícico; el cual sometido a la reacción de polimerización se condensa y forma una malla de sílice que endurece el molde.

Justo cuando el aglutinante se endurece, su consistencia corresponde a la interfase líquido-sólido. La fase líquida libera gran cantidad de alcohol y la sólida se presenta como una forma de ácido polisilícico, el cual es inestable, y rápidamente forma nuevas cadenas químicas que son de mayor masa que la molécula original. El crecimiento molecular en estado crudo hace que las partículas de cerámica que se encuentran suspendidas se muevan o separen, produciendo así una red de fisuras microscópicas, ver fotos 1 y 2. En este momento es necesario interrumpir el crecimiento molecular para impedir que las fisuras lleguen a ser excesivamente grandes y dañen la cara del molde.

Por tanto, después del fraguado, el molde se somete a un tratamiento de estabilización por baño químico o quemado por fuego, hasta lograr consumir las partículas más volátiles.

Durante el quemado, la cerámica desarrolla un craquelado microscópico inducido por la rápida evaporación del alcohol en la lechada y por las reacciones en la fase sólida, principalmente por la contracción de la sílice en la cristalización como resultado de la transformación del ácido silícico en cristales de SiO_2 , produciendo un molde poroso.

El craquelado que se forma en todos los sentidos en la masa, produce partículas dentadas de cera más separadas por diminutas fisuras llenas de aire, lo suficientemente pequeñas para impedir que el metal fundido penetre por la superficie del molde pero lo suficientemente grande para permitir el paso de los gases y la expansión de las partículas de cerámica cuando están en contacto con el metal fundido. De esta manera, las fisuras microscópicas del material del molde dan como resultado una gran estabilidad dimensional sin menoscabo de acabado superficial de la pieza fundida, dando al molde alta



FOTO 1. Microgrietas de un molde cerámico.

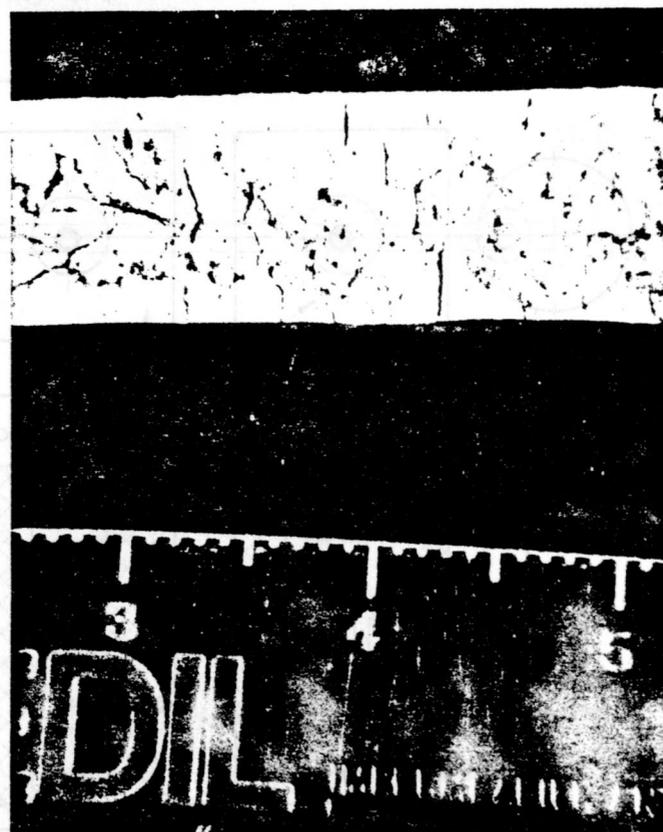


FOTO 2. Microgrietas a través de una cáscara cerámica.

