

Rev.Téc.Ing., Univ.Zulia  
Vol.4, N°s.1 y 2, 1981

COMPARACION DE LOS METODOS DE FUNDICION DE  
MOLDEO COMPLETO MODIFICADO A ARENA VERDE

A través de algunas propiedades de piezas  
fundidas en aluminio por ambos métodos

*(Recibido el 15 de Junio de 1981)*

J. Cendros, C. Urdaneta y J. del Moral  
Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia  
Maracaibo - Venezuela

RESUMEN

En el presente trabajo se estudió el Método de Moldeo Completo Modificado. Este es un novedoso método de fundición que utiliza arena sin compactar. Dicho método permite obtener piezas de metal de formas complejas, imposibles de obtener por el Método Convencional de Arena Verde. Se hace una comparación de ambos métodos a través de un análisis químico y de las propiedades mecánicas de dureza y esfuerzo de ruptura de las piezas fundidas en aluminio.

Se concluye que no existen diferencias en las piezas producidas, lo que pronostica una gran viabilidad para el Método de Moldeo Completo Modificado para producir piezas fundidas en aluminio.

ABSTRACT

In this paper the Modified Full Mould Casting Method is studied. It is a recent casting method using sand without binder and no compactation. This method allows the obtaining of metallic pieces with complex shape, impossible to obtain with the conventional method of green sand. A comparison is made of the two methods through the chemical composition and mechanical properties analysis of the aluminium cast pieces.

It is concluded that there are no differences among the produced pieces. This predicts a great viability for the Modified Full Mould Casting Method to produce aluminium cast pieces.

## INTRODUCCION

La fundición es uno de los procesos más antiguos que se conocen para la fabricación de piezas , remontándose su origen hasta 4000 años antes de Cristo.

Esta técnica se ha desarrollado ampliamente y ha tomado un carácter industrial debido al perfeccionamiento en las instalaciones y en los equipos. El gran desarrollo se debe primordialmente a los bajos costos de producción de las piezas en comparación con las obtenidas en procesos de forja, soldadura o estampado.

En la actualidad se desarrollan nuevos métodos de fundición debido a las limitaciones existentes para la obtención de piezas de diseño complicado. Uno de estos métodos es el Método de Moldeo Completo Modificado que es el resultado de una modificación del Método de Moldeo Completo , fig.1, dicha modificación consiste en la utilización de arena sin compactar , sin aglutinantes, sin aglomerantes y en un recubrimiento refractario de los modelos de poliestireno.

### Método Convencional de Arena Verde

Este es uno de los métodos más utilizados desde tiempos antiguos, consiste en la elaboración de piezas fundidas a partir de modelos de madera los cuales se introducen en cajas de moldeo y se recubren con una arena especial tratada con aglomerantes y aglutinantes, la cual es compactada. Luego que el modelo es copiado en la arena, se retira y se procede a vaciar el metal fundido a través de un sistema de colada para obtener la pieza deseada.

### Método Moldeo Completo Modificado

Este método resulta de una modificación del método de Moldeo Completo o Sólido Perdido , ver fig.1 , la modificación fundamental consiste en utilizar arena sin compactar , sin aglutinante ni aglomerante lo que se traduce en un ahorro de materiales , equipos y tiempo a nivel de producción industrial.

