

**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**Máster de Ciencia y Tecnología de Materiales**

---

**ENSAYOS DE COLABILIDAD DE ALEACIONES DE  
ALUMINIO MEDIANTE MOLDE EN ESPIRAL**

---

**Autor: Javier Ramil Menéndez**

**Tutor: Inés Fernández Pariente**

**Fecha de presentación: 23 Julio 2014**

# INDICE

<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>4</b>
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>5</b>
2.1. MODOS DE SOLIDIFICACION	6
2.2. EFECTO DE DIFERENTES PARAMETROS EN LA FLUIDEZ DE ALEACIONES DE ALUMINIO	7
2.2.1. EFECTO DE LA COMPOSICION QUIMICA	7
2.2.2. EFECTO DEL SOBRECALENTAMIENTO	11
2.2.3. EFECTO DEL AFINO DE GRANO	12
2.2.4. EFECTO DE MODIFICACION DE LA EUTECTICA	13
2.2.5. EFECTO DEL MOLDE (CANAL): MATERIAL, TAMAÑO DE GRANO, HUMEDAD Y TEMPERATURA	13
2.2.6. EFECTO DEL REVESTIMIENTO DEL CANAL (MOLDE)	15
2.2.7. EFECTO DE LA LIMPIEZA DE L ALEACION Y DE LA VISCOSIDAD	16
2.3. IMPORTANCIA DE LAS ALEACIONES AL-SI Y AL-MG-SI	16
2.4. TIPOS DE ENSAYOS DE COLABILIDAD	17
2.5. CALCULO DE LA COLABILIDAD MEDIANTE ENSAYO DE COLABILIDAD EN ESPIRAL	19
<b>3. DESARROLLO EXPERIMENTAL</b>	<b>21</b>
3.1. ELABORACION DEL MOLDE	21
3.2. CONDICIONES DE LOS ENSAYOS	23

<b>4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS</b>	<b>25</b>
<b>4.1. ENSAYOS CON LAS DIERENTES ALEACIONES</b>	<b>25</b>
<b>4.2. ENSAYOS CON DIFERENTES TEMPERATURAS</b>	<b>25</b>
<b>4.3. ENSAYOS CON DIFERENTES ADICIONES DE AFINANTE</b>	<b>26</b>
<b>4.4. ENSAYOS CON DIFERENTES ADICIONES DE SR (MODIFICADOR)</b>	<b>27</b>
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>28</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>29</b>

# 1. INTRODUCCION

Este trabajo Fin de Máster surge de la necesidad de ALEASTUR de encontrar las condiciones idóneas para colar un nuevo tipo de aleaciones mecánicas de aluminio, de los sistemas Al-Si y Al-Mg-Si. Estas aleaciones pertenecen a los grupos 4000 y 6000 de aleaciones de moldeo, respectivamente.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es desarrollar nuevos conocimientos sobre la influencia de la composición química, la pureza y los parámetros de proceso en la fluidez de estas aleaciones. Y para conseguir este objetivo, se ha adoptado el siguiente esquema:

- Resumen del estado actual de conocimiento sobre la fluidez de estas aleaciones, mediante el uso de de la bibliografía actual sobre el tema.
- Desarrollo de un equipo para realizar ensayos de colabilidad que asegure la repetitividad de los mismos: molde en espiral.
- Realización de ensayos de colabilidad valorando la influencia de diferentes parámetros metalúrgicos, tales como la composición química o la adición de afinantes de grano, y parámetros de proceso, tales como la temperatura de colada, el contenido en óxidos y las condiciones del canal de colada.

## 2. ESTADO DEL ARTE

En fundición, la colabilidad se define como la capacidad que tiene el metal o aleación líquida de llenar completamente un molde de dimensiones estandarizadas. Esta capacidad de los metales y sus aleaciones, de fluir libremente antes de solidificarse para producir fielmente los detalles del molde, es una de las etapas más críticas del proceso de fabricación de la pieza moldeada.

La colabilidad de las aleaciones es una medida de su habilidad para ser coladas mediante un determinado proceso y en una determinada forma (molde). La fluidez, que se define como la distancia que un metal fundido puede alcanzar en un molde de sección constante antes de solidificar, es el parámetro que limita la colabilidad de las aleaciones y por lo tanto, determina la posibilidad real de colar una determinada aleación con un determinado proceso y en un determinado formato (tipo de molde).

En la colabilidad de una aleación influyen tanto parámetros metalúrgicos, como la composición química o la adición de afinante; como parámetros de proceso, como la temperatura de colada o las características del canal/molde (material, temperatura, etc.). A continuación se dividen en las siguientes categorías:

- Variables de la aleación:
  - Composición química
  - Intervalo de solidificación
  - Viscosidad
  - Calor de fusión
- Variables del molde y de la interacción molde/metal:
  - Coeficiente de transferencia de calor (revestimiento)
  - Conductividad térmica del molde y la aleación
  - Densidad del molde y la aleación
  - Calor específico
  - Tensión superficial
- Variables del test:
  - Sección del canal
  - Temperatura de colada
  - Contenido en óxidos/impurezas

La fluidez puede ser controlada con una cuidadosa selección de la apropiada combinación de todas las variables, lo que no es fácil de conseguir debido a la gran cantidad de variables involucradas.

## 2.1. MODOS DE SOLIDIFICACION

La solidificación en el canal del ensayo de colabilidad es muy diferente para metales puros y aleaciones. Cuando un metal puro o una aleación de composición eutéctica entran en el canal, la solidificación comienza en las paredes del canal y continua con el crecimiento de granos con estructura columnar mientras el metal fluye a través de canal (Figura 1). El metal deja de fluir cuando estos granos se encuentran, es decir, impactan unos con otros impidiendo el paso del metal líquido (Figura 2).

