

# Influencia de la mezcla resina-arena sobre el acabado superficial de piezas vaciadas

Román Javir Nava Quintero<sup>A</sup>, Alejandro Torres Castro<sup>A,B</sup>,  
Juan Antonio Aguilar Garib<sup>A,B</sup>, Ubaldo Ortiz Méndez<sup>A,B</sup>

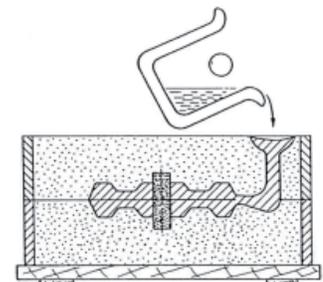
<sup>A</sup>Programa Doctoral en Ingeniería de Materiales, FIME-UANL,

<sup>B</sup>CIIDIT-UANL

roman.nava@hotmail.com

## RESUMEN

*El objetivo de este trabajo es determinar la relación entre diferentes mezclas resina-arena sobre la calidad superficial de piezas vaciadas. La metodología empleada consistió en comparar diferentes preparaciones de moldes y sus efectos en las superficies solidificadas en contacto con dichos moldes. Cualquier cambio en el acabado de las muestras o la presencia de defectos superficiales indicaría una influencia del molde en la muestra. Las variables propuestas son la distribución granulométrica, el contenido de resina, el contenido de catalizador, y el tiempo y la temperatura de curado, y las variables a observar fueron la de rugosidad y el tamaño de grano en la superficie de la muestra vaciada.*



## PALABRAS CLAVES

Molde de arena, fundición, rugosidad, tamaño de grano

## ABSTRACT

*The objective of this work is determining the relationship among different sand-resin mixtures over the surface quality of cast pieces. The employed methodology consisted on comparisons of the different mould preparations and their effects over the solidified surfaces in contact with such moulds. Any difference in surface of the samples or the presence of surface defects would indicate an influence of the mould over the cast sample. The proposed variables are grain distribution, resin content, catalyzer content, and the time and temperature for curing, and the observed variables were roughness and grain size on the surface of the cast sample.*

## KEYWORDS

Sand mould, casting, roughness, grain size

## INTRODUCCIÓN

Existe en la actualidad gran competencia en la industria de la fundición, especialmente en las pequeñas y medianas fundiciones, hay atención especial en que los productos vaciados tengan las propiedades físicas y químicas según el uso que se les dará, empleando aleantes, modificadores, refinadores de tamaño de grano, así como mediante la selección adecuada de la materia prima y el control de las condiciones de fusión, vaciado y solidificación.

Un atributo muy importante es el acabado superficial de las piezas vaciadas, ya que en el mercado actual la presentación juega un papel importante, porque de paso brinda cierta imagen de que el proceso de fabricación fue cuidadoso, además de que la superficie tiene gran influencia sobre otras propiedades, como la resistencia a la corrosión.

Dado que la forma de una pieza vaciada proviene del molde y que la superficie de éste da directamente con la superficie del producto vaciado, es necesario prestar atención a esta interfase, que además es la encargada de extraer el calor, y por lo tanto, tiene influencia en las condiciones de solidificación. Los moldes de arena son de lo más popular en la industria de la fundición, no sólo para piezas pequeñas, sino también grandes, como las campanas para cubrir los pozos petroleros en el mar o las plataformas de lanzamiento de los cohetes.

En este trabajo se muestran los resultados de las mediciones de las variables más importantes que existen en la preparación de moldes de arena para la fabricación de piezas de fundición, como es la granulometría, relacionándola con el acabado superficial de las piezas. La determinación de estas relaciones lleva a la posibilidad de establecer variables de control del proceso y a la reducción de pérdidas de producción, como lo apuntan Hoar T.P.<sup>1</sup> y Wagner C.G.<sup>2</sup>

## ANTECEDENTES

El proceso de fundición ha llevado al hombre a otro nivel de desarrollo y es muy significativo que la historia de la humanidad subdivida a la historia misma antes de la edad media, por edades denotadas según los materiales que trabajaban en esos períodos.

