

Proyecto

Estudio de la interacción entre la refinación de grano, modificación y temperatura de colada sobre los parámetros de solidificación y propiedades mecánicas de la aleación A356.

Responsable: M. en I. Agustín Gerardo Ruiz Tamayo, Área de Fundición y Materiales, Departamento de Ingeniería Metalúrgica.

Introducción.

interacción entre la refinación de grano, la modificación y la temperatura de colada sobre los parámetros de solidificación de la aleación A356

Las aleaciones de aluminio-silicio (Al-Si) constituyen una clase importante de aleaciones utilizadas en las fundiciones de aluminio, en gran parte debido a sus excelentes características de fundición. Las propiedades exhibidas por estas aleaciones las hacen populares para las diversas aplicaciones requeridas por campos tales como: las industrias automotrices, aeroespacial y de defensa. Con la adición de ciertos elementos a las aleaciones de Al-Si, se puede obtener una amplia gama de propiedades físicas y mecánicas, que incluyen alta resistencia a la corrosión, buena capacidad de carga, baja contracción, baja expansión térmica y altas propiedades de tracción.

Con respecto a la refinación de grano en aleaciones hipoeutécticas de Al-Si, se toma como una cuestión de rutina que la fase α -Al se refina mediante la adición de un refinador de grano. Los beneficios de tener una estructura de granos equiaxial incluyen una alta resistencia a la fluencia, mayores valores de dureza y una maquinabilidad mejorada.

En la aleación A 356, las adiciones individuales del refinador de grano elevan la temperatura de nucleación de la fase α -Al primaria de 4-5°C, mientras que las adiciones únicamente del modificador con estroncio, disminuirán la temperatura eutéctica en casi un máximo de 7-8°C., es decir, si ambos tratamientos al metal líquido funcionan de la misma manera cuando se combinan, el rango de solidificación, o la diferencia de temperatura desde la temperatura de nucleación de α -Al a la temperatura eutéctica, debería aumentar en 11-13°C.

La cantidad de refinador de grano, generalmente se incorpora en forma de aleaciones maestras que contienen partículas nucleantes que promueven la formación de una estructura equiaxial fina mediante la supresión del crecimiento de granos columnares.

Algunos de los factores que influyen en los tratamientos de modificación y refinación son:

- Tipo de aleación maestra.
- Cantidad de modificador y refinador.
- Velocidad de enfriamiento.
- Tiempo de permanencia (fading), para el caso del refinador.
- Temperatura.

Algunos de los principales beneficios de la refinación de grano en aleaciones de aluminio son:

- Mejor distribución de la porosidad.
- Buen acabado superficial.
- Fluidez.
- Alimentación (Feeding).
- Maquinabilidad.

Para el presente trabajo se evaluará el efecto de la cantidad de refinador y modificador empleando una aleación maestra de Al-5Ti-1B y Al-10Sr, respectivamente, así como la temperatura de colada sobre las curvas de enfriamiento, tamaño de grano, morfología del silicio y en consecuencia sobre las propiedades mecánicas.

Hipótesis.

- I. A medida que se incrementa el nivel de refinación el tamaño de grano será menor.
- II. A medida que se incrementa el nivel de modificador, la morfología del silicio se verá modificado.
- III. Con respecto a las curvas de enfriamiento, un menor subenfriamiento (ΔT) significa un mayor efecto del refinador y por ende se obtendrá un menor tamaño de grano.

Objetivos.

- 1) Estudiar y evaluar el efecto del refinador Al-5Ti-1B, modificador Al-10Sr y temperatura de colada, sobre la determinación de los parámetros de solidificación primaria y eutéctica de la curva de enfriamiento.
- 2) Evaluar el tamaño de grano y morfología del silicio que se presenta en las piezas para las condiciones experimentales propuestas de niveles de refinación, modificación y temperaturas de colada.
- 3) Evaluar la dureza Brinell de las piezas obtenidas para cada una de las condiciones del tratamiento de refinación, modificación y temperaturas de colada.
- 4) Evaluar la resistencia a la tensión de las probetas obtenidas para cada una de las condiciones del tratamiento de refinación, modificación y temperaturas de colada.
- 5) Identificar las variables significativas aplicando un diseño de experimentos DOE.

Metas.

- Identificar el efecto que representan los tratamientos al metal líquido sobre las curvas de enfriamiento aplicando la técnica de análisis térmico.
- Mediante el diseño de experimentos DOE, identificar la variable o variables que tengan un mayor efecto sobre las propiedades mecánicas.

Metodología.

A continuación, se describe de manera general el procedimiento experimental:

- 1) Pruebas de moldeo: En la **Figura 1** se muestra la placa modelo junto la caja de moldeo de las probetas de tensión.



Figura 1. Placa modelo de set de probetas de Tensión.

- 2) Fusión para homogenizar la composición química (Horno de gas).
- 3) Fusión de la aleación con los niveles de modificación y refinación propuestos aplicando la técnica de análisis térmico. El orden de los tratamientos al metal líquido será el siguiente:
 - I. Modificación.
 - II. Refinación.
 - III. Desgasificación.
- 4) Determinación de los parámetros de solidificación primaria y eutéctica de la curva de enfriamiento. Se instrumentará una probeta de tensión con termopares, como se ilustra en la **Figura 2**.