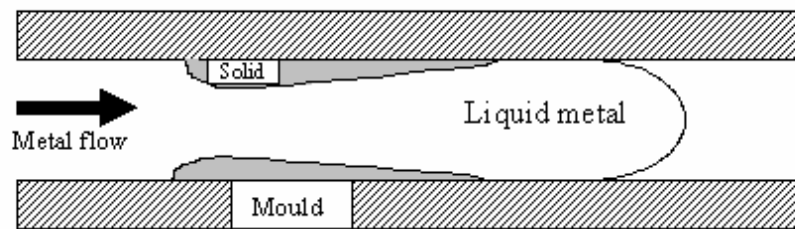


Figura 1

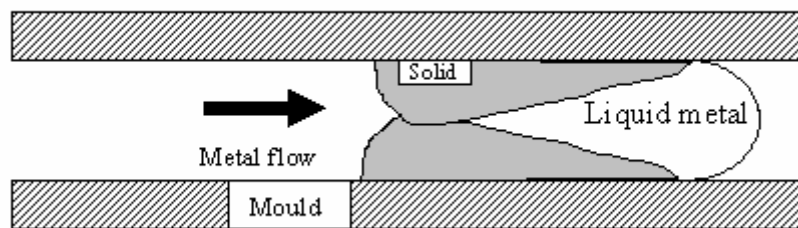


Figura 2

A diferencia de los metales puros y las aleaciones eutécticas, en el resto de aleaciones las estructuras columnares de solidificación se substituyen por granos dendríticos de forma equiaxica, estos granos circulan con el fluido hasta que su concentración es tan elevada que no permiten el avance del metal (Figura 3).

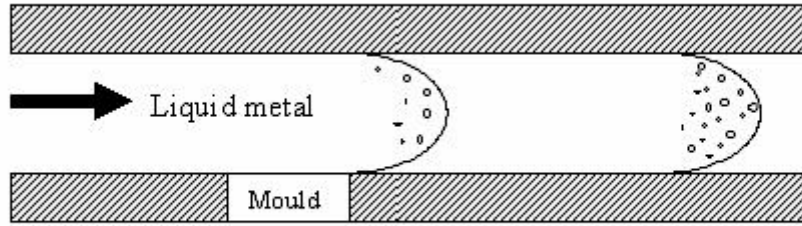


Figure 3

## 2.2. EFECTO DE DIFERENTES PARAMETROS EN LA FLUIDEZ DE ALEACIONES DE ALUMINIO

A continuación se detallan los resultados más importantes que aparecen en la bibliografía acerca de algunos parámetros que afectan a la fluidez.

### 2.2.1. EFECTO DE LA COMPOSICION QUIMICA

La composición química es uno de los factores que más afectan a la fluidez. Pequeñas adiciones de aleantes reducen la fluidez de los metales puros, por lo que la fluidez del aluminio sin alear disminuye cuando disminuye su pureza. La figura 4 muestra la influencia de la pureza del aluminio en ensayos de aluminio realizados mediante el test con molde en espiral. La fluidez se reduce un 25% cuando la pureza del aluminio desciende un 0.4% (Aluminio puro hasta aluminio 99.6%), y alrededor del 37% y el 40% cuando desciende un 0.8% y un 1.2%, (Aluminio 99.2% y aluminio 98.8%), respectivamente.

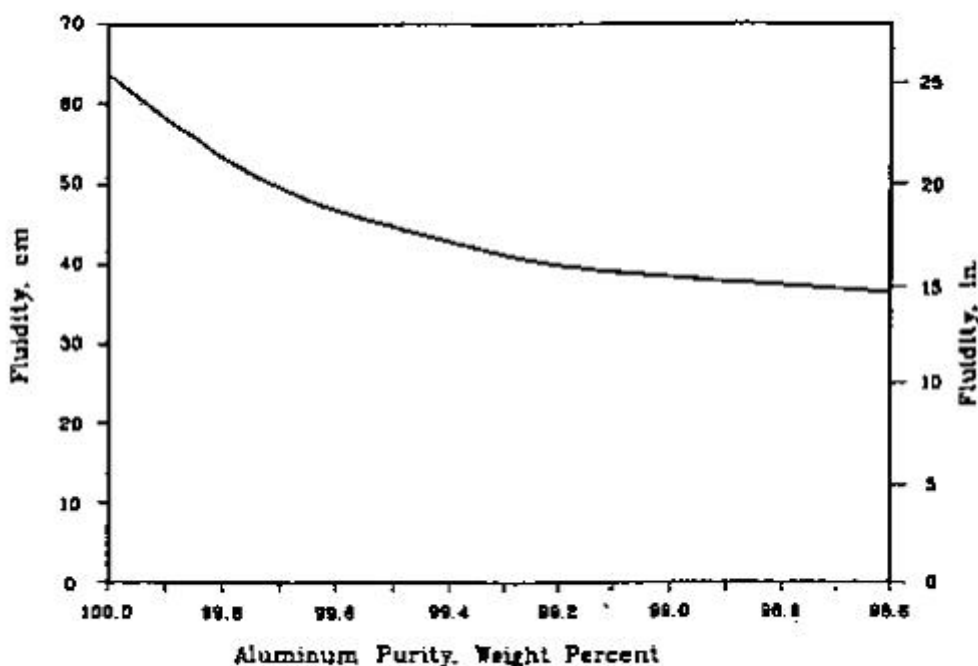


Figura 4. Influencia de la pureza del aluminio en la medida de la fluidez mediante test con molde en espiral

Los metales puros y las aleaciones eutécticas tienen la mayor fluidez. La fluidez del aluminio disminuye significativamente por la presencia de impurezas, mientras que la fluidez de las aleaciones aumenta a medida que se incrementa la fracción de eutéctica, presentando un marcado máximo local en la composición eutéctica. Esta relación entre la fluidez y la composición química ha sido estudiada para un amplio rango de sistemas de aleaciones, los cuales han mostrado resultados similares. Sin embargo, existe una excepción a esta relación entre composición química y fluidez: las aleaciones del sistema Al-Si.

La fluidez de las aleaciones Al-Si se incrementa con el aumento del contenido en Si hasta un máximo del 17-18 % en peso, muy por encima de la composición de la eutéctica (12% en peso de Si). El rol del silicio en la fluidez se muestra en la figura 5, manteniendo una temperatura de colada constante (800 °C). El incremento de silicio cambia la temperatura líquidus de la aleación, y de este modo, el sobrecalentamiento, lo que debe ser tenido en cuenta para interpretar el diagrama. Sin embargo, la fluidez de las aleaciones hipereutécticas Al-Si es mayor que la de las aleaciones hipoeutécticas, e incluso eutécticas. Esto es debido al elevado calor de fusión del silicio primario, que es 4.5 veces mayor que el del aluminio puro. A partir del máximo de fluidez, mayores adiciones de Si



reducen la fluidez debido al incremento de número de partículas de silicio proeutécticas. De este modo, la máxima fluidez será lograda a la composición de Si en la que el incremento de silicio proeutéctico sea compensado con el incremento del calor de fusión debido a la formación del silicio.

