

Fig. 5



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

Influencia de la temperatura de colada ,
Medio de Moldeo y Composicion de la
Aleacion en la Contraccion.



TESIS

EXAMEN DE TITULACION
Y OBTENCION DE TITULO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A

J. JESUS DIAZ SANCHEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

	Página.
I.- PROLOGO -----	1
II.- GENERALIDADES Y CONCEPTOS TEORICOS.	
II.1.- CONTRACCION -----	2
II.2.- ALIMENTADORES -----	14
II.3.- MEDIOS DE MOLDEO (INFLUENCIA EN LA CONTRACCION). -----	20
II.4.- INFLUENCIA DE LA COMPOSICION DE LA ALEACION Y TEMPERATURA DE COLADA -	24
III.- DESARROLLO EXPERIMENTAL -----	29
III.1.- RESULTADOS EXPERIMENTALES ----	34
IV.- CALCHILOS -----	37
IV.1.- RESULTADOS -----	40
V.- ANALISIS DE GRAFICAS Y CONCLUSIONES ----	46
VI.- APENDICE -----	49
VII.- BIBLIOGRAFIA -----	51

PROLOGO

El objetivo principal de la tesis es el de presentar de una manera sencilla y comprensible la forma como se comporta la Contracción en Aleaciones de aluminio, ya que ésta se ve afectada considerablemente al variar algunos de los parámetros, tales como la temperatura de colada, el medio de moldeo utilizado y la composición de la aleación.

La Contracción es una de las propiedades que tienen los metales que más se consideran en la fundición, por lo que es -- conveniente que se conozcan de una manera real el comportamiento de ésta, al variar los parámetros, antes mencionados ya que dichas variables pueden ser controladas fácilmente en el proceso de la fundición.

Por medio de los experimentos realizados en este trabajo encontramos la contracción específica, con ésta, conociendo el coeficiente de reparto puede ser útil para el diseño de Alimentadores por medio de la expresión:

$$V_{pza} = V_{alimentador} * \frac{\gamma - \beta}{\beta} \quad (\text{Ref. 1})$$

β - Contracción específica a condiciones normales de enfriamiento.

γ - Coeficiente de reparto.

Este es un trabajo experimental que nos aporta nuevas - alternativas metodológicas muy útiles para los procedimientos - señalados en éste trabajo.

FUNDAMENTOS TEORICOS

Durante la fabricación de piezas coladas de la mayoría de las aleaciones comerciales, así como metales puros, ocurren cambios de volúmen.

Estos cambios de volúmen se presentan durante el enfriamiento y solidificación, se les llama contracción.

CONTRACCION.

Es la propiedad de los metales y aleaciones de reducir su volúmen durante la solidificación y enfriamiento.

La contracción se presenta en dos formas:

- a) Contracción lineal
- b) Contracción Volumétrica

Estas se expresan en valores relativos.

$$C_{lin.} = \frac{L_m - L_p}{L_p} \times 100$$

(Ref. 2)

$$C_{vol.} = \frac{V_m - V_p}{V_p} \times 100$$

Donde:

L_m = Dimensión Lineal del molde de fundición.

L_p = Dimensión de la pieza fundida a temperatura de 20°C

V_m = Volúmen del molde

V_p = Volúmen de la pieza a temperatura de 20°C

CONTRACCION LINEAL

No comienza al momento de iniciarse la solidificación de la pieza colada, sino instantes posteriores, después de -- crearse un esqueleto bastante resistente de cristales, que -- tienen contacto mutuo capaz de resistir la presión del metal -- líquido. Por consiguiente la temperatura del inicio de la Con -- tracción Lineal será la temperatura de sólidos. Sólo en los -- metales puros, el inicio de la Contracción Lineal coincide -- con la temperatura crítica.

Según lo establecido en la (Ref. 2)

FUNDICION	C. LINEAL %
Al puro	7.14 ----- Ref. No. 11
Al puro	6.5 [±] 0.35 ---- Ref. No. 8
Al puro	6.2 [±] ----- Ref. No. 3
Al puro	5.7 ----- Ref. No. 3
Al puro	5.1 ----- Ref. No. 3
Cu puro	7.3 ----- Ref. No. 3
Cu puro	7.7 ----- Ref. No. 3
Cu puro	5.3 ----- Ref. No. 11
Zn	4.1 ----- Ref. No. 3
Zn	4.08 ----- Ref. No. 11

TABLA No. 1 CONTRACCION LINEAL

Esta contracción es la que se considera para sobredimensionar el modelo de fundición y originar la pieza de las -- dimensiones deseadas, en otras palabras, es la tolerancia por -- contracción dada al modelo.