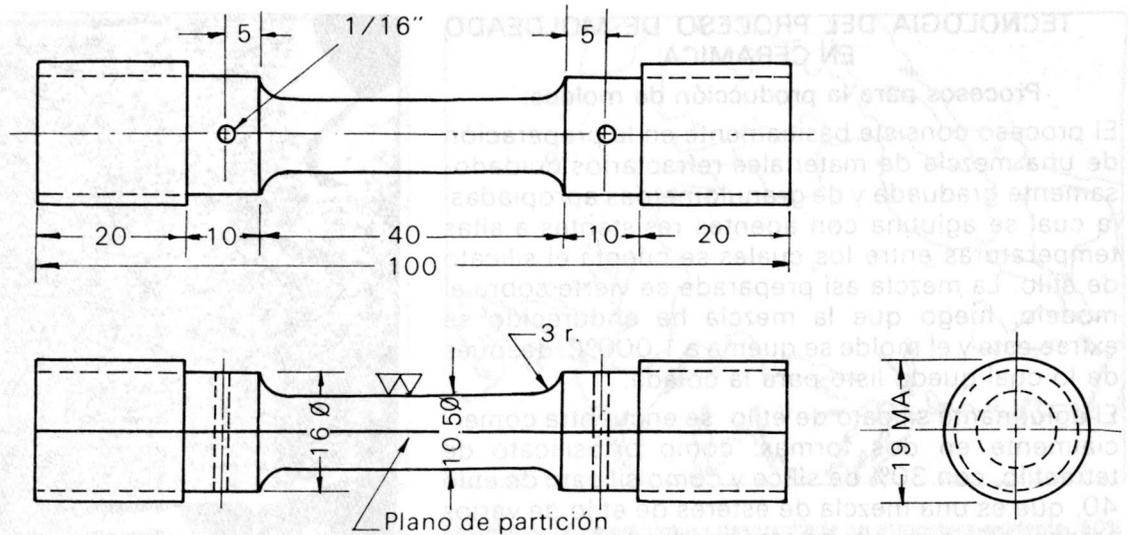


FIGURA 9A. Modelo. Cantidad 1, material: acero 1020.

permeabilidad e inmunidad al choque térmico. Existen varios procesos para producir los moldes de cerámica entre los cuales los más importantes son: proceso **Shaw** y el proceso **Unicast** que se encuentran resumidos en el original del proyecto y que por razones de espacio no se incluyen en este resumen.

Aplicaciones de la fundición en cerámica

Se pueden fabricar por este proceso tanto aleaciones ferrosas como no ferrosas: Aleaciones de aluminio, cobre (especialmente bronce al berilio), níquel, titanio, fundición nodular aceros de alto y bajo tenor de carbono, aceros inoxidables y aceros para herramientas.

El proceso se adapta a un amplio rango de aplicaciones que requieren estrechas tolerancias, y exactitud dimensional a más bajo costo para cantidades que no excedan 500 piezas por diseño. Los niveles de precisión dimensional posibles con este proceso dependen de las dimensiones de la pieza; ver Tabla III.

La rugosidad superficial puede ser hasta de 40 micrones, dependiendo de factores como presión metalostática y del molde, espesor de la sección y fluidez del metal. Una ventaja importante del proceso es la posibilidad de precalentar el molde, lo cual permite producir fundiciones de paredes muy delgadas, hasta de 1/16" o menos.