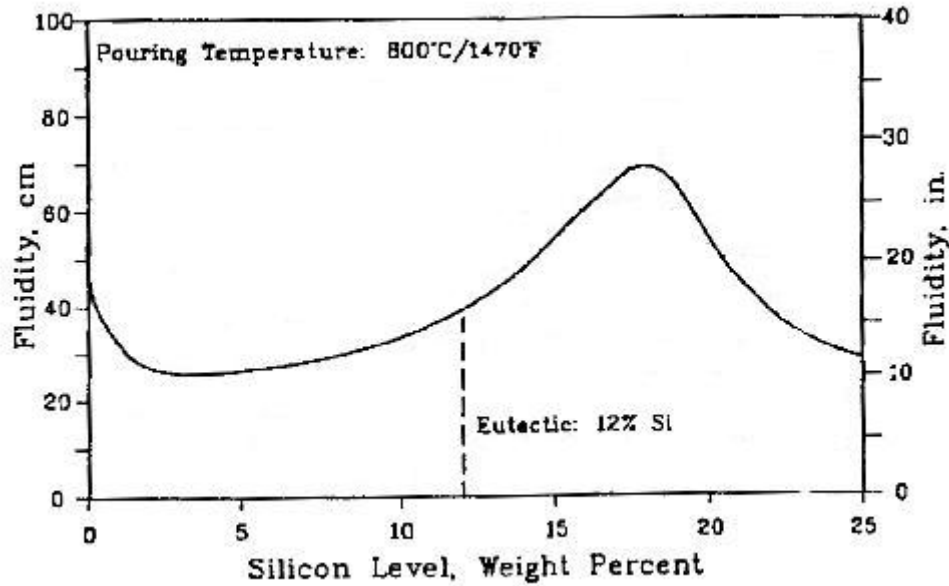


Figura 5. Relación entre la fluidez y % en peso de Si

En el sistema Al-Mg, el incremento de fluidez se produce previamente a la concentración máxima soluble de Mg en aluminio- $\alpha$ , lo cual puede ser debido a la segregación y a las propiedades físicas de las fases formadas. El pico de fluidez para el sistema Mg-Al se produce por encima de la composición eutéctica, como se puede ver observar en la figura 6. Como se puede observar en el diagrama un incremento del contenido en Mg entre 0 y 2% reduce la fluidez un 55%, mientras que el incremento de Mg entre 2 y 36% la incrementa en un 77% (la fluidez fue medida a una temperatura de colada constante de 800 °C).

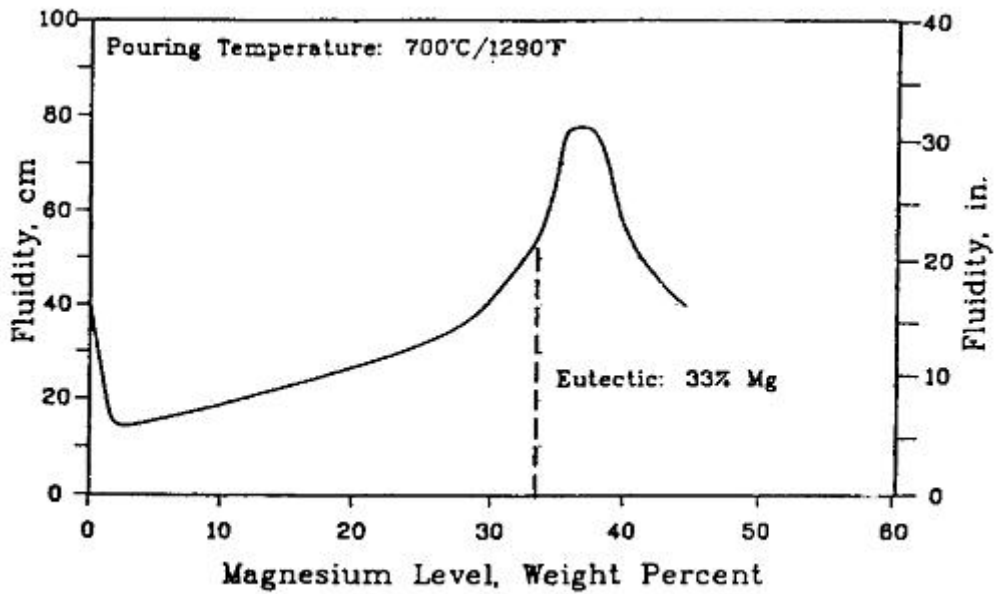


Figura 6. Relación entre la fluidez y % en peso de Mg

Estos sistemas de aleaciones (Al-Si, Al-Mg-Si) presentan, en algunas ocasiones, contenidos relativamente altos en Cu (2-5%), por lo que es interesante observar el comportamiento de la fluidez en el sistema Al-Cu. Este se puede observar en la figura 7, donde se representa un nuevo diagrama de la fluidez en función del contenido en Cu, con experimentos realizados siempre a una temperatura de colada constante (800 °C).

Como se puede ver, en este caso la máxima fluidez si coincide con la T<sup>a</sup> eutéctica.