CONTRACCION VOLUMETRICA

La contracción volumétrica de cualquier metal durante el enfriamiento de la pieza colada en el molde se compone de la contracción de la aleación en el estado líquido, la contracción en el cambio de fase líquido sólido y la contracción en el estado sólido. Esto se puede representar en la fig. No. 1

ALEACION O MET. PURO	CONTRACCION LIQUIDA % (*)	CONTRACCION DE SOLIDIFICAC. % (**)	CONTRACCION SOLIDA % (***)
CORRE	2.1	4.5	7.3
ALUMINIO	1.4	6.5	5.7
ZINC	---	4.9	4.1
PLOMO	---	3.5	3.1
Cu/Al 93/7	1.3	4.8	5.8
Cu/Sn 92/8	1.5	5.8	6.3
Cu/Zn 60/40	2.3	5	6.8
Cu/Ni 67/32	---	7.3	8.8
Al/Cu 92/8	---	8.7	4.9
Al/Mg 90/10	1.3	7.5	4.4
Al/Si 87.3/12.7	---	3.5	---
Mg/Al	1.3	5.6	4.0

Tabla No. 2 PORCENTAJE EN VOLUMEN., De las contracciones verificadas durante el enfriamiento en algunas aleaciones no ferrosas. (Ref. 3)

(*) 100°C Sobre la temperatura de líquidos.

(**) Durante la solidificación.

(***) Sólidos a la temperatura ambiente.

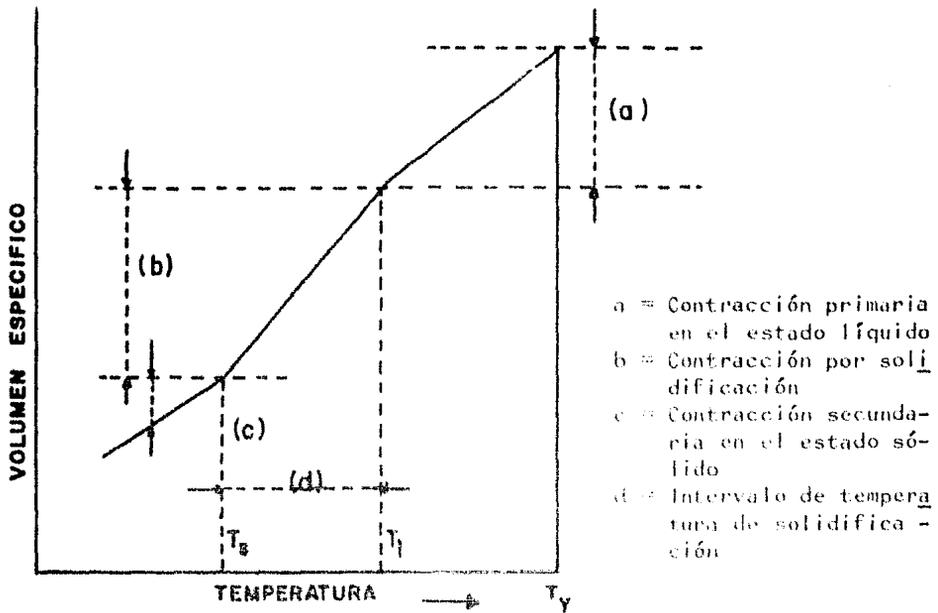


FIG. No. 1 Modelo general para los cambios de volumen en aleaciones (Ref. 4)

T_L = Temperatura del líquido después de completar la colada.

Considerando la fig. 1, nos muestra los tres tipos de contracción volumétrica, en función de la etapa de enfriamiento con la cual están asociadas y son las siguientes:

a) Contracción durante el enfriamiento del metal líquido desde su temperatura de colada, hasta la temperatura de líquidos, - esta etapa de contracción se verifica totalmente en fase líquida -- llamada por eso "Contracción líquida".

El volumen de todos los materiales cambia con la temperatura, usualmente decrece cuando disminuye la temperatura.

Este efecto también se produce en un metal en estado líquido. El efecto de la contracción del metal líquido en la formación de una pieza colada depende de la rapidez del cambio de temperatura, un cambio rápido de temperatura, disminuye la contracción, el metal dentro del molde se contrae y si aumentamos su temperatura de colada (T_{PO}), aumenta la contracción, tomando como base la expresión:

$$\Delta V_l = \beta_l V_l \Delta T_{sup} \quad (\text{Ref. 5})$$

Donde:

β_l = Factor de expansión volumétrica del metal líquido ($\frac{1}{\text{grado}}$).

V_l = Volumen de la cavidad del molde (m^3).