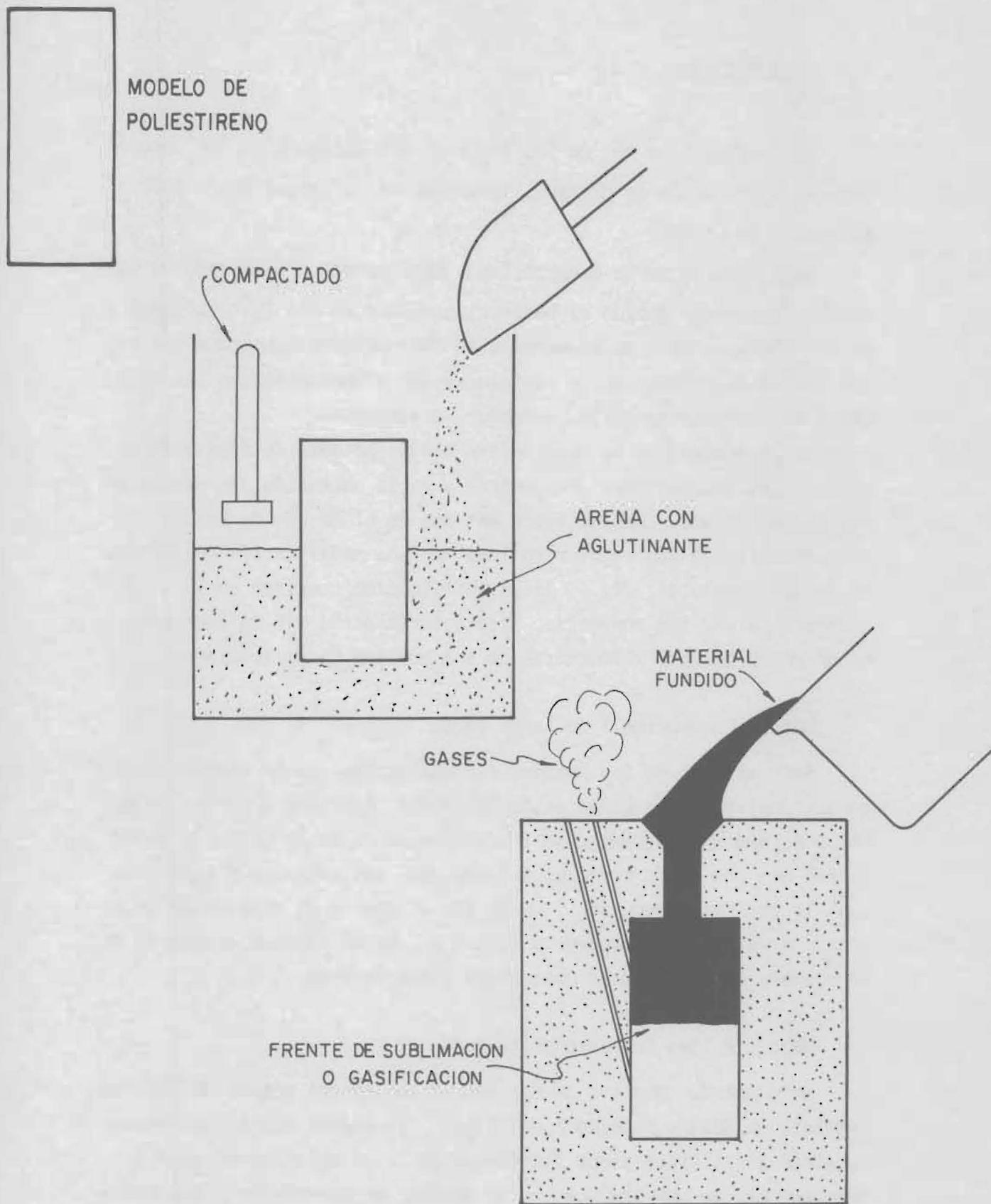


Fig. 1.- Metodo Moldeo Completo

El método de Moldeo Completo Modificado, fig.2, se puede describir como aquel método mediante el cual una pieza fundida puede ser hecha a partir de un patrón o modelo de poliestireno recubierto con una película refractaria, la cual evita el desmoronamiento de la arena que se encuentra alrededor del modelo. Luego se coloca en una caja simple de moldeo sin plano de juntas, y se recubre con arena sin aglutinantes y sin compactar, vaciando posteriormente el material fundido a través del sistema de colada, éste último forma parte del modelo, el material fundido pasa a ocupar el lugar del modelo el cual se va vaporizando dejando una pieza fundida con la misma forma del modelo original.

Mucha de la información [7] existente sobre el uso de arenas sin compactar no ha sido publicada debido a que las patentes son de origen americano donde el proceso es guardado como propiedad, pudiendo solamente ser manejada por un grupo selecto. Sin embargo Butler y Pope [3] han publicado un análisis y una investigación de las posibilidades del método. Así como un estudio fotográfico hecho a través de una ventanilla de vidrio del metal fluyendo dentro del molde, esto último revela que los fenómenos que tienen lugar allí son muy diferentes de aquellos que tienen lugar en el método convencional.

Los ingenieros metalúrgicos han comenzado a darse cuenta de las implicaciones de la fundición por el método de moldeo completo en la industria. Barron [1] ha reportado condiciones propicias para el mejoramiento de la maquinabilidad en fundiciones de hierro gris hechas por moldeo completo utilizando resinas furánicas como aglutinante. Otros autores han reportado una completa ausencia de inclusiones de escoria bajo condiciones adecuadas de colada. Dieter [7] reportó análisis químicos sobre dos muestras para determinar las diferencias entre la composición química para la fundición de hierro, una vaciada por el método de Moldeo Convencional y otra vaciada por el método de Moldeo Completo.