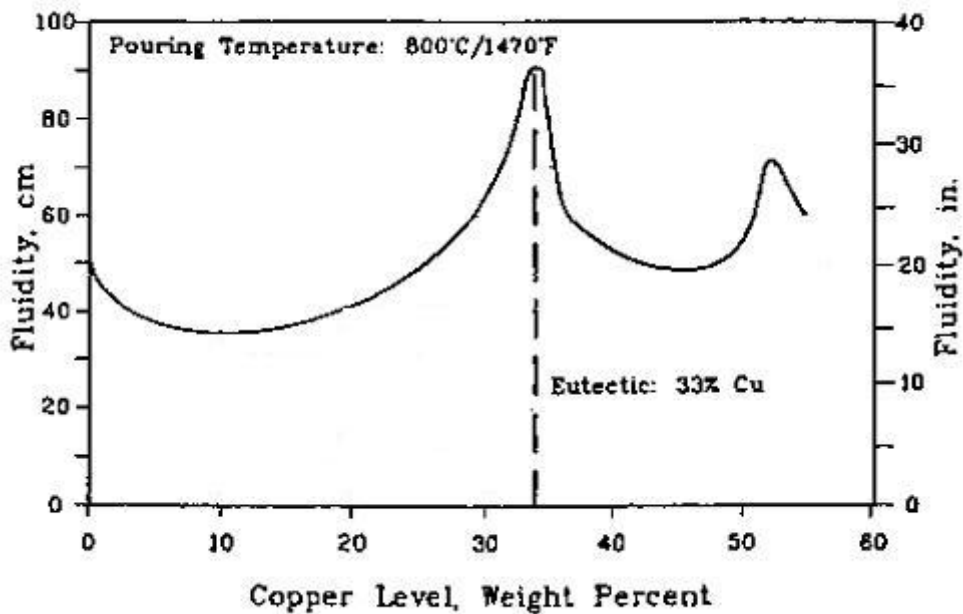


Figura 7. Relación entre la fluidez y % en peso en Cu

El incremento del contenido en otros elementos de aleación, como el Fe, Ti, Zr, Cr y Mn, en aleaciones de aluminio, disminuyen ligeramente la fluidez.

La composición química de las aleaciones influye en su intervalo de solidificación, es decir, la diferencia entre la temperatura líquidus y sólidus. Este intervalo juega un importante papel en la colabilidad de la aleación, ya que influye en el modo de solidificación, que afecta significativamente la fluidez de la aleación. De este modo, el intervalo de solidificación es inversamente proporcional a la fluidez, por lo que las aleaciones que solidifican en un amplio rango de temperaturas tienen menor fluidez que las que solidifican con un pequeño (o nulo) intervalo.

### 2.2.2. EFECTO DEL SOBRECALENTAMIENTO

El sobrecalentamiento es la diferencia entre la temperatura de colada y la temperatura líquidus, y es también un factor clave en la fluidez. La fluidez aumenta con el incremento del sobrecalentamiento para una aleación dada. En la figura 8 se puede ver el efecto de la temperatura de colada en la fluidez de diferentes aleaciones de Al-Si. Se puede observar que existe una relación lineal

entre el incremento de sobrecalentamiento (temperatura de colada) y el aumento de fluidez. Esto es debido a que el incremento del sobrecalentamiento retrasa la nucleación y crecimiento de los granos de sólido.

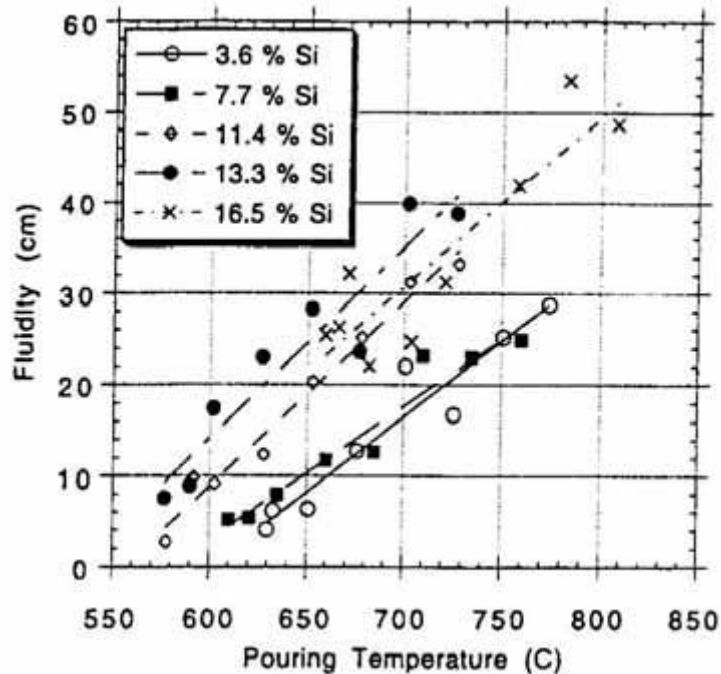


Figura 8. Relación entre temperatura de colada y fluidez

A partir de temperaturas de sobrecalentamientos demasiado elevados (alrededor de 100-150 °C), incrementos de sobrecalentamientos provocan descensos de la fluidez, probablemente debidos al incremento de la turbulencias.

### 2.2.3. EFECTO DEL AFINO DE GRANO

Una gran cantidad de estudios se han realizado sobre el efecto del afino de grano en la fluidez de las aleaciones de aluminio, los cuales han mostrado resultados contradictorios. En el caso de las aleaciones de Al-Si se ha observado una compleja variación de la fluidez con sucesivas adiciones de Al-5%T-1%B: la fluidez disminuye con adiciones de afinante por debajo del 0.12% Ti (disminuye un 5%) y aumenta con adiciones por encima del 0.12% (aumenta un 9%). Aleaciones de Al-Si a las que se adiciona aleaciones Al-B muestran una mayor fluidez.

El efecto del afino de grano en la fluidez de las aleaciones de Al-Si es una cuestión compleja, que envuelve complejos mecanismos. El efecto del afino de grano en la fluidez depende de muchos factores: composición química, modo de solidificación, tipo y cantidad de afinante de grano, holding y temperatura en el horno, etc.

#### **2.2.4. EFECTO DE MODIFICACION DE LA EUTECTICA**

La modificación de las aleaciones Al-Si es una práctica industrial común. La adición de modificadores como el Sr y el Na, producen cambios en la estructura eutéctica. Esta pasa de una estructura laminar a una fibrosa, lo cual mejor la ductilidad de la aleación. El inconveniente es que aumenta la porosidad.

A su vez, parece que el uso de estos modificadores disminuye ligeramente la fluidez de las aleaciones, siendo mayor este descenso en el caso del uso de Na.