ΔT_{sup} = Temperatura de sobrecalentamiento del metal (grados)

T_f = Temperatura de fusión del metal (grados).

$$\Delta T_{sup} = T_{PO} - T_f$$

En estas condiciones, se forma una cáscara sólida en la superficie de la cavidad del molde que originará la pieza colada.

La cáscara forma el esqueleto y este evita que se tenga alimentación del metal líquido, y al reducir el metal líquido su volumen por enfriamiento, se genera una diferencia de volumen, que será, parte de la contracción final.

b). - Contracción efectuada durante el cambio de fase de líquido a sólido llamada "Contracción de Solidificación".

El enfriamiento del metal fundido es acompañado por - considerables cambios de volumen. Normalmente, la densidad del metal líquido es menor que la densidad del metal sólido ($\rho_s > \rho_l$).

Cuando el metal se enfría progresivamente, la costra sólida empieza a crecer hacia adentro desde la superficie de la pieza. La fase líquida, limitada por la costra sólida como si fuera la pared de una vasija, se contrae durante el enfriamiento. Como un resultado de las diferencias en volumen entre la fase líquida y sólida, una cavidad por contracción es formada en el centro de la pieza.

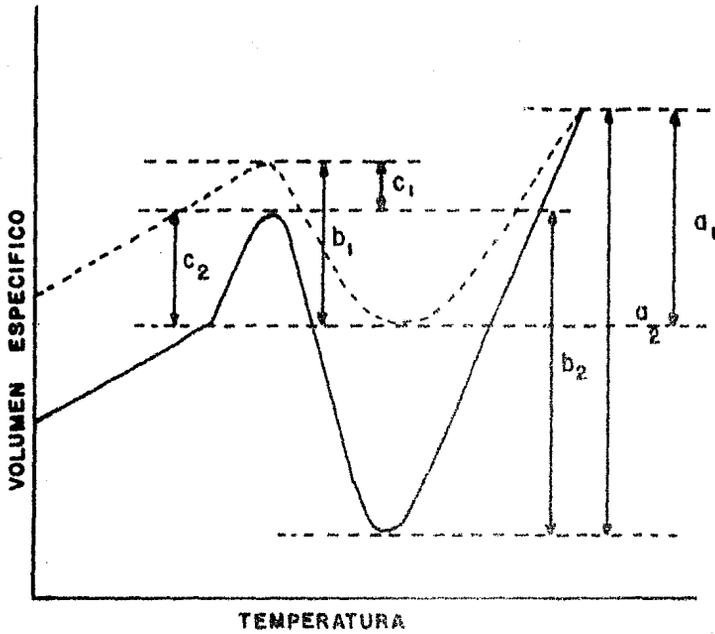
Cuando en todos los puntos de la pieza se tiene la misma temperatura, abajo de la temperatura de liquidus, se están formando cristales por todo el volumen de la pieza, y estos se extienden y forman redes continuas, con el crecimiento de los cristales la fase líquida residual queda atrapada entre celdas, las cuales al enfriar por separado, forman una pequeña cavidad de contracción, estas cavidades juntas producen porosidad.

c).- La contracción verificada durante el enfriamiento en fase sólida, desde la temperatura de solidificación hasta la temperatura ambiente llamada "contracción en fase sólida".

Los cambios de volumen que ocurren en la mayoría de los metales y sus aleaciones, los podemos ver en la Fig.1. Cuando en estos cambios ocurren transformaciones de fase, el metal se -- puede contraer o expandir.

Un ejemplo de expansión es el que presenta la transformación de fase en la fundición gris, este efecto, es debido al rompimiento de cementita y la formación de gráfita libre, ya que: $(P_G < P_{Fe_3C})$.

Las fundiciones grises no se comportan como indica la fig.1, sino que estas presentan además, una expansión al solidificar como se muestra en la Fig.2.



a = Contracción líquida

b = Expansión

c = Contracción secundaria

————— Comportamiento teórico

- - - - - Comportamiento real en secciones delgadas.

FIG. NO. 2 Modelo para los cambios de volúmen en hierros colados.
(Ref. 4)

RECHUPES DE CONTRACCION

En las piezas coladas, son las cavidades que se crean a consecuencia de la contracción de las aleaciones antes y durante la solidificación.

El esquema de la formación de rechupe de contracción en una pieza de colada se muestra en la figura (3).

Las paredes delgadas pueden solidificarse y contraerse parcialmente ya durante el llenado del molde con el metal (3a). La capa sólida se crea en seguida después del llenado del molde con metal.

En este período la pieza colada se alimenta con la masa fundida del sistema de alimentadores. Luego sigue la contracción del metal líquido dentro de la costra sólida figura (3b).

Al enfriarse hasta la temperatura del comienzo de la cristalización o la temperatura de líquidos figura (3c).