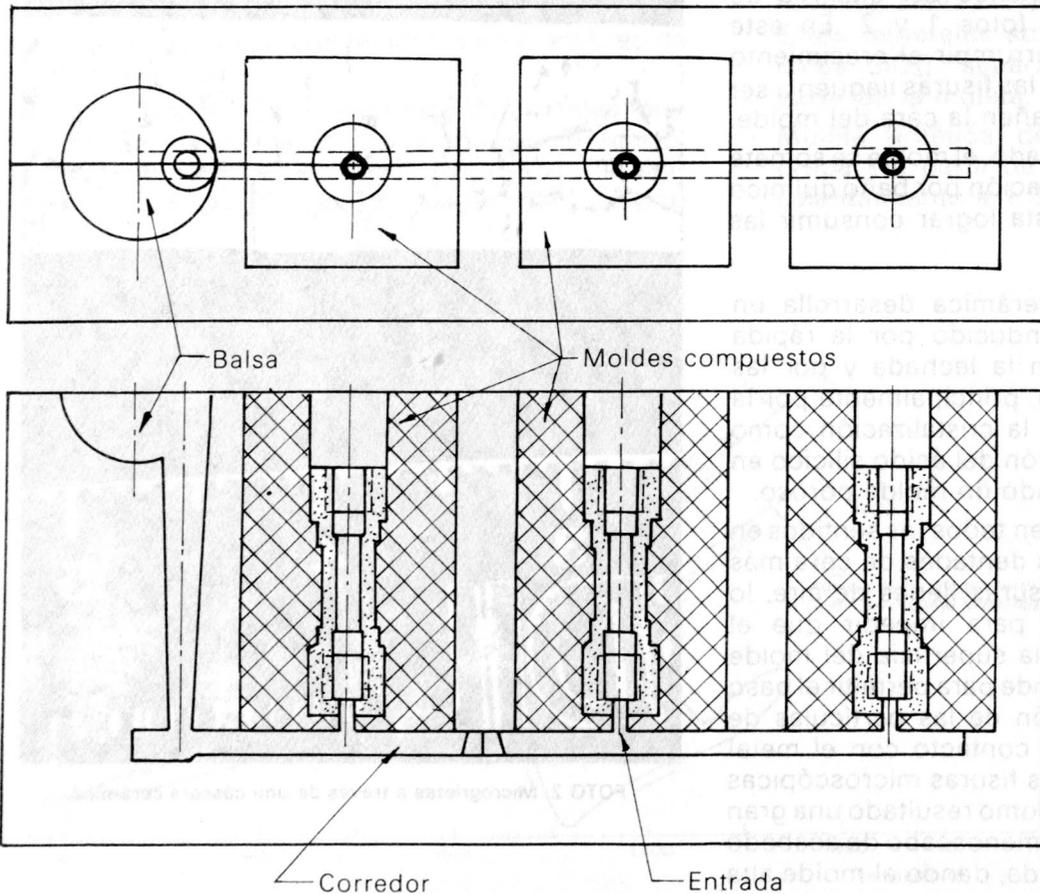


FIGURA 10. Composición del molde triple.

El proceso de moldeado en cerámica apropiado para un amplio rango de productos tales como moldes para fundición a presión, coquillas, moldes para inyección de plástico, moldes para vidrio, modelos y cajas de corazones para otros procesos de fundición, todo tipo de componentes de máquinas, rotores para bombas, álabes de turbinas, válvulas, impulsores, componentes eléctricos, placas para Shell Moulding, etc.

El grado tan alto de precisión y acabado que es posible obtener, significan que las operaciones de maquinado o copiado, y por consiguiente los costos se pueden reducir considerablemente.

**TABLA III
TOLERANCIAS**

Dimensión	Tolerancia
Hasta 25 mm.	0 a ± 0.1 mm.
25 - 75 mm.	0 a ± 0.2 mm.
75 - 200 mm.	± 0.2 a 0.3 mm.
200 - 350 mm.	± 0.2 a 0.4 mm.
Sobre 350 mm.	0.5%

PARTE PRACTICA

En el trabajo práctico seguido en el laboratorio de fundición del IEI se elaboraron moldes cerámicos para la fundición de un total de 9 probetas en aluminio, cobre y acero.

Los moldes se prepararon utilizando tres mezclas refractarias con base en sílice, mullita, zirconio y chamote refractario. La Tabla IV ilustra los ingredientes de cada mezcla.