#### **2.2.5. EFECTO DEL MOLDE (CANAL): MATERIAL, TAMAÑO DE GRANO, HUMEDAD Y TEMPERATURA**

El efecto del material del molde es otro factor extensamente estudiado, ya que afecta significativamente a la fluidez. Por ejemplo, la fluidez disminuye entre un 20 y un 27% en moldes de arena verde respecto a moldes de arena; y entre un 22 y un 55% entre moldes de circonita y moldes de arena verde. Una comparación entre moldes de sílice y de circonita se puede observar en la figura 9.

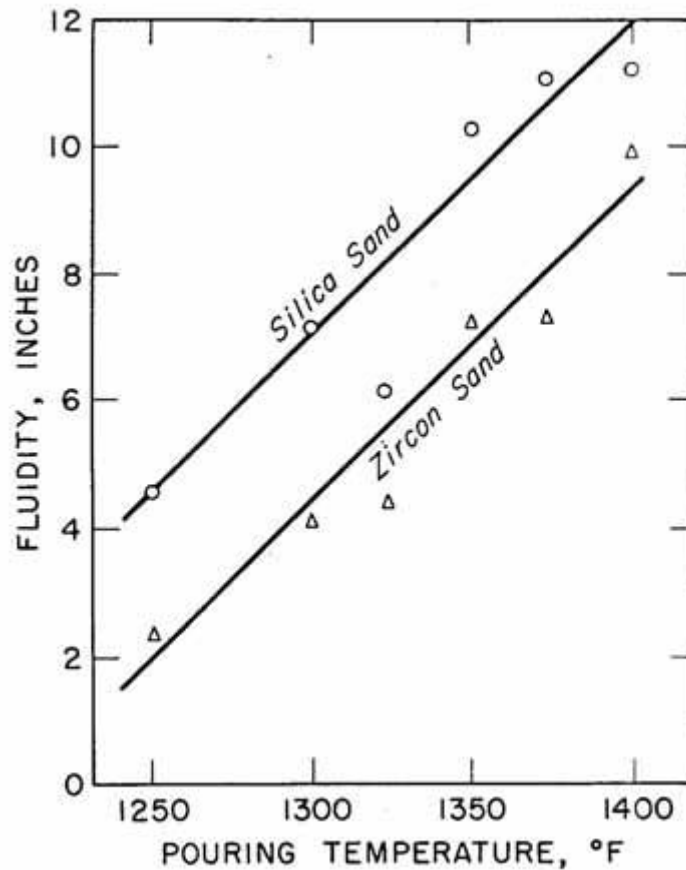


Figura 9. Comparación del efecto de la sílice y la circonita en la fluidez

La fluidez de las coladas en sílice es mayor debido a la mayor difusividad térmica de la circonita. Esto significa que la pérdida de calor a través del molde es menor, lo que favorece una mayor fluidez de la aleación.

Por otra parte, dos moldes de sílice con diferentes tamaños de grano, uno grosero (30 AFS) y otro fino (140 AFS), presentan diferentes resultados de fluidez de las aleaciones coladas en ellos, como se puede ver en la figura 10. Siendo estos mayores en los moldes de grano grueso, debido a que la difusividad térmica es mayor en el grano fino.

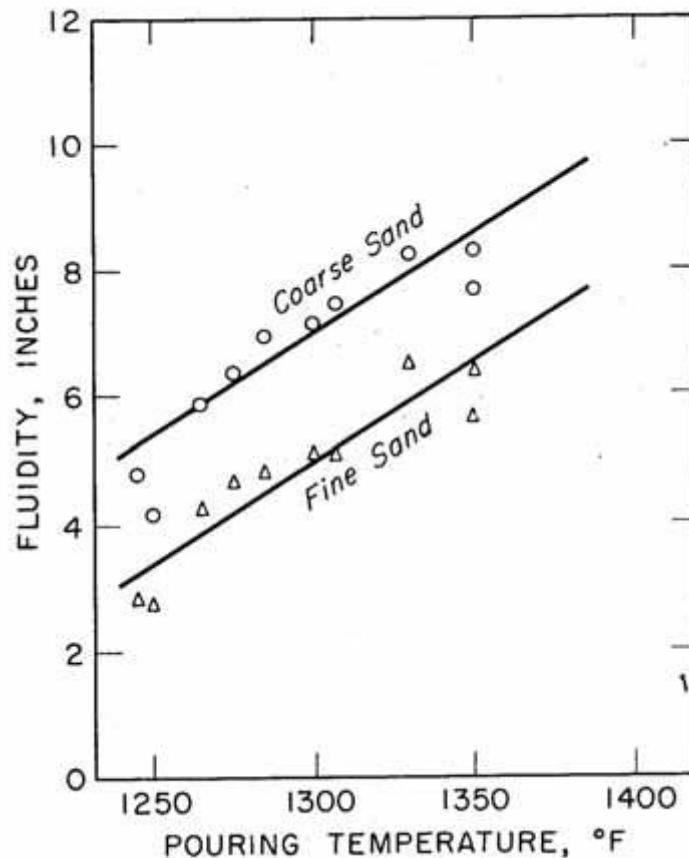


Figura 10. Comparación del efecto de moldes de sílice de tamaño de grano grueso (30 AFS) y fino (140 AFN) en la fluidez

En cuanto a la humedad del molde, no parece haber una significativa variación de la fluidez con el grado de humedad.

La temperatura del canal (molde) tiene una gran influencia sobre la fluidez de la aleación. Cuanto mayor sea la temperatura del canal, y por tanto, menor la diferencia de temperatura entre la aleación y el molde, mayor será la fluidez, ya que disminuirá la pérdida de calor del metal.

### 2.2.6. EFECTO DEL REVESTIMIENTO DEL CANAL (MOLDE)

El pintado de los canales y moldes es una práctica muy útil para aumentar su vida y la facilidad del desmoldeo. Y también juega un importante rol en el aumento de

la fluidez, ya que reduce el coeficiente de transferencia de calor entre la colada y el canal (molde).

Por otra parte, debe asegurarse que el revestimiento no tiene ninguna influencia en fenómenos superficiales, como la tensión superficial o la generación de capas de óxidos.