Desde los primeros registros de herramientas y utensilios fabricados por fundición de cobre (5,000 A.C.-3,000 A.C.), hasta las primeras herramientas fabricadas de hierro (cerca del año 600 A.C.), la fundición era un técnica empírica, y fue hasta el año 1540 D.C. que el metalúrgico Vannocio Birungio recopiló fórmulas y las técnicas de fundición vigentes hasta su tiempo, otorgando un concepto más científico al enfoque de fundición.<sup>3</sup> Pero es hasta principios del siglo XVIII que comienza la revolución de la fundición con la producción de

hierro en Europa y es en el siglo XIX donde con la detonación de la revolución industrial, el proceso de fundición se convierte en el referente del desarrollo económico y tecnológico de los países.

Aún y con todos los avances en los siglos subsecuentes, todavía hasta el siglo XX la industria de la fundición veía a las arenas de moldeo como un simple contenedor para verter y dar forma al metal, y no fue sino hasta la segunda mitad de ese siglo, que el control de las propiedades en las arenas tiene reconocimiento general, pues se ha comprobado que las propiedades de las fundiciones dependen de manera intrínseca de las propiedades del molde de arena.<sup>4</sup> Sin embargo, se argumenta que hasta ahora no existe una sistematización de los conocimientos de cómo el sistema resina-arena controla la calidad de las superficies de las fundiciones.<sup>5</sup>

El presente trabajo tiene como objetivo general buscar una correlación entre los sistemas resina-arena con la calidad de las superficies solidificadas. Se selecciona para este fin un sistema furánico, resinas con alcohol furfílico como base y con fenol/urea formaldehído, ya que es común en la fundición.

De acuerdo con lo anterior se plantea como hipótesis que el estado de la superficie de la pieza fundida está influenciada por variables de proceso como: temperatura de curado, tiempo de curado, contenido de resina y contenido de catalizador, y de las características del material que conforma el molde como: el tipo de arena y su distribución granulométrica.

## EXPERIMENTACIÓN

El metal estudiado en este trabajo fue aluminio de alta pureza (99.9%) grado conductor con punto de fusión de 660°C. El procedimiento experimental consistió en la elaboración de moldes de arena sílica con diversas granulometrías y condiciones de curado, resina, temperatura y tiempo. Con el fin de relacionar la preparación del molde sobre la calidad superficial se eligieron para cada variable considerada los valores extremos recomendados<sup>1, 5, 6</sup> y uno medio (tabla I). No se considera interacción entre variables.

La preparación de cada molde se realizó según el estándar de la American Foundry Society (AFS) para el proceso de caja caliente (AFS 3345-00-S).

Tabla 1. Valores nominales y asignados para cada preparación.

Variables	Valores recomendados	Valor mínimo	Valor medio	Valor máximo
Distribución granulométrica (AFS)	50/55	40/50	50/55	60/70
Contenido de resina (% en peso)	2.0	1.8	2.0	2.2
Contenido de catalizador (% en peso)	20	10	20	30
Temperatura de curado (°C)	235±2	220±2	230±2	240±2
Tiempo de curado (s)	30	15	30	45

El tiempo de mezclado para todas las preparaciones fue de 15 minutos de forma manual con la ayuda de un agitador mecánico.

Para la elaboración del molde de arena se utilizó una caja modelo de aluminio (figura 1). La caja se calentó en un horno de resistencias eléctricas (Lindberg/Blue UP150) que cuenta con un sistema de encendido/apagado y controles de temperatura integrados. Posteriormente la caja de aluminio se forró en sus paredes exteriores con lana mineral para disminuir la pérdida de calor y poder vaciar la arena sílica por gravedad para así fabricar el molde. La temperatura de la caja para producir la reacción de polimerización de la resina se fijó en 235±2°C.