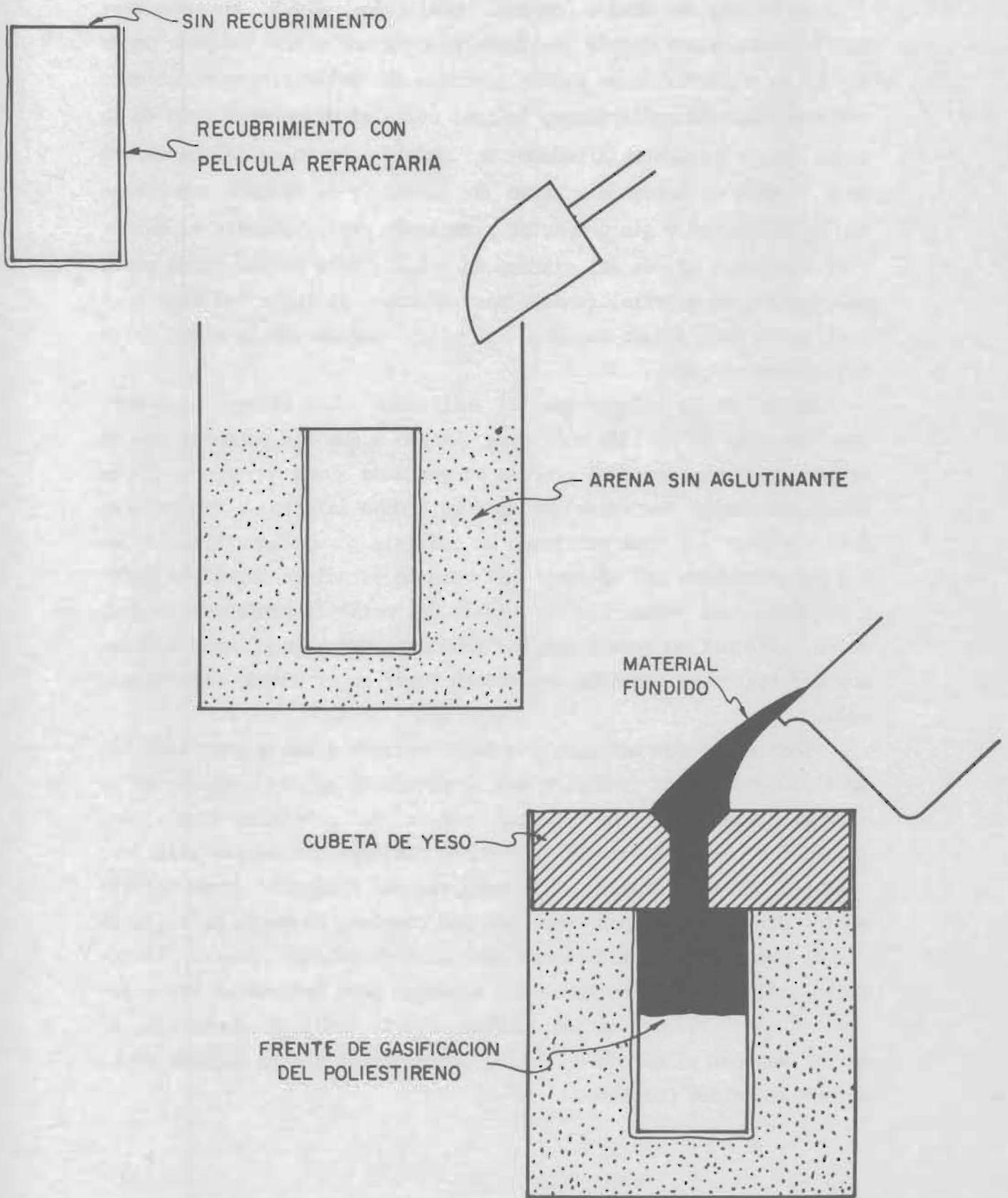


Fig. 2.- Método del Moldeo Completo Modificado

El resultado fue el siguiente:

	Moldeo Completo %	Moldeo Convencional %
C	3.02	3.02
Mn	0.97	0.90
S	0.08	0.08
P	0.08	0.09
Si	2.03	2.02
Ca	<i>trazas</i>	<i>trazas</i>
Cr	0.27	0.26
Mo	0.04	0.04
Ni	0.37	0.37
Ti	0.02	0.02
Cu	0.09	0.11
Zn	0.00	0.00
Al	0.003	0.005
O	0.090	0.130
H	0.0006	0.0006
N	0.010	0.010

La única diferencia significativa descubierta fue una reducción del 0.040% en el oxígeno contenido en el hierro que fue vaciado por el método de moldeo completo. Barron [1] predijo que se esperaba obtener resultados similares con el método de Moldeo Completo Modificado. Hasta la fecha no se han reportado trabajos donde se comparen los métodos desde el punto de vista de las propiedades mecánicas de las piezas fundidas.

En el presente trabajo se hicieron análisis químicos de las piezas fundidas utilizando aluminio y el método de Moldeo Completo Modificado. Los resultados corroboraron las predicciones de Barron.

Asimismo se hizo un análisis comparativo entre el método Convencional de Arena Verde y el método de Moldeo Modificado. Esta comparación se hace por medio de un análisis estadístico de las propiedades mecánicas de dureza y esfuerzo de ruptura en probetas de aluminio.

Del análisis realizado se concluyó que a través del método de Moldeo Modificado se pueden obtener piezas de igual calidad que las obtenidas por medio del método Convencional de Arena Verde.

En otros trabajos [4] se ha comprobado que el método Modificado compite ventajosamente sobre el no modificado y el convencional en la producción de piezas metálicas de acero y bronce. El método ofrece grandes perspectivas para el futuro, especialmente porque representa una gran posibilidad de reducción en los costos de producción, tiempo de moldeo y desmoldeo. Igualmente representa una ventaja el uso de arenas [6] de los médanos, sin ningún tratamiento especial, por su abundancia y fácil transporte.

#### DESCRIPCION Y DISCUSION DE LOS EXPERIMENTOS

##### 1. Obtención de las barras de aluminio

Se obtuvieron a partir de una aleación de aluminio con una pureza del 88%. Fueron realizadas 16 coladas a una temperatura de 780° C.

En cada una de las coladas se obtuvo una barra por el método Convencional y otra por el método de Moldeo Completo Modificado; esto se hizo con el objeto de que las probetas obtenidas constituyeran una muestra aleatoria.

Los modelos de Poliestireno se fabricaron a partir de láminas ensamblándolos de uno en uno en forma manual, para ello se utilizó un pegamento comercial. Luego se procedió a recubrirlos con un baño refractario y se dejaron secar durante 24 horas con el objeto de que no se produjera vapor de agua al momento de efectuar la colada.

Para llenar las cajas del método de Moldeo Completo Modificado se utilizó arena limpia de los médanos de El Moján, sin aglutinantes

ni aglomerantes. Estas arenas se prestan favorablemente para ser utilizadas en este método.

Debido a la no compactación de la arena se utilizó una cubeta de material refractario, que se coloca en la parte superior del molde y se hace la colada directamente sobre ella.

Luego de obtenidas las barras se les hizo un recocido de normalización a  $450^{\circ}\text{C}$  durante 4 horas y se dejaron enfriar dentro del horno por 48 horas, todo esto con el objeto de homogenizar la estructura cristalina y mejorar la maquinabilidad de las barras.

A partir de estas barras se obtuvieron las probetas para el ensayo de tracción y para el ensayo de dureza.

Con la finalidad de eliminar los efectos producidos por el trabajo en frío en el torno, se sometieron las probetas nuevamente a un recocido de normalización.

## 2. Ensayo de Tracción

A las probetas fabricadas por maquinado a partir de las barras obtenidas por ambos métodos de fundición se les sometió a un ensayo de tracción. Durante esta prueba se graduó la velocidad a  $0.25\text{ cm/mín}$  suficiente para considerarlo un ensayo de tracción estático.

Los resultados obtenidos pueden verse en la tabla II.

## 3. Ensayo de Dureza

De las barras obtenidas se tomaron muestras para efectuar el ensayo de dureza. Se utilizó un penetrador de bola de diámetro  $1/8''$  y un peso en brazo basculante de  $60\text{ Kgs.}$  que corresponde con la escala de dureza Rockwell tipo H.

Las probetas de ensayo se tomaron al azar.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla I.