### **2.2.7. EFECTO DE LA LIMPIEZA DE LA ALEACION Y DE LA VISCOSIDAD**

Existe una gran influencia de la limpieza de la aleación en la fluidez. La limpieza está relacionada, principalmente, con la ausencia de. La fluidez mejora en gran medida con la ausencia de óxidos. Se han realizado pruebas llevando a cabo la limpieza de la aleación con gases inertes y halógenos (mediante inyección), que demuestran una amplia mejora de la fluidez; sobre todo con el uso de gases halógenos o mezclas. Los resultados también muestran que en las coladas al aire la cantidad de óxidos es mayor por lo que la fluidez disminuye. La presencia de estas inclusiones disminuye la fracción de sólido necesaria para parar la aleación (la fracción dependerá de la cantidad de óxidos), lo que provoca el descenso de la colabilidad.

La viscosidad de los metales fundidos es bastante baja. Estudios han mostrado que cambios en la viscosidad por la variación de temperatura y/o de composición química no tienen significativos efectos en la variación de fluidez.

### **2.3. IMPORTANCIA DE LAS ALEACIONES AL-SI Y AL-MG-SI**

En este trabajo, los ensayos han sido realizados usando aleaciones Al-Si y Al-Mg-Si. Ambos sistemas presentan una gran importancia comercial, presentando aplicaciones en las industrias de automoción y aeroespacial.

En el caso del sistema Al-Si, las aleaciones con un uso más extendido son las aleaciones Al-Si hipoeutécticas, que se emplean para componentes de automoción, como ruedas, suspensiones o partes del motor. Los procesos de



colada utilizados para su obtención, son el colado en moldes de arena y el colado por llenado de molde a alta presión. Sin embargo, uno de los principales inconvenientes de estos métodos respecto a los métodos de forja y extrusión, es el peligro de la porosidad.

Las aleaciones Al-Si son tan populares gracias a su gran colabilidad. El aumento de la concentración de Si incrementa el calor latente de fusión de la aleación y, de este modo, el tiempo de solidificación. El Si también reduce la contracción durante la solidificación debido a este aumento del tiempo. Es más, aleaciones de Al-Si (Si entre 7-12%) no son susceptibles de sufrir agrietamiento en caliente debido a su pequeño intervalo de solidificación y a la elevada concentración de fase eutéctica. El inconveniente de la adición de Si es que forma una fase sólida frágil, que reduce la ductilidad de la aleación.

Las aleaciones Al-Mg-Si son de gran interés porque presentan una alta Resistencia mecánica sin la necesidad de someterlas a tratamientos térmicos posteriores. El Mg incrementa la resistencia mecánica de la aleación a través del mecanismo de endurecimiento por precipitación. Además, la adición de Mg a las aleaciones, incrementa la ductilidad y la resistencia a la corrosión.

El cobre, hierro, manganeso, titanio, sodio y estroncio son otros importantes elementos en las aleaciones Al-Si y Al-Mg-Si. El cobre es añadido para aumentar la resistencia mecánica. El hierro es considerado una impureza. El manganeso se emplea para combinarse con el aluminio, hierro y silicio en fases menos perjudiciales, para las propiedades mecánicas, que las pertenecientes al sistema ternario Al-Si-Fe. El Titanio actúa como afinante de grano, mejorando la colabilidad y las propiedades mecánicas. Sodio y estroncio se añaden para modificar la morfología de la eutéctica Al-Si, aumentando su ductilidad.

## **2.4. TIPOS DE ENSAYOS DE COLABILIDAD**

La gran mayoría de los métodos de medida de colabilidad conocidos presentan un defecto común, es que los resultados obtenidos son de naturaleza empírica y comparativa. La representación cuantitativa de la colabilidad por medio de una escala de longitud, es válida únicamente si las condiciones del ensayo permanecen invariables. Como esto es muy difícil de realizar en la práctica, se presenta una gran dispersión en los resultados. Esta manera poco representativa de definir la colabilidad indujo a investigadores como Malesevicy Olivier, a

diseñar métodos que permitieran caracterizar la colabilidad de una manera absoluta. Es decir, representado por ejemplo, en la capacidad del metal en estado líquido de utilizar la energía disponible del sistema; o en el área alimentada de una serie de segmentos rectilíneos de secciones diferentes. Esto permite definir la colabilidad mediante un índice numérico, sin dimensiones, lo cual es a todas luces más representativo.

Desde los trabajos de West (1902) y Cury (1924), hasta los de Malesevic y Olivier ya referenciados, se puede indicar que los métodos seguidos en las investigaciones para medir la colabilidad se reducen a:

- Colada del metal en una probeta recta bajo presión metalostática.
- Colada del metal en una probeta en espiral, también bajo presión metalostática.
- Colada del metal bajo presión metalostática en un recipiente en forma de U.
- Ensayo al vacío en el cual el metal es aspirado en un canal de vidrio horizontal recto de sección redonda.
- Ensayo al vacío en el cual el metal es aspirado en un tubo de vidrio vertical de sección circular.
- Colada del metal bajo presión metalostática en una probeta constituida por una serie de segmentos rectos de secciones cuadradas, dispuestos en forma de parrilla (probeta de Olivier).

Muy pronto se constató, que el método de la colada del metal en una probeta recta y bajo presión metalostática, no convenía por su excesiva longitud. La probeta en espiral, llamada por algunos, probeta de *Cury*, es de uso frecuente en las fundiciones. Existen varias versiones estandarizadas de esta probeta, siendo la más conocida la realizada por Taylor. Esta fue la probeta utilizada para realizar los ensayos de colabilidad en la empresa ALEASTUR.

La fluidez de la fundición se determina con mayor frecuencia por la prueba de la espiral, con sección trapezoidal con un área de  $0,56 \text{ cm}^2$ . Después se mide la longitud de la parte llenada de la espiral, que caracteriza la fluidez. En la figura 11 se muestra el dibujo de la espiral utilizada en los ensayos.