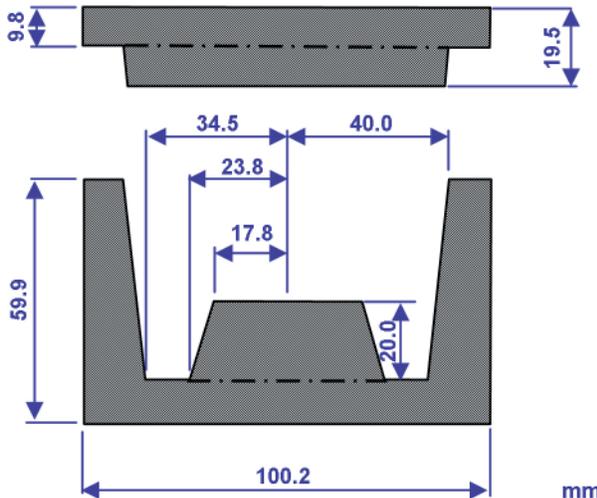


Fig. 1. Vista lateral de la caja cilíndrica utilizada como modelo para fabricar el molde de arena.

La temperatura de curado se monitoreó en todo momento con el empleo de un termopar tipo K puesto en contacto a la base de la caja de molde, la cual genera la superficie principal de análisis. Una vez fabricado cada molde se identificó y se mantuvo a una temperatura entre 20 y 24°C y una humedad relativa entre 30 y 40% como se sugiere en el manual de la AFS pues la arena es higroscópica, esto es, tiende a absorber humedad del medio ambiente.

En la figura 2 se aprecian la forma y las dimensiones del molde de arena durante el proceso de vaciado del aluminio, el cual se realizó por gravedad fijando los siguientes parámetros: distancia de vaciado, flujo de alimentación del metal, temperatura de vaciado, carga de metal y enfriamiento de la pieza, a fin de obtener una calidad superficial reproducible en todas las preparaciones con el mínimo de defectos.

Se empleó un crisol de alúmina con un orificio de 6 mm para tener un flujo constante, no turbulento que minimiza la presión dinámica. El crisol de alúmina se deshidrató previamente para evitar que la humedad afectara la fundición del aluminio y disminuyera la calidad de la pieza. La distancia de vaciado fue de 28 milímetros para minimizar la penetración por alimentación en el molde de arena. En cuanto a la temperatura del vertido del aluminio al molde de arena a la cual se vaciaron todas las muestras, ésta fue de 675°C y también estuvo monitoreada en todo momento con un termopar tipo K. Todas las muestras de aluminio se dejaron enfriar durante 15 minutos dentro de su molde.

Las mediciones de rugosidad se realizaron fuera de la zona en donde el metal golpea la superficie del

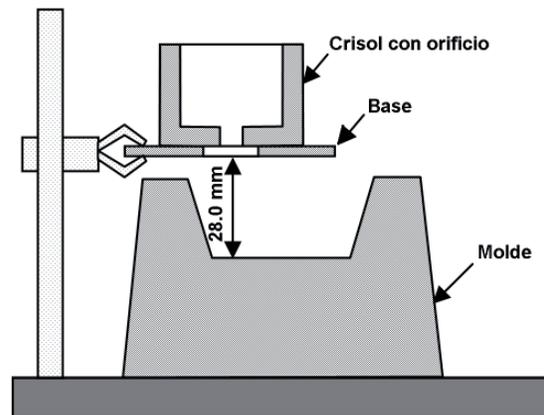


Fig. 2. Esquema del arreglo del molde durante el vaciado.

molde durante el vaciado, pues genera penetración en el molde, efectuándose tres lecturas en el sentido de la dirección de vaciado y tres en forma transversal, de manera que se obtenga una distribución representativa de la rugosidad de la pieza. Para el análisis por microscopía óptica se observaron dos áreas de 5 x 5 mm en diferentes zonas (figura 3).