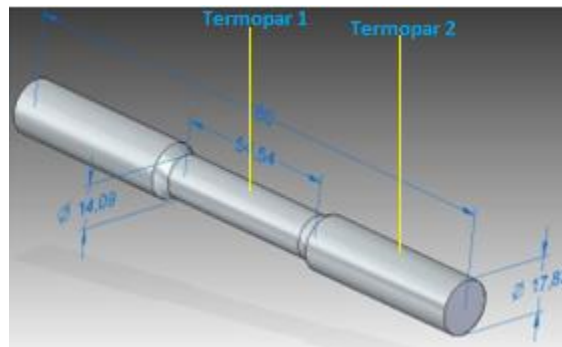


Figura 2. Instrumentación de la probeta de tensión para la realización del análisis térmico.

- 5) Caracterización metalográfica: Macro y microestructural.
- 6) Ensayo de Tensión.
- 7) Ensayo de dureza Brinell.
- 8) Análisis de las variables establecidas de acuerdo al diseño de experimentos de la **Tabla 1**. Construir la Tabla ANOVA y el respectivo Pareto.

- **Para la realización de los experimentos se considerará lo siguiente:**

a) Variables fijas:

- Composición química (Aleación A 356).
- Temperatura de trabajo: 780 - 820 °C.
- Tiempo de desgasificación: 5 min.
- Pieza a fabricar: Probetas de tensión.
- Condiciones de la mezcla de moldeo:
 - Arena sílice (No. AFS: 90-100).
 - % Bentonita activa: 8, empleando una proporción 80 B. Ca: 20 B. Na.
 - % humedad: 3.0.

b) Las variables que no estarán fijas son:

- Nivel de modificación: 0.01 y 0.02% Sr
- Nivel de refinación: 0.05% y 0.20% Ti-B.
- Temperatura de colada: 750 y 800 °C.

De acuerdo a las consideraciones anteriores, el diseño de experimentos es de tipo factorial 2^k y se presenta en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Factores bajo estudio a 2 niveles.

Factores	Nivel bajo	Nivel alto
(A) Modificación	-	+
(B) Refinación	-	+
(C) Temperatura de colada	-	+

En la **Tabla 2** se muestra la matriz del diseño de experimentos 2^3 .

Tabla 2. Matriz del diseño de experimentos.

Prueba	Notación de Yates	A	B	C
1	(1)	-	-	-
2	a	+	-	-
3	b	-	+	-
4	ab	+	+	-
5	c	-	-	+
6	ac	+	-	+
7	bc	-	+	+
8	abc	+	+	+

Los experimentos se realizarán por duplicado.

Los resultados de los experimentos se reportarán de acuerdo al formato que se presenta en la **Tabla 3**, la cual está elaborada para los resultados que serán el marco de referencia (Sin tratamientos al metal líquido). **Es importante mencionar que esta primera prueba como es de referencia, no se considera dentro del diseño de experimentos.** Con el

mismo formato presentado en la **Tabla 3**, se elaborarán las tablas de resultados del diseño de experimentos.

Tabla 3. Tabla de resultados. (S/R: sin refinación, S/M: sin modificación).

# Prueba	Temperatura de colada (°C)	Subenfriamiento (°C)	Temperatura eutéctica (°C)	Caracterización macroestructural al (Tamaño de grano, mm)	Caracterización microestructural	Dureza Brinell	Resistencia a la tensión
A 356	750						
(sin tratamientos al metal líquido)							
A 356	750						
(sin tratamientos al metal líquido) (REPLICA)							
A 356	800						
(sin tratamientos al metal líquido)							
A 356	800						
(sin tratamientos al metal líquido) (REPLICA)							

Infraestructura. Para este proyecto se cuenta con:

- Aluminio A 356 (una parte será donación y la otra parte se comprará).
- Horno de crisol de resistencias.
- Aleación maestra Al-10Sr (donación de Possehl).
- Aleación maestra Al-5Ti-1B (donación de Possehl).
- Crisol de SiC.
- Horno de resistencia eléctrica.
- Multímetro. (Personal)
- Termopar tipo K (Enchafetado).
- Alambre de termopar tipo K, calibre 24, bifilares y conectores. (Financiado por el Profesor Responsable del proyecto).
- Pintura refractaria (Donación de INAFUSA).
- Adquisidor de datos (Se solicitará al DIM).
- Lanza para desgasificación (se cuenta con una lanza).
- Lap Top (Personal).
- Durómetro Brinell (Se solicitará el permiso al Mtro. Gerardo Aramburo para realizar el ensayo).
- Máquina TMS (Se pedirá el apoyo al Mtro. José Guadalupe Ramírez Vieyra para la realización del ensayo de tensión).

Cronograma de actividades.

Actividad	Semana
1. Revisión de Fundamentos teóricos y bibliografía.	1, 2
2. Acondicionamiento de la mezcla (determinación del punto temper). Preparación de termopares. • Revisión en el avance del marco teórico (semana 4).	3, 4
3. Adquisición de las curvas de enfriamiento para la aleación A 356 sin tratamientos al metal líquido.	5
4. Adquisición de las curvas de enfriamiento para la aleación A 356 con tratamientos al metal líquido.	6, 7, 8 y 9

<ul style="list-style-type: none"> • Revisión en el avance del desarrollo experimental y análisis de las curvas de enfriamiento (semana 9). 	
5. Pruebas de tensión y dureza (HB).	10, 11, 12
6. Análisis de resultados. <ul style="list-style-type: none"> • Revisión en el avance de los resultados del ensayo de tensión y dureza (semana 12). • Revisión en el avance de la caracterización micro y macroestructural (Semana 13). 	12,13
7. Escritura del informe y entrega. <ul style="list-style-type: none"> • Revisión en el avance del análisis de resultados (semana 14). 	14, 15 y 16