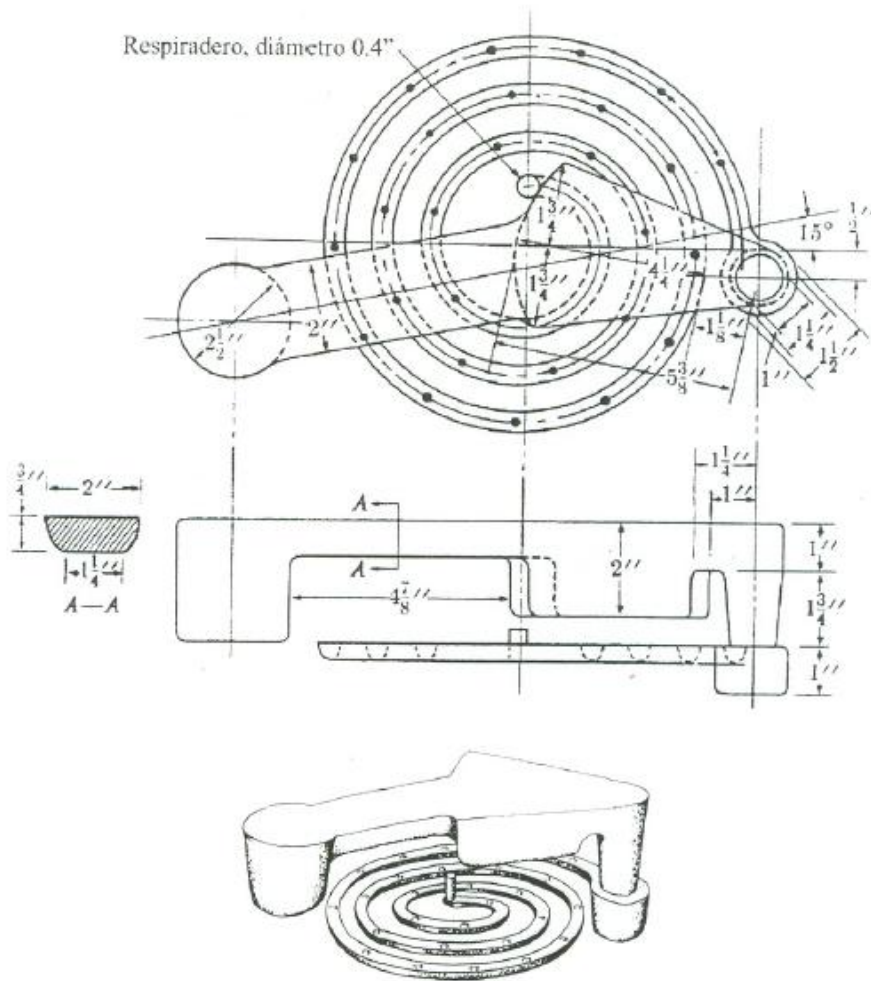


Figura 11. Espiral utilizada en los ensayos de colabilidad

## 2.5. CALCULO DE LA COLABILIDAD MEDIANTE ENSAYO DE COLABILIDAD EN ESPIRAL

La mayor longitud alcanzada por el líquido es indicativa de la colabilidad.

La longitud,  $L$ , es proporcional al tiempo de enfriamiento del líquido en el molde,  $t$ , y a la velocidad de entrada,  $v$ .

$$L=t*v$$

El tiempo de enfriamiento,  $t$ , desde la temperatura del metal líquido,  $T_l$ , hasta la temperatura del molde,  $T_m$ , para un molde de coeficiente de transmisión de calor,  $K_m$ , viene definido por:

$$t = \frac{\rho * C_q * V_m}{K_m * (T_l - T_o) * S_m}$$

Siendo

- $\rho$  y  $C_q$  la densidad y calor latente de la aleación, respectivamente.
- $V_m/S_m$  la relación entre el volumen del canal,  $V_m$ , y su superficie,  $S_m$ .

La longitud que indica la colabilidad,  $L$ , es:

$$L = \frac{\rho * C_q * V_m * v}{K_m * (T_l - T_o) * S_m}$$

La colabilidad es creciente con la densidad,  $\rho$ , y calor latente,  $C_q$ , del líquido, velocidad de entrada,  $v$ , y decreciente con la conductividad del molde,  $K_m$ , y la diferencia de temperatura entre el líquido,  $T_l$ , y el molde,  $T_o$ .

### 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

#### 3.1. ELABORACION DEL MOLDE

Para elaborar el molde de la probeta en espiral, se procede a preparar la arena de moldeo en el molino mezclador, Figura 12. Esta arena de moldeo es una mezcla de arena sílice, una resina y un catalizador. El proceso de preparación de la arena de moldeo se inicia con la mezcla de arena sílice con la resina, utilizando el molino. Al transcurrir 4 minutos aproximadamente, la mezcla toma un color rosado pálido y en ese momento se agrega al molino el catalizador, dejándolo por 2 minutos hasta que la mezcla tomó un color verde claro. Las proporciones de arena sílice, resina y catalizador se muestran en la Tabla 1.



Figura 12. Molino mezclador

<b>Materia Prima</b>	<b>Cantidad (%)</b>
Arena Sílice	97.5
Resina fenólica	2
Catalizador	0.5

Tabla 1. Proporciones de la mezcla par el molde

Posteriormente se vacía la arena de moldeo en una placa modelo con la forma de la espiral (Figura 13.a), luego se compacta hasta llenar completamente la placa con la caja. Luego de secarse la arena se procede a retirar la placa modelo para obtener lo que se denomina la parte inferior del molde (Figura 13.b). El tiempo de secado de la arena es de 30 minutos aproximadamente.

Al secarse completamente la parte inferior del molde, se llena con arena sílice la cavidad del mismo que contiene la forma de espiral, para proceder a colocar el bacín, que es un implemento con el que se obtiene la entrada de metal en el molde y luego se procede a vaciar la arena de moldeo para obtener la parte superior del molde.