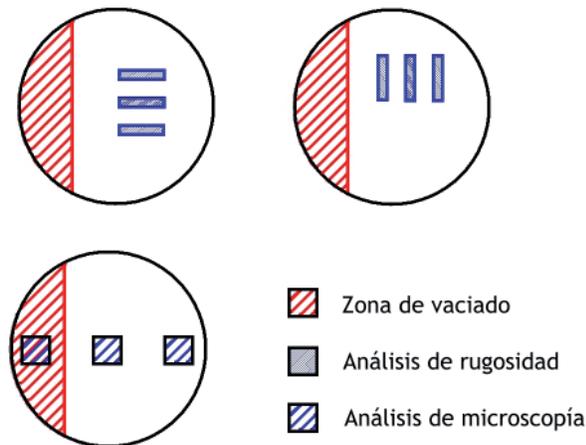


Fig. 3. Zonas de análisis de rugosidad y microscopía óptica.

En tanto a las piezas vaciadas, una vez que solidificaron fueron caracterizadas superficialmente con un rugosímetro, que es el método industrial más usado para cuantificar la rugosidad, basado en el registro de perfiles de alturas medidas de superficies, en este caso en las piezas fundidas. Los parámetros de rugosidad más utilizados en ingeniería son: la rugosidad promedio ( $R_a$ ) y la rugosidad media estándar ( $R_{ms}$ ).  $R_a$  es el promedio aritmético de los valores absolutos de las alturas  $f(x)$  medidas a partir de la línea central.  $R_{ms}$  representa el promedio de las desviaciones cuadráticas respecto a la altura media. El análisis por rugosidad se realizó con un rugosímetro (MAHR Pocket Surf EGH 1026) que cuenta con un detector por diferencia de inductancia con punta de diamante con una rapidez de medición de 0.5 mm/s y una rapidez de retorno de 1 mm/s; el radio de la punta es de 5  $\mu\text{m}$  con una fuerza de medición de 4 nN (0.4 gf). Para las lecturas, se utilizó el modo de filtro analógico 2CR de acuerdo a la norma ANSI B46.1-1985 con una longitud de evaluación de 7.5 mm por medición. El margen de medición de rugosidad del equipo para el modo de rugosidad promedio y rugosidad  $R_{ms}$  se encuentra entre 0.5 y 30  $\mu\text{m}$ . Una vez terminado el proceso de

medición de rugosidad se continuó con el análisis metalográfico del tamaño de grano y los defectos en la superficie (figura 4). Para ello se empleó un microscopio (Olimpus) en modo de campo oscuro, al cual está acoplada una cámara fotográfica digital y se empleó un software Pro-Image versión 4.5.19 para Windows 98/NT/2000 para analizar con mayor detalle la superficie de la materia, la lente empleada fue de 5X.

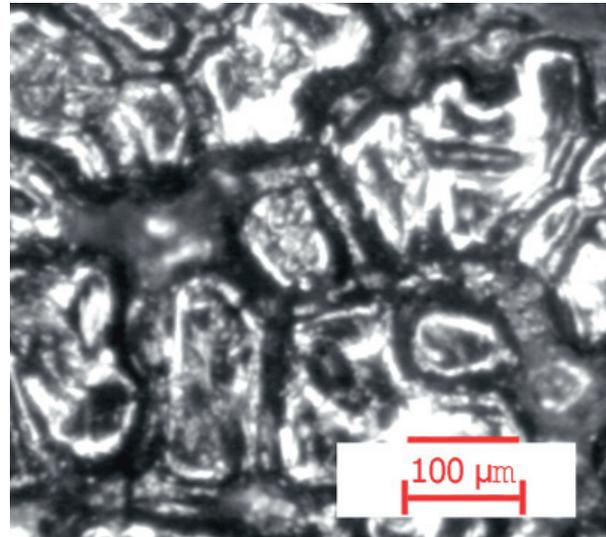


Fig. 4. Microscopía óptica de la pieza de aluminio en la que se aprecia el tamaño de grano.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para clasificar el tamaño de grano en la superficie de las muestras de aluminio solidificadas fue necesario obtener una distribución general de diámetros medios (figura 5) con el fin de obtener intervalos de tamaño de grano que permitieran comparar el efecto de las distintas preparaciones de moldes en las piezas solidificadas en cada uno de ellos. Quedando las mediciones de la siguiente manera: el primer cuartil queda definido de valores de 5 a 62  $\mu\text{m}$  (grano pequeño), el segundo cuartil se encuentra en valores del 62 a 91  $\mu\text{m}$  (grano mediano), el tercer cuartil se encuentra en valores de 91 a 129  $\mu\text{m}$  (grano grande) y el último cuartil con un rango que va de los 129 a 430  $\mu\text{m}$  de tamaño de grano (grano muy grande).