**TABLA IV
MEZCLAS SELECCIONADAS**

Mezcla	Material	Malla	Porcentaje
A	Sílice	- 200	40
	Sílice	- 150 + 200	20
	Sílice	- 50 + 100	20
	Chamote	- 8 + 50	20
B	Mullit	- 200	30
	Sílice	- 200	25
	Sílice	- 100 + 200	15
	Sílice	- 50 + 100	10
	Chamote	- 8 + 50	20
C	Zircón	- 200	25
	Sílice	- 200	15
	Sílice	- 100 + 200	40
	Chamote	- 8 + 50	20

Con los materiales de la Tabla IV se prepararon pastas cerámicas aglutinadas con silicato de etilo. Después del análisis de varios ensayos se optó por utilizar la siguiente composición, con resultados satisfactorios.

Silicato de etilo	30%
Alcohol etílico	69%
Acido hidroclorhídrico, solución al 3%	1%
	100%

Al silicato de etilo hidrolizado se le agregó la mezcla refractaria en una relación peso de refractario a volumen de líquido de 3 a 2. En el momento de realizar la mezcla se agregó al líquido hidróxido de

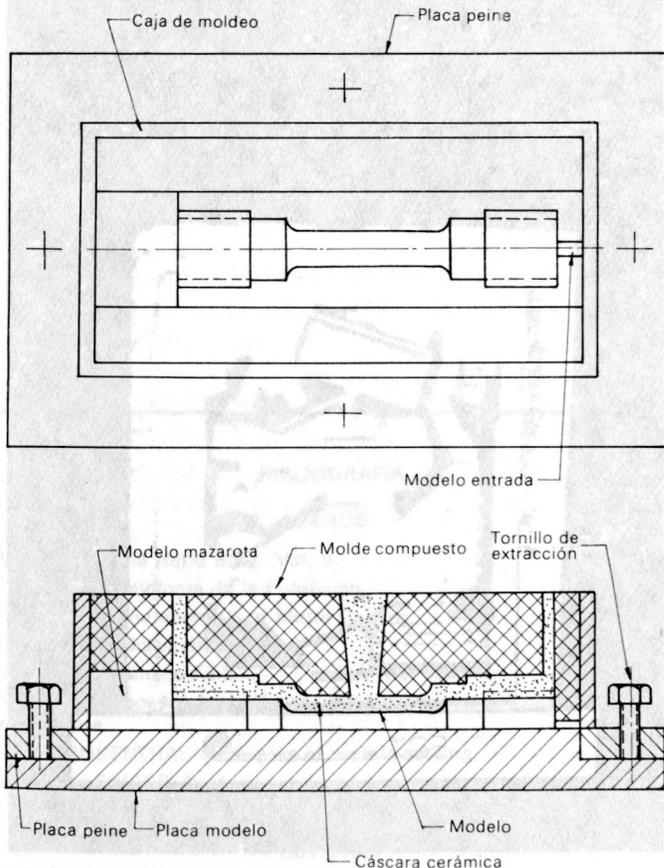


FIGURA 11. Moldeo del molde compuesto.