TABLA I Durezas  
(RH)

<i>Moldeo Completo Modificado</i>	87	64	74	76	84	80	87	80
<i>Método Convencional</i>	88	81	78	86	68	67	82	78

TABLA II Esfuerzos de Ruptura  
(Kgs/m<sup>2</sup>)

<i>Moldeo Completo Modificado</i>	12210	14520	13805	13530	11990	14190	14190	7150	12815	14795	12980	6600	13026	6513	7187	8759
<i>Método Convencional</i>	12595	13475	7315	7425	13310	14410	13585	13585	10120	10560	12925	15125	13248	7411	11061	11903

#### 4. Análisis Estadístico de los Resultados

Los valores de esfuerzo de ruptura y dureza fueron sometidos a un análisis estadístico. Este estudio se basó en la prueba de Hipótesis sobre la diferencia de las Medias y sobre la relación de las Varianzas de dos poblaciones y se hizo con la finalidad de demostrar que ambos métodos producen piezas con iguales propiedades mecánicas.

Se formularon las siguientes hipótesis:

"El método de Moldeo Completo Modificado produce piezas con un esfuerzo de ruptura igual al de las piezas obtenidas por el método Convencional de Arena Verde".

"El método de Moldeo Completo Modificado produce piezas con una dureza igual a la de las piezas producidas por el método Convencional de Arena Verde".

4.a Prueba de Hipótesis sobre la diferencia de las Medias de dos poblaciones.

$$\text{Hipótesis: } H_0 : M_1 - M_2 = 0 \quad \text{Contra}$$

$$H_1 : M_1 - M_2 \neq 0$$

Regla de decisión

$$\bar{y}_A - \bar{y}_p > C_\delta \quad \text{Se rechaza } H_0$$

Donde:

$\bar{y}$  = media de la muestra

$$C_\delta = t \left[ (n_1 + n_2 - 2, 1 - \alpha/2) S_w \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \right]$$

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n-1}$$

$$S_w^2 = \frac{(n_1 - 1) S_1^2 + (n_2 - 1) S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Subíndices

A : Arena Verde

p : Poliestireno

4.a.1 Esfuerzo de Ruptura.

$$\bar{y}_A = 11753.31$$

$$\bar{y}_p = 11516.25$$

$$S_A = 2539.31$$

$$S_p = 3106.87$$

$$S_w = 2837.32$$

Para una significación de  $\alpha = 0.01$

$$t_{30, 0.995} = 2.75$$

$$C_\Delta = 2758.65$$

$$\bar{y}_A - \bar{y}_p = 237.06$$

$$\bar{y}_A - \bar{y}_p < C_\Delta$$

Esto implica que no se rechaza la hipótesis y no existe mayor diferencia entre ambos esfuerzos de ruptura.

4.a.2 Dureza.

$$\bar{y}_A = 78.5$$

$$\bar{y}_p = 77.25$$

$$S_A = 7.63$$

$$S_p = 6.69$$

$$S_w = 7.18$$

Para una significación de  $\alpha = 0.01$

$$t_{14, 0.995} = 2.9768$$

$$C_{\delta} = 10.69$$

$$\bar{y}_A - \bar{y}_p = 1.25$$

$$\bar{y}_A - \bar{y}_p < C_{\delta}$$

Esto indica que no se rechaza la hipótesis  $H_0$  y no existe diferencia significativa entre la dureza del material obtenido por ambos métodos.

#### 4.b Prueba de Hipótesis sobre la Varianza de dos poblaciones.

Hipótesis:  $H_0 : \sigma_A^2 = \sigma_p^2$       Contra

$$H_1 : \sigma_A^2 \neq \sigma_p^2$$

Regla de decisión

$$F_0 > F_{\alpha, a-1, n-a} \quad \text{Se rechaza } H_0$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y_{00}^2}{N}$$

$$SS_{MET} = \sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{n} - \frac{y_{00}^2}{N}$$

$$SS_E = SS_T - SS_{MET}$$

$$F_0 = \frac{SS_T / (a-1)}{SS_E / (N-1)}$$

4.b.1 Esfuerzo de Ruptura.

$$a = 2 \quad n = 16 \quad N = 32$$

$$y_{ij}^2 = 4.573 \times 10^9$$

$$\frac{y_{00}^2}{N} = 4.3318 \times 10^9$$

$$\frac{y_{.i}^2}{n} = 4.3322 \times 10^9$$

$$SS_T = 2.4196 \times 10^8$$

$$SS_{MET} = 4.299 \times 10^5$$

$$SS_E = 2.4153 \times 10^8$$

$$F_0 = 0.0534$$

$$F_{0.01, 1, 30} = 7.56$$

$$F_0 < F_{0.01, 1, 30}$$

Lo cual implica que no se rechaza la hipótesis y en consecuencia no se afecta el esfuerzo con una significación del 99%.