### Influencia de la arena en el tamaño de grano y en la rugosidad

Es importante hacer notar que cualquier combinación de arena (AFS) da como resultado

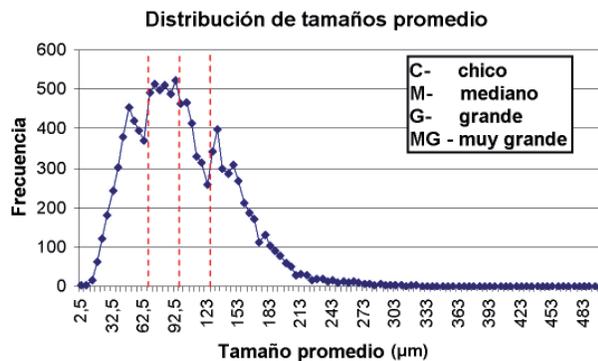


Fig. 5. Distribución de diámetros promedio en las piezas de aluminio vaciadas.

una distribución variada de tamaños de granos solidificados que van desde las 5 a 430  $\mu\text{m}$  de radio medio, donde se pueden distinguir cuatro poblaciones de tamaños presentes en todas las preparaciones, independientemente de la granulometría de arena utilizada (figuras 6a-6l). En cuanto a la influencia de la granulometría, la arena (50/55) gruesa es la más sensible al contenido de resina y catalizador, ya que conforme estos aumentan la presencia de granos grandes y muy grandes aumentan, indicando un mejor aglutinamiento (figuras 6a y 6d). El tiempo de curado es otra variable, la que fue más sensible a la granulometría gruesa 50/55, lo que se puede atribuir a un mayor grado de polimerización en la resina, menor generación de gases y mayor rigidez del molde (figura 6g). En cuanto a la influencia de rugosidad, es interesante observar que conforme aumenta la relación de finos de arena (GFS) es el rango de rugosidad el que disminuye (figura 7a). Las figuras 7 muestran los valores extremos encontrados para cada condición.

### Influencia del contenido de resina

Granulometría (40/50).- No se observa un cambio significativo en la distribución de tamaño de grano ni en la rugosidad medida (figura 6a-6c y 7b). No se observó incrustación de arena en ninguna de las muestras.

Granulometría (50/55).- En el caso de esta distribución granulométrica, sí se observa un efecto cuando se agrega más del 2% de resina. Se observa que la distribución se carga a tamaños grandes y muy grandes y su rango de rugosidad disminuye (figura 7b). Esto es promovido por una mejor compactación del molde, ya que esta arena presenta una distribución

GFS más estrecha a las otras dos, lo que hace que demande mayor resina para una mejor dispersión de la arena y una superficie más compacta.

Granulometría (60/70).- No se observa un cambio significativo en la distribución de tamaño de grano ni en la rugosidad medida (figura 6a-6c y 7b)

### Influencia del contenido de catalizador

Granulometría (40/50).- En el caso de esta distribución granulométrica, se observa que a menor contenido de catalizador, la distribución de tamaños va hacia granos muy grandes, lo anterior, es una condición que se puede atribuir a la poca generación de gases que no permitió curar el corazón del molde y fue removido y rellenado con arena sin resina o catalizador para darle la rigidez mecánica necesaria para el vaciado. Esta es una condición poco práctica.

Granulometría (50/55).- Para esta granulometría no hay un impacto significativo en el tamaño de grano ni en los rangos de rugosidad de la pieza solidificada.