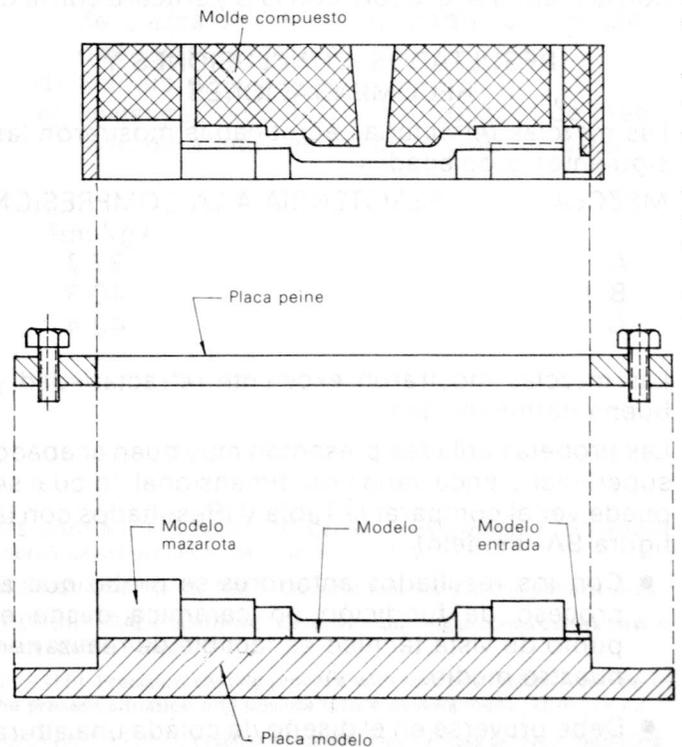


FIGURA 12. Mecanismo de extracción. La acción de los tornillos separa la placa peine de la placa modelo de manera uniforme y suave. Luego se separa el molde.

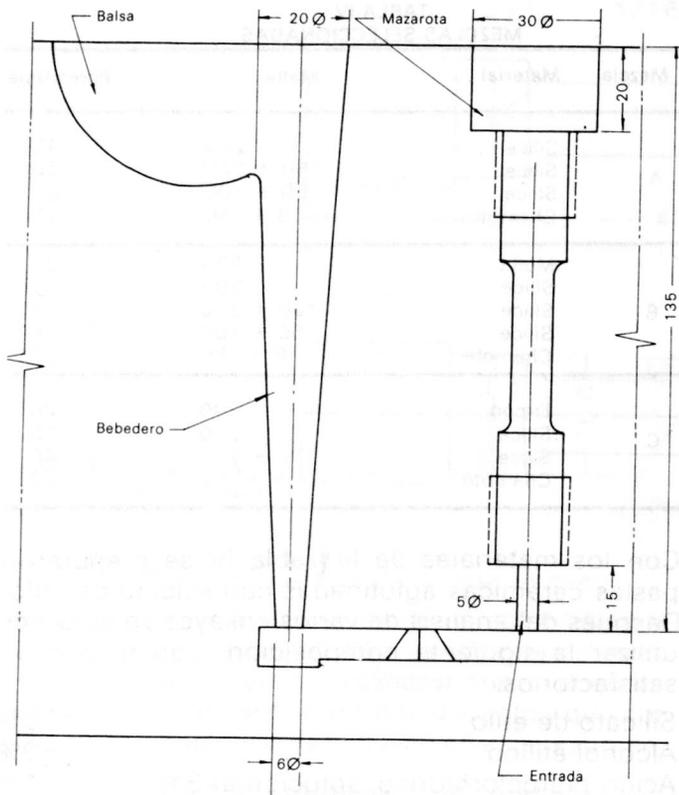


FIGURA 13. Sistema de alimentación.

sodio en solución al 15% en proporción de 10 cc. por cada 100 cc. de aglutinante; con lo cual la mezcla fraguó en forma similar al yeso en un lapso de 5 minutos. Los moldes se prepararon de acuerdo con las figuras 10, 11, 12 y 13. El aluminio se fundió con la mezcla A, el cobre con la B y el acero con la C.

RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

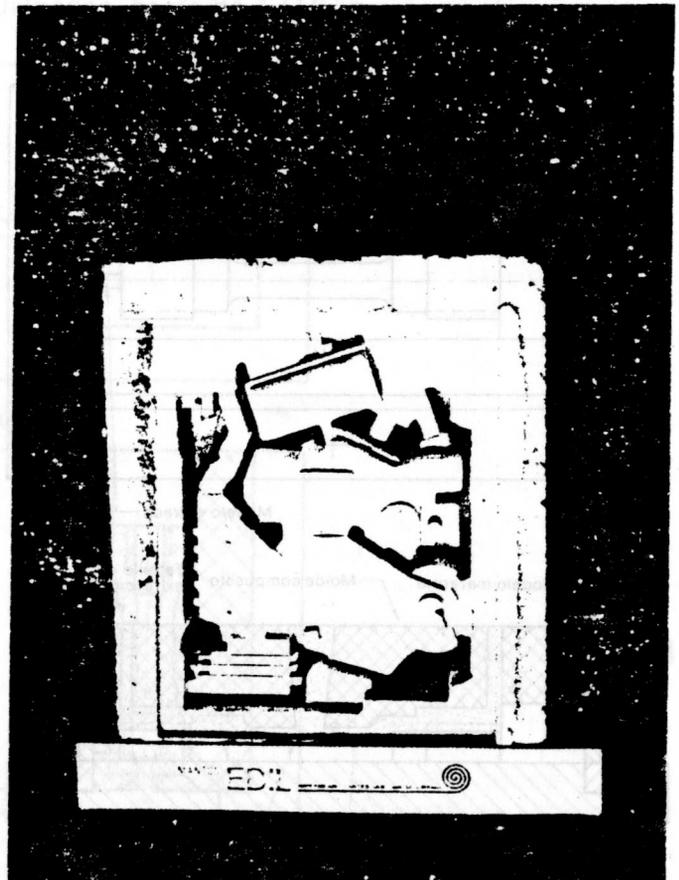
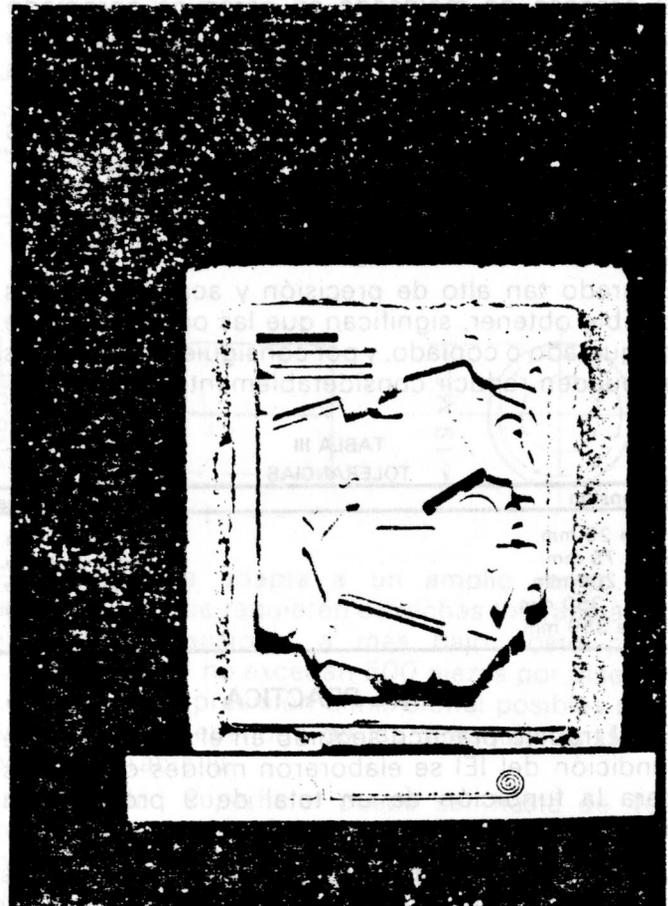
Las mezclas refractarias aglutinadas mostraron las siguientes propiedades:

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION
	kg/cm ²
A	37.7
B	40.3
C	43.4

Las mezclas mostraron excelente refractariedad y buena permeabilidad.