La contracción de la masa fundida y la disminución del volumen al pasar del estado líquido al sólido, superan la contracción de la costra, por eso en un momento determinado la masa fundida se separa bajo la acción de la fuerza de gravedad, de la costra solidificada superior y descendiende.

En el período siguiente tiene lugar la cristalización del metal líquido dentro de la costra dura, durante la cual el metal se contrae y, como resultado, se crea el rechupe, figura (3d).

En los rechupes de las piezas coladas de aleaciones que no contienen gases, se crea rarefacción, como resultado de lo cual la costra delgada puede combarse hacia adentro del rechupe figura (3e).

Un rechupe de contracción concentrado se forma en - las piezas fundidas en metales puros y aleaciones con un estrecho - intervalo de cristalización y aleaciones de composición eutéctica.

El volúmen del rechupe de contracción depende de los siguientes factores:

1.- Del factor de contracción del metal o aleación - en estado líquido el cual depende de la composición química del metal o aleación.

2.- De la temperatura del metal o aleación líquida - al comienzo de la solidificación de la pieza, cuanto más elevada es esta temperatura, tanto mayor es el volúmen de rechupe de contracción.

3.- De la magnitud de la contracción durante la solidificación la cual depende de la composición del material.

4.- De la compresibilidad del molde y el macho, cuanto más compresible es el molde y el macho, tanto mayor es la contracción y viceversa (Ref. 8).

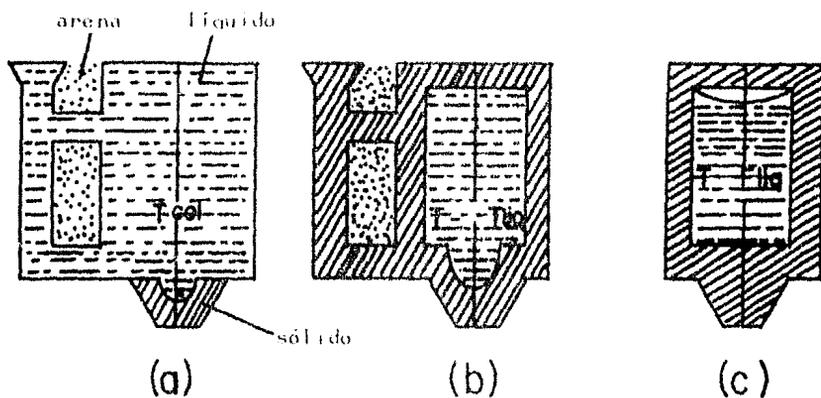


FIG. No. 3 (Ref. 2)

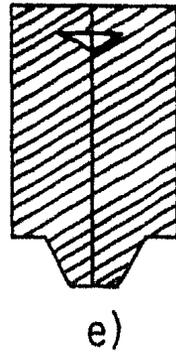
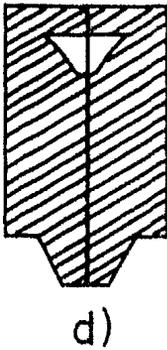


FIGURA No. 3 - (Ref. 2)
 POROSIDAD POR CONTRACCION

Es la acumulación de pequeñas cavidades, las cuales se formaron en la pieza como resultado de la contracción volumétrica al no tener afluencia del metal líquido. La porosidad de contracción es característica para aleaciones de amplio intervalo de cristalización fig.(4a).

Los poros de contracción aparecen en los espacios interdentriticos, en el momento que la contracción volumétrica aún continúa y el suministro del metal líquido a los poros se interrumpe.

Durante la solidificación las dendritas que crecen se unen, creando células aisladas.

Cuando cesa la alimentación de células con la masa fundida se crean pequeños poros, cuyo conjunto forma la porosidad de contracción.

Tenemos tres tipos de Porosidad

- a) POROSIDAD DIFUSA
- b) POROSIDAD AXIAL
- c) POROSIDAD LOCAL

- a) Porosidad Difusa fig. (4b), son poros pequeños distribuidos uniformemente por una gran parte del volumen de la pieza. Esta porosidad se desarrolló durante la solidificación lenta de la pieza de aleaciones de gran rango de solidificación.
- b) Porosidad Axial fig. (4c), son poros que aparecen en la parte central de la pieza como en las secciones largas y delgadas. Esto se explica por que la contracción volumétrica de la parte central aún no terminó y disminuyó o se interrumpió el acceso de metal líquido.
- c) Porosidad Local fig. (4d), se crea en las partes de la pieza colada separadas de la aleación ya solidificada, que cerró el acceso de metal líquido a ellas. La porosidad local consta de poros grandes, concentrados en las partes de la pieza colada y en los lugares de unión de los bobederos.