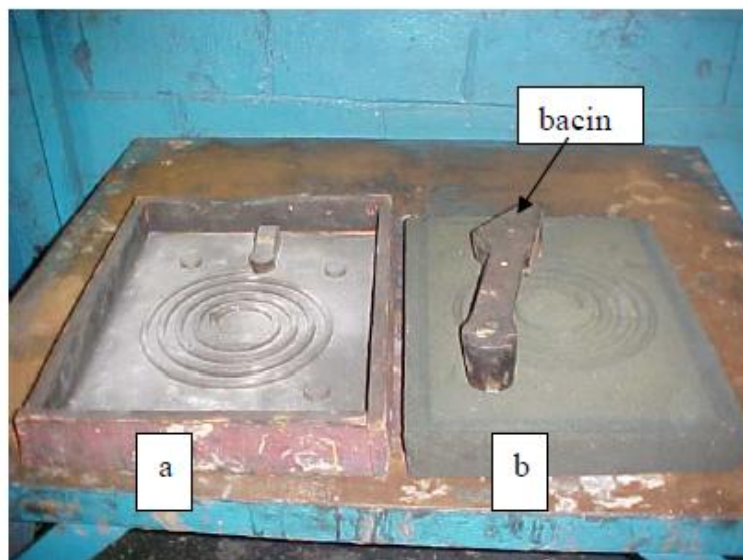


Figura 13. (a) Placa modelo con la forma de la espiral (b) parte inferior del molde

Una vez seca la parte superior del molde, se procede a retirar el bacín quedando así la entrada de metal, para posteriormente separar ambas partes (superior e inferior), para luego retirar la arena contenida en la cavidad, para que así pueda fluir el metal en dicha cavidad que es la que dará la espiral. Previamente debe estar preparado un termopar con el fin de colocarlo en la parte inferior del molde y obtener la curva de enfriamiento del metal durante la colada en el molde (Figura 14).



Figura 14. Parte inferior del molde con termopar

Luego se arman ambas partes del molde y se coloca un sellador entre ambas, para así asegurarse la completa unión del molde, de manera de evitar la infiltración del metal.

### **3.2. CONDICIONES DE LOS ENSAYOS**

Las condiciones del molde durante los ensayos de colabilidad fueron las siguientes:

- $T^a$  de precalentamiento = 300 °C
- Cantidad de líquido de llenado = 500 gr.
- Revestido con Nitruro de Boro

Los ensayos se realizaron con cuatro tipos de aleaciones, cuyas composiciones químicas se muestran en la Tabla 2.

<b>Aleación</b>	<b>%Si</b>	<b>%Mg</b>	<b>%Cu</b>
ALE1	7	0.55	0.04
ALE2	10	0.20	0.04
ALE3	5	0.25	3.2
ALE4	0.6	1	0.27

Tabla 2. Composiciones químicas de las aleaciones

Los ensayos se dividen en cuatro grupos:

- Ensayos de las diferentes aleaciones a temperatura constante (750 °C).
- Ensayos con cada aleación a diferentes temperaturas: 700 °C, 725 °C, 750 °C y 800 °C.
- Ensayos con cada aleación con diferentes adiciones de afinante: sin afinante, 0.05%, 0.1%, 0.15% y 0.2%.
- Ensayos con diferentes adiciones de Sr (modificador de la eutéctica): sin Sr, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm y 100 ppm.

Los resultados se exponen en las tablas 3, 4, 5 y 6 del siguiente apartado.



## 4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

### 4.1. ENSAYOS CON LAS DIERENTES ALEACIONES

Aleación	Nº Ensayos	Temperatura (°C)	Afinante (%)	Sr (ppm)	Colabilidad (cm)
ALE 1	5	750 °C	0	0	35
ALE 2	5	750 °C	0	0	42
ALE 3	5	750 °C	0	0	20
ALE 4	5	750 °C	0	0	16

Tabla 3. Ensayos con las diferentes aleaciones a T<sup>a</sup> constante

### 4.2. ENSAYOS CON DIFERENTES TEMPERATURAS

Aleación	Nº Ensayos	Temperatura (°C)	Afinante (%)	Sr (ppm)	Colabilidad (cm)
ALE 1	5	700	0	0	30
		725	0	0	32
		750	0	0	35
		800	0	0	28
ALE 2	5	700	0	0	36
		725	0	0	39
		750	0	0	42
		800	0	0	32
ALE 3	5	700	0	0	17
		725	0	0	18
		750	0	0	20
		800	0	0	15
ALE 4	5	700	0	0	13
		725	0	0	15
		750	0	0	16
		800	0	0	10

Tabla 4. Ensayos con diferentes temperaturas

### 4.3. ENSAYOS CON DIFERENTES ADICIONES DE AFINANTE

Aleación	Nº Ensayos	Temperatura (°C)	Afinante (%)	Sr (ppm)	Colabilidad (cm)
ALE 1	5	750	sin afinante	0	35
		750	0.05	0	35
		750	0.1	0	35
		750	0.15	0	35.5
		750	0.2	0	36
ALE 2	5	750	sin afinante	0	42
		750	0.05	0	42
		750	0.1	0	42
		750	0.15	0	42.5
		750	0.2	0	44
ALE 3	5	750	sin afinante	0	20
		750	0.05	0	20.5
		750	0.1	0	20
		750	0.15	0	20
		750	0.2	0	22
ALE 4	5	750	sin afinante	0	16
		750	0.05	0	16
		750	0.1	0	17
		750	0.15	0	16.5
		750	0.2	0	19

Tabla 5. Ensayos con diferentes adiciones de afinante

#### 4.4. ENSAYOS CON DIFERENTES ADICIONES DE SR (MODIFICADOR)

Aleación	Nº Ensayos	Temperatura (°C)	Afinante (%)	Sr (ppm)	Colabilidad (cm)
ALE 1	5	750	0	sin Sr	35
		750	0	25	35
		750	0	50	35
		750	0	75	35
		750	0	100	35
ALE 2	5	750	0	sin Sr	42
		750	0	25	42
		750	0	50	42
		750	0	75	42
		750	0	100	42
ALE 3	5	750	0	sin Sr	20
		750	0	25	20
		750	0	50	20
		750	0	75	20
		750	0	100	20
ALE 4	5	750	0	sin Sr	16
		750	0	25	16
		750	0	50	16
		750	0	75	16
		750	0	100	16

Tabla 6. Ensayos con diferentes adiciones de Sr

## 5. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas fueron las siguientes:

- La colabilidad de las aleaciones con mayor contenido en Si es mayor, mientras que los contenidos en Cu y Mg parecen disminuir la colabilidad.
- El aumento de temperatura favorece la colabilidad hasta un límite, a partir del cual el exceso de oxidación del metal provoca un descenso de la colabilidad.
- El uso de de afinantes de grano parece mejorar, muy levemente, la colabilidad de la aleación.
- La adicción de Sr, como modificador de la eutéctica, no parece presentar influencia en la colabilidad.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

La bibliografía no se menciona porque está sometida a la vigilancia tecnológica de la compañía.