Granulometría (60/70).- En el caso de esta distribución granulométrica se observa un incremento de granos pequeños en las piezas solidificadas con contenidos mayores al 10%, lo que es promovido por el curado completo de la resina, resultando en una superficie más compacta que se puede ver en los valores obtenidos de rugosidad.

### Influencia del tiempo de curado

Granulometría (40/50) y (50/55).- Las granulometrías gruesa y media no pudieron tener un buen curado a tiempos cortos, por lo que no son mecánicamente viables en muestras de mayor volumen de metal (se rellenaron con arena sin resina). No hay un impacto significativo (figura 7d) en la rugosidad, excepto en el mejor curado y menos gases emitidos en tiempos de 45s de las muestras 40/50, que ayudan a tener un valor promedio más uniforme y pequeño.

Granulometría (60/70).- Esta condición también sufrió de poco curado y se desprendió arena de la parte base del molde en la condición de 15 s, pero no fue necesario rellenar más de la mitad de éste con arena lo que elimina mucha de la resina no curada

y que promoverá una mayor generación de gases, por lo que no hay un impacto en su salida respecto al tamaño de grano.

**Influencia de temperatura de curado**

Granulometría (40/50).- Se observa una mayor presencia de granos de tamaño pequeño cuando la temperatura de curado está en la condición de 240°C mientras el rango de rugosidad disminuye,

esto indica que ésta es la condición óptima para esta granulometría. Se piensa que la causa de la presencia de una distribución de granos cargada hacia los tamaños pequeños puede ser influenciada por un mejor grado de curado y con esto una mejor permeabilidad del molde.

Granulometría (50/55).- No se observa un cambio significativo en la distribución de tamaño de grano ni en la rugosidad medida.