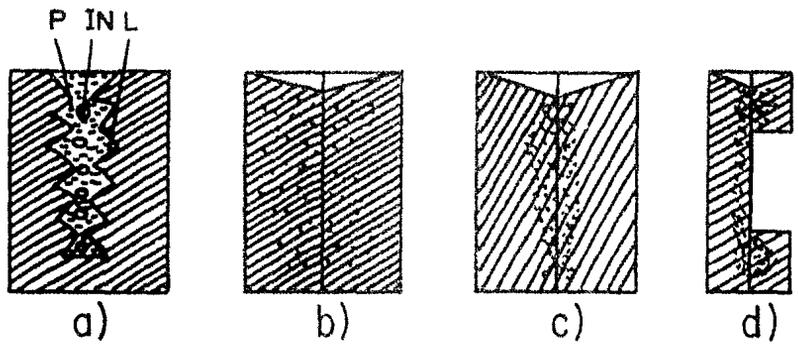


FIG. NO. 4 (Ref. 2)

En la referencia (6) establecen que el % de contracción se puede determinar por la ecuación:

$$\% C = \frac{\rho_a - \rho_c}{\rho_a} \times 100$$

ρ_a = Densidad teórica de la aleación

ρ_c = Densidad de la pieza que se obtiene

En el diseño de alimentadores se considera para su cálculo la contracción específica del material metálico, por tanto esta es importante para el cálculo de las dimensiones del alimentador, necesario para obtener una pieza libre de defectos.

ALIMENTADORES

Un alimentador es la parte del sistema de colada, - que sirve para compensar los cambios de volumen del metal líquido, y la transición de líquido a sólido que sufren algunas piezas coladas. El objetivo primordial del alimentador es producir piezas libres de defectos, que pueden ser causados por los cambios de volumen. La forma, tamaño y localización del alimentador se diseñan - para alcanzar este objetivo.

Podemos tener 3 formas de alimentadores de las cuales se determina el tiempo de solidificación por la relación de -- Chworinov, de estas formas la que mejor se adapta es la esférica - pero esta presenta ciertas desventajas, entre las que figuran inconvenientes para el moldeo y su solidificación es hacia el centro térmico de manera distinta de los ejes térmicos de otros alimentadores.

Las otras 2 formas son la rectangular y la cilíndrica, de estas, la mejor relación (V/A) es la cilíndrica.

V = Volumen de la pieza

A = Área de enfriamiento de la pieza

El tamaño del alimentador debe ser el adecuado de tal manera que el metal líquido, que solidifique al último esté contenido en el alimentador.

Métodos para determinar el tamaño del alimentador:

Frecuentemente se considera que el criterio de enfriamiento, re--

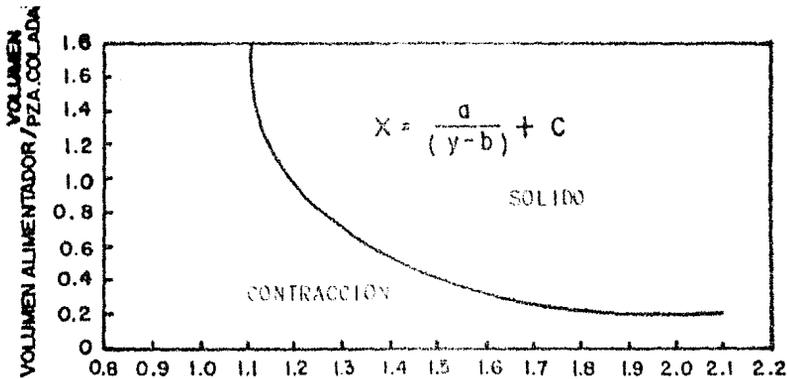
gula el tamaño de el alimentador, el tiempo de solidificación y el volúmen del alimentador por sí mismo.

Una comparación puramente geométrica puede ser adoptada para asegurar que el alimentador solidificará al último.

Las técnicas más sencillas han sido seguidas en las consideraciones halladas por Chworonov.

EL METODO DEL CAINE

Esta basado sobre una determinación experimental -- por una relación hiperbólica entre volúmenes relativos y enfriamientos relativos de alimentador y pieza para producir piezas libres de cavidades de contracción.



$$\text{Razón de Enfriamiento} = \frac{(\text{Área} \cdot \text{Volumen}) \text{ Pieza}}{(\text{Área} \cdot \text{Volumen}) \text{ Alimentador}}$$

Prolongado \longleftrightarrow Forma de Alimentador \longleftrightarrow Compacto
 Compacto \longleftarrow Forma de Pieza \longleftarrow Prolongado

Fig. N°.5 Curva de Caine para determinar el volúmen mínimo de un alimentador basado en la razón de enfriamiento relativo de la pieza y alimentador. (Ref. 1)

ECUACION BASICA:

$$x = \frac{a}{(y-b)} + c$$

Donde:

x = Razón de enfriamiento

y = $\frac{\text{Volúmen de Alimentador}}{\text{Volúmen de Pieza}}$

a = Constante característica de solidificación

b = Contracción de solidificación

c = Razón de enfriamiento relativo de alimentador y pieza.