4.b.2 Dureza

$$a = 2 \quad n = 8 \quad N = 16$$

$$\frac{y_{00}^2}{N} = 9.7032 \times 10^4$$

$$y_{ij}^2 = 9.776 \times 10^4$$

$$\frac{y_i^2}{n} = 9.7039 \times 10^4$$

$$SS_T = 727.75$$

$$SS_{MET} = 6.5$$

$$SS_E = 721.25$$

$$F_0 = 0.13$$

$$F_{0.01, 1, 14} = 8.86$$

$$F_0 < F_{0.01, 1, 14}$$

Esto implica que el método no afecta la dureza del material con una significación del 99%.

#### 5. Análisis Químico.

Con la finalidad de determinar posibles diferencias en la composición química, se realizó un análisis químico de las barras obtenidas por ambos métodos. Se sospechaba que el carbono desprendido al gasificarse el poliestireno pasara a formar parte de la pieza fundida, también se suponía la presencia de inclusiones provenientes de la escoria. Las muestras se obtuvieron taladrando 1/4 de pulgada las barras de aluminio, utilizando una broca de 1/32 pulgadas. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

<u>Elemento</u>	<u>Moldeo Completo Modif.</u>	<u>Método Convencional</u>
	%	%
Cu	3.4	3.4
Mn	0.3	0.3
Zn	3.4	3.4
Fe	0.89	0.89
Ni	0.5	0.45
Cr	0.06	0.59
Si	3.4	3.5
C	Trazas	Trazas

Los resultados nos permiten afirmar que no existen diferencias apreciables en la composición química de las muestras. Además se corroboró que el carbono producido en la gasificación del poliestireno no pasa a formar parte de la pieza, ya sea disuelto o como impurezas.

#### CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos de la aplicación del análisis estadístico a los ensayos de tracción y dureza podemos concluir que a través del método de Moldeo Completo Modificado se obtienen piezas de aluminio con las mismas propiedades mecánicas que las obtenidas por el método Convencional de Arena Verde. Esto pronostica una gran viabilidad para el método de Moldeo Completo Modificado.

Se comprobó que el método de Moldeo Completo Modificado trabaja ventajosamente sobre el método Convencional al tratar de obtener piezas fundidas de formas complejas.

Sin embargo, se hace necesario seguir experimentando con el método no solo por lo nuevo sino también por la ausencia de información sobre el mismo y por lo difícil que resulta obtener la ya existente.

REFERENCIAS

- [1] BARRON, J.H.: Modern Casting, 1965, 47 (5), 123.
- [2] BUTLER, R.D. : *"The Full Mould Casting Process"*. The British Foundryman, 1964, june. Pág. 265 - 272.
- [3] BUTLER, R.D. and POPE, R.J. : The British Foundryman , 1964 , April. 178.
- [4] CENDROS, J.: *"Estudio Experimental del Método de Moldeo Completo Modificado"*. L.U.Z., Maracaibo, 1980.
- [5] CENDROS, J., SOTO, R. y PORTILLO, C.: *"Aplicación del Método de Moldeo Completo Modificado para la Obtención de Piezas Fundidas de Formas Complejas"*. ASOVAC, 1980. Mérida, Venezuela.
- [6] Del MORAL, J., URDANETA, C. y CENDROS, J.: *"Estudio Experimental del Uso de las Arenas de los Médanos del Moján en el Método de Moldeo Completo Modificado"*. II Jornadas Científico-Técnicas de la Facultad de Ingeniería. L.U.Z., Maracaibo, Venezuela.
- [7] DIETER, H.B. and PAOLI, A.J.: *"Sand Without Binder for Making Full Mould Castings"*. The British Foundryman , Noviembre 1968. 413 - 427.
- [8] DUCA, A., FLEMINGS, M. and TAYLOR, H. : *"Art Casting"*. Modern Casting, 1963, 43. January. Pág.48 - 49.
- [9] SHROYER, H.F. : *"Cavityless Casting Mould and Method Making Same"*. U.S. Patent N°2,830,343. 1943.