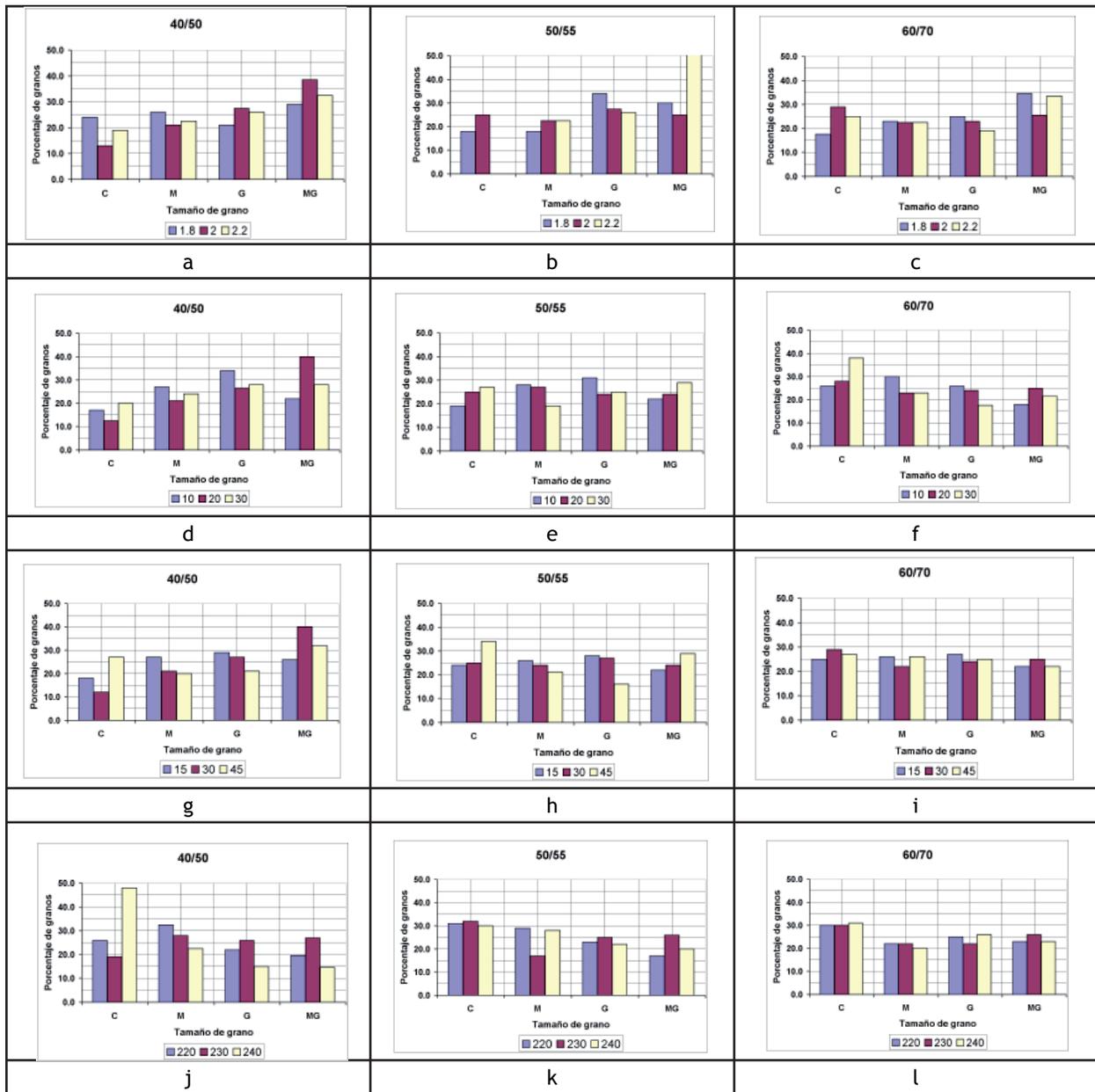


Fig. 6. Distribuciones de grano en la superficie de aluminio en los distintos moldes.