(Ref. 1)

Una aproximación de carne fue la hecha por Bishop, el cual usó el factor de forma (ρ) para reemplazar el área superficial expresada por:

$$\rho = (L + W) / T \quad (\text{Ref. 1})$$

Donde:

L = Largo de la sección

W = Ancho de la sección

T = Espesor o grueso de la sección

Este procedimiento se centra en 3 pasos:

1o.- El factor de forma $(L + W) / L$ para la pieza es determinado, usando las dimensiones del cuerpo principal de la pieza o de la sección considerada.

2o.- La razón (Volumen alimentador / Volumen pieza) es derivada de la gráfica 3.13 Ref.11.

3o.- El volumen del alimentador es calculado de el volumen de la pieza o sección, es provisto por un mapa que representa las alternativas de grandes diámetros y combinaciones de -- volumen del alimentador.

El tratamiento más aceptable sobre las dimensiones del alimentador son debidas a Wlodawer, basado en las aproximaciones originadas por Chworonov para incluir sistemáticamente consideraciones de materiales exotermicos, excesos, chills y otros para favorecer la solidificación direccional.

Estudios teóricos fueron combinados con observaciones experimentales de sus propios trabajos. Un sistema independiente desarrollado por Jeancolas, descubre principios similares.

Aunque la técnica de Wlodawer tiene mucho en común con la de Carne y Bishop, la última fué tratada sobre teoremas del factor de forma que no ofrece una verdadera ventaja ya que no es muy exacta.

En el sistema de Wlodawer, el requerimiento del alimentador es deducido del "Módulo de Solidificación" para la pieza colada.

La pieza puede ser dividida en secciones individuales donde la relación (V / A) puede ser rápidamente determinada, solamente las superficies de enfriamiento son incluidas en el cálculo, las superficies imaginarias de contacto han sido omitidas. El alimentador es entonces seleccionado bajo el criterio de que debe tener módulo de valor 1.2 veces el de la pieza o de la sección implicada.

Cálculo del módulo de solidificación:

Para simplificar el cálculo del módulo, para los planos o formas de la pieza, estos son sustituidos por formas geométricas más sencillas de módulos equivalentes, sobre la base de que los cuerpos de módulos idénticos solidificarán al mismo tiempo. Cuerpos curvados y angulares de la misma dimensión tienen el mismo módulo.

Por ejemplo: El módulo para una placa es $t/2$ y para una barra cuadrada o cilíndrica es $t/4$, donde t = dimensión de la sección transversal.

En ausencia de efectos finales el módulo de una barra de cualquier sección puede ser derivado de la fórmula $M = t^2/4t$ -- para una barra cuadrada dado el valor anterior $t / 4$, y nos conduce para barras de sección rectangular a la fórmula:

$$M = \frac{a b}{2 (a+b)}$$

Fórmula General:

$$M = \frac{\text{Área de sección transversal}}{\text{Perímetro}}$$

El módulo y la capacidad del alimentador. El uso del factor 1.2 para derivar el módulo del alimentador de la sección de la pieza es utilizado para compensar el cambio en el módulo del -- alimentador debido a la contracción durante el enfriamiento. La -- forma de la cavidad de contracción también determina la capacidad del volumen inicial del alimentador.

Considerando un alimentador, la cavidad de contracción bajo condiciones normales de enfriamiento toma una forma general -- como las siguientes. La contracción total por solidificación --- $[\beta (V_p + V_A)]$, debe compensarse con una fracción del volumen -- del alimentador, a esta fracción se le denomina coeficiente de -- reparto (γ).

$$\beta (V_p + V_A) = \gamma V_A$$

$$\beta V_p + \beta V_A = \gamma V_A$$

$$\beta V_p = V_A \gamma - \beta V_A$$

$$\beta V_p = V_A (\gamma - \beta)$$

$$V_p = V_A \left(\frac{\gamma - \beta}{\beta} \right) \quad (\text{Ref. 1})$$

Donde:

V_p = Volumen de la pieza

V_A = Volumen del alimentador

β = Contracción específica a condiciones normales de enfriamiento.

γ = Coeficiente de reparto.

MEDIOS DE MOLDEO

INFLUENCIA EN LA CONTRACCION.