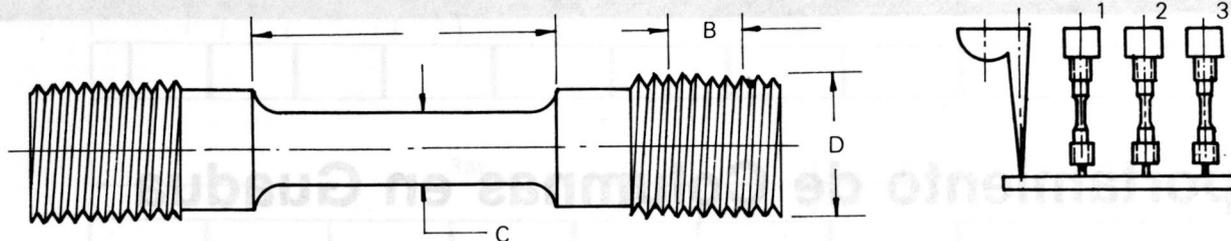
Las probetas coladas presentan muy buen acabado superficial y poca variación dimensional, lo cual se puede ver al comparar la Tabla V (Resultados con la figura 9A- modelo).

- Con los resultados anteriores se probó que el proceso de fundición en cerámica desde el punto de vista técnico es factible de realizar en nuestro medio.
- Debe preverse en el diseño de colada una altura metalostática mínima de 10 cms. por encima de la parte superior de la pieza.
- La temperatura de colada debe ser apropiada para que el metal tenga la suficiente fluidez para



FOTOS 3-4. Moldes cerámicos de piezas complejas.

TABLA V.- PRECISION DIMENSIONAL



Pieza	Localiz.	Dimensiones				Rugosidad	Observaciones
		A (mm)	B(mm)	C(mm)	D(mm)		
Modelo	—	38.85	9.85	10.50	19.80		
Aluminio	1	38.65	9.65	10.20	19.20	15	Partida para pruebas
	2	—	9.80	10.10	19.15	15	
	3	38.50	9.65	10.15	19.20	15	
Cobre	1	38.20	9.60	10.10	19.35	30	
	2	38.50	9.75	10.15	19.25	30	
	3	38.55	9.80	10.00	19.55	30	
Acero	1	38.40	9.60	10.10	19.35	49	Incompleta No llenó
	2	38.55	9.70	10.10	—	49	
	3	—	—	—	—	—	

llenar las cavidades más finas del molde.

- Para lograr los mejores acabados superficiales es determinante el precalentamiento de los moldes.
- En caso de continuar las investigaciones sobre el manejo de la técnica del proceso, se recomienda desarrollar los siguientes proyectos:
 - a) Diseño de piezas y sistemas de colada para

microfundición.

- b) Fabricación de piezas especiales para microfundición.
- c) Diseño de una planta piloto para producción de piezas de diferentes grados de complejidad microfundidas.
- d) Estudio de mercado.
- e) Investigación sobre otros procesos de precisión para metales ferrosos y no ferrosos.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS

- A.S.T.M. **Metals Hand Book**. Vol. 5.
 CAPELLO. **Tecnología de la Fundición**.
 FLYN R. A. **Fundamentals of Metal Casting**.
 KREKELER. **Microfundición**.
 NORTON. **Cerámica Fina**.
 PAGODIN. **Procesos tecnológicos progresivos en la construcción de maquinaria**.
 HEINE-ROSENTHAL. **Principles of metals casting**.
 SINGER y SINGER. **Cerámica industrial**.

REVISTAS

- AMERICAN FOUNDRY MAN'S. **Cest stainless steel in ceramic molds**. Julio 1951.

AFS CAST METALS INSTITUTE. **Ceramic mold process**. Conferencias sobre nuevos procesos de fundición, 1962.

AFS TRANSACTIONS, 1969. **Ceramic moulding in the pattern shop**.
 FOUNDRY TRADE JOURNAL. **Ceramic moulding process gives best of both worlds**. Mayo, 1970.

GIESSERI. **Precision casting process with ceramic molds. A review of the present situation and possible future development**. Abril, 1972.

MODERN CASTING. **Washaka foundry mechanizes ceramic moulding**. Febrero, 1969.

THE BRITISH FOUNDRYMEN. **From drawing board to finished machining of a 100 lb gravity die casting**. Julio, 1969.

THE FOUNDRY. **Ceramic mold for the foundry**. Marzo, 1950.

STAUFFER CHEMICAL CO. **Silbond ethyl silicate**.