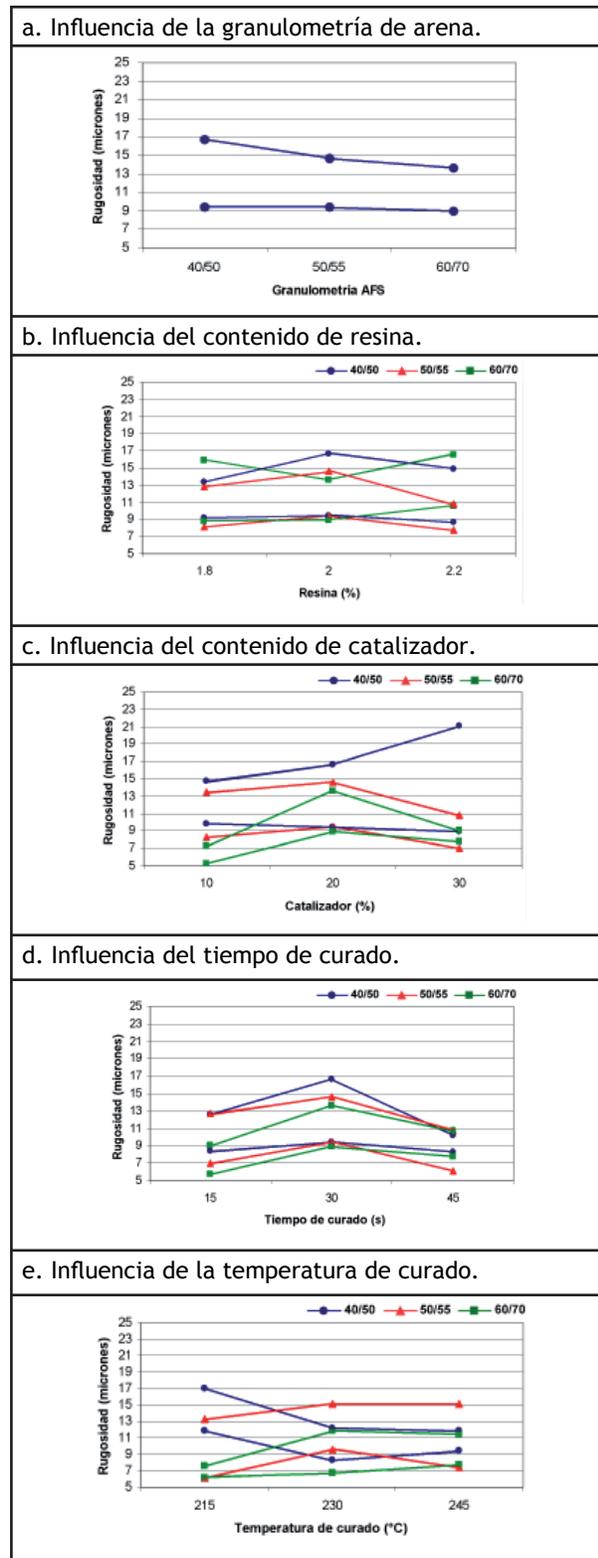


Fig. 7. Rangos de rugosidad en los distintos moldes.

Granulometría (60/70).- No se observa un cambio significativo en la distribución de tamaño de grano ni en la rugosidad medida. Se observó que los moldes a 240°C estaban sobrecurados.

En este trabajo se han utilizado tanto los valores recomendados como extremos, cuyos resultados muestran la importancia de tener un control estricto sobre estas variables en la industria. Se observa en la mayoría de los casos que el comportamiento no es lineal, mostrando incluso mínimos a valores medios.

### CONCLUSIONES

Se utilizaron diferentes formulaciones de moldes de arena sílica para correlacionar los acabados de las piezas de aluminio con las características superficiales del molde.

El análisis de la microestructura en las superficies de las fundiciones de las muestras mostró la presencia de estructuras granulares con tamaños que van desde 5 µm hasta 430 µm, siendo los más comunes entre 5 µm y 320 µm. Esto muestra que son las características de los granos de arena y los efectos ocurridos en la interfase molde-metal durante el vaciado de las muestras las que determinan finalmente la estructura superficial de las piezas de aluminio.

Generalmente se considera que el empleo de granulometrías finas de arenas producen acabados más lisos pero aquí se observó que esta aseveración no es del todo correcta pues depende de las condiciones de preparación del molde.

Las variables más significativas dependen de la granulometría empleada, así, la arena gruesa como la (40/50) respondió a la temperatura de curado como el factor más significativo en su calidad, la arena media (50/55) respondió a la cantidad de resina y la arena fina (60/70) al contenido de catalizador. Se comprobó que las arenas con distribución de tres mallas y media (50/60 y 40/50) presentan defectos superficiales por partículas de arena sueltas durante el vaciado, lo que se conoce comúnmente como “costra”. Todas las muestras de este sistema presentaron defectos en su calidad superficial por este fenómeno.

En este trabajo se utilizó el valor de rugosidad promedio (Ra) debido a que es una referencia

estandarizada para las superficies de piezas vaciadas, pero este parámetro limita la información en cuanto a la forma del perfil.

Los resultados muestran el efecto de las variables estudiadas, pero dado la no linealidad en la respuesta se requiere hacer experimentos de más niveles, manteniendo constantes las condiciones de vaciado.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al CONACYT por su apoyo económico para la realización de este trabajo, y a la FIME-UANL por facilitar las instalaciones.

#### REFERENCIAS

1. Hoar T.P. y D.V. Atterton, "Penetration of Molten Metal into Compacted Sand", Journal of the Iron and Steel Institute (September 1950) pp. 6-7.
2. Wagner C.G., "Observations on the Penetration of Steel into High Density Clay Bonded Molds with Controlled Atmospheres", AFS Transactions, Vol. 87, 1979, p.573.
3. ASM Handbook, Casting, Vol.15, 1988, pp. 15-44, 209-285,544-557.
4. Delannoy P., Stefanescu D. M., Piwonka T.S., "A Critical Literature Review of Theories for the Formation of Casting Metal Penetration Defects", AFS
5. AFS Technical Department, "Casting Answer and Advice", Modern Casting, Vol. XX, 2000
6. Aguilar Juan J., "Curso de los Procesos de Moldeo y Corazones", AFS Región Saltillo, 1992.