Las propiedades de los medios de moldeo que influyen en la contracción pueden considerarse de la siguiente manera:

1o. Todos los medios de moldeo constituidos de arena apizonable tienen una cierta compactación a la que llamamos compresibilidad, ésta depende de los materiales de que está compuesta esta arena, de la granulometría que está presente y del grado de apizonado del material.

Debido a esta propiedad, cuando el material moldeante es más compresible, presenta una menor permeabilidad, -- por lo que al vaciar el metal líquido éste desaloja el aire y gas contenido en el molde y si la permeabilidad es pequeña -- parte de éste gas queda atrapado y nos genera un volumen mayor de contracción.

Por esto tenemos que el molde que presenta mayor compresibilidad nos genera un volumen de contracción mayor, y a menor compresibilidad del molde nos genera un volumen menor de contracción interna del tipo porosidad dispersa, de acuerdo con la (Ref. 2).

2o. Otra propiedad es la expansión y contracción que presenta el medio de moldeo con los cambios de temperatura que sufre, el molde cuando entra en contacto con el metal líquido de colada.

En este punto es necesario diferenciar los cambios de volúmen que experimenta el molde y los cambios de volúmen del metal líquido colado en él. Debido a que comúnmente los moldes son hechos de arena de Sílice, los cambios de volúmen que ocurren en los granos individuales de Sílice los tenemos mostrados en la figura: 6

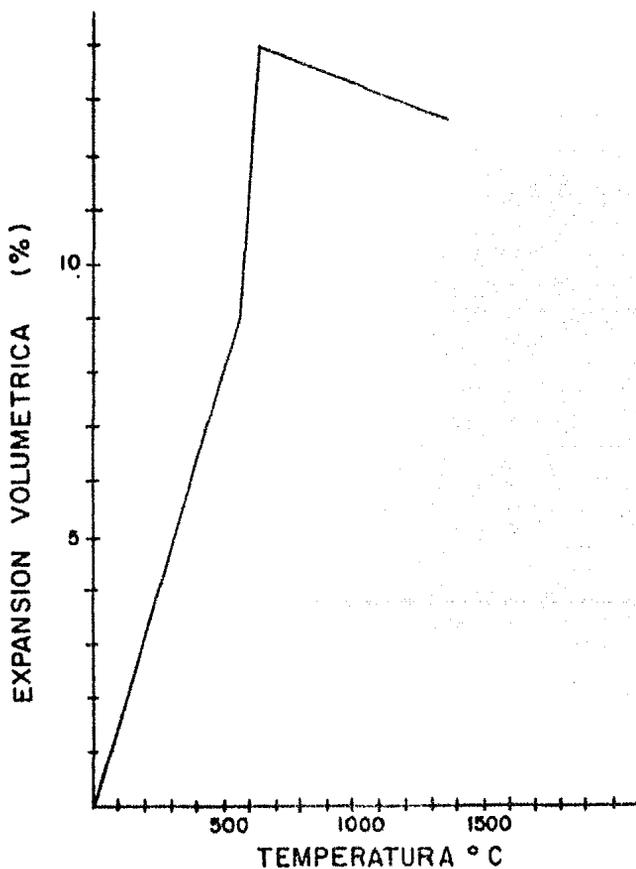


FIG. No. 6 Cambios de volúmen de los granos individuales de arena Sílica. (Ref. 4)

Mientras los granos de la arena de sílice, se incrementan su temperatura a partir de la temperatura ambiente hasta 600°C, un aumento drástico en el tamaño de los granos se presenta a esta temperatura de 650°C tenemos un lento decrecimiento en el volumen.

Debido a esta expansión que presenta el molde nos genera un volumen de contracción mayor.

Si el medio de moldeo se expande la cavidad del molde será menor y el volumen de contracción de la pieza será mayor, y si el medio de moldeo se contrae la cavidad del molde será mayor y el volumen de contracción de la pieza será menor.

3o. Otra propiedad de los medios de moldeo que influyen en la contracción son las propiedades térmicas que presenta el molde ya que estas son específicas del medio de moldeo utilizado y estas propiedades involucran la disipación de calor del molde.

Según la (Ref.7) si tenemos una disipación de calor rápida, la velocidad de solidificación es mayor y nos genera un volumen de contracción pequeño.

MEDIO DE MOLDEO	ALEACION	TEMPERATURA	% CONTRACCION TOTAL VOLUMETRICA
		DE COLADA	
Hierro colado.	Al puro	820	4.14
Concreto refractario.	Al puro	820	5.43
Hierro colado.	Al puro	780	3.92
Concreto refractario.	Al puro	780	5.25
Hierro colado.	Al puro	740	3.62
Concreto refractario.	Al puro	740	5.06

TABLA No. 3 CONTRACCION ESPECIFICA PARA ALUMINIO PURO
EN DIFERENTES MEDIOS DE MOLDEO (Ref. 6)

COMPOSICION DE LA ALEACION Y TEMPERATURA DE COLADO.

La composición de las aleaciones utilizadas influyen de una manera directa en la contracción, las piezas coladas de aluminio puro, tienen una mayor contracción que las piezas coladas de aleación Al - Si. El Si disminuye el volumen de contracción.

ALEACION	% CONTRACCION (SOLIDIFICACION)
Al puro	6.5 Ref. 8
Al/Si 87.3/12.7	3.5 Ref. 8

TABLA No. 4 CONTRACCION ESPECIFICA DE ALUMINIO Y ALUMINIO - Si.

Considerando la densidad corregida por el contenido de Silicio encontramos que: (Se explica más adelante).

Al puro = 2.7 gr./cm ³	V específico = 0.370 cm ³ /gr.
Al - Si 5% = 2.6869 gr./cm ³	V e = 0.372 cm ³ /gr.
Al - Si 12% = 2.6676 gr./cm ³	V e = 0.375 cm ³ /gr.

(Ref. 9)

También tenemos que las aleaciones de Al/Si 5% generan porosidades de contracción y que las aleaciones de aluminio puro y Al/Si Eutectico generan las cavidades de contracción . (Ref. 6)

Si analizamos el diagrama Al - Si.

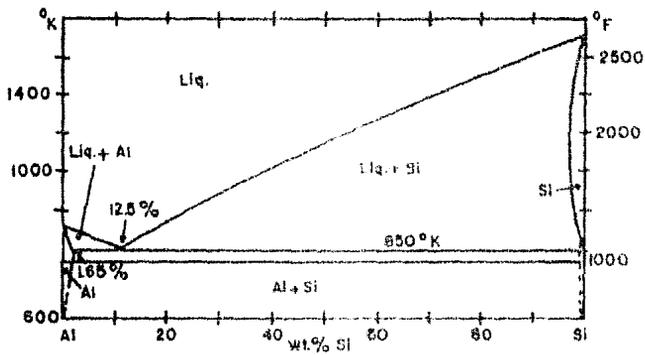


Fig. 7, Diagrama Al-Si (Ref. 10)

Podemos observar que las aleaciones utilizadas presentan distintos rangos de solidificación. Esta disminución en la contracción podera ser aparente.

ALEACION	RANGO DE SOLIDIFICACION	% CONTRACCION TOTAL VOLUMETRICA
Al puro	Corto	6.5 Ref.No. 3
Al/Cu 92/8	Largo	8.7 Ref.No. 3
Al/Cu 95.5/4.5	Largo	6.45 [±] 0.35% Ref.No. 8
Al Cu ₂ Intermetal	Rango Corto	2.61 [±] 0.40% Ref.No. 8

TABLA No. 5 CONTRACCION DE ALGUNAS ALEACIONES DE ALUMINIO
CONSIDERANDO LOS RANGOS DE SOLIDIFICACION.

Tomando como base esta tabla que involucra rangos de solidificación podemos decir que a mayor rango de solidificación mayor volumen de contracción generalmente.

Si tenemos un rango de solidificación corto, la contracción será menor generalmente.

Considerando la temperatura de colada ésta influye en -- la contracción dependiendo del gradiente de temperatura de sobre - calentamiento que tenga.

MEDIO DE MOLDEO	TEMPERATURA DE COLADA °C	ALEACION	% CONTRACCION TOTAL VOLUMETRICA
Concreto	820	Al puro	5.43
Refractario	780		5.25
	740		5.06
	700		4.21
Concreto	800	Al - Si 2%	1.78
Refractario	760		1.18
	720		0.85
	680		1.00
Concreto	740	Al - Si 12%	3.33
Refractario	700		3.07
	660		2.51
	620		2.28

Tabla No. 6 Contracción específica considerando la temperatura de colada (Ref. 6)

Si tenemos un gradiente grande de temperatura la contracción será mayor esto se debe a que en el momento de entrar en contacto el metal líquido con el molde nos genera una costra sólida de metal la cual evita que se tenga un flujo de calor rápido y tarda más tiempo en solidificar, como ya se tiene el molde lleno no se sigue suministrando metal líquido el cual al solidificar nos

genera un volúmen de contracción grande.

Si el gradiente de temperatura es pequeño el volúmen de contracción es menor, esto se debe a que al vaciar el metal líquido en el molde este empieza a solidificar rápido por lo cual se puede suministrar un poco más de metal líquido y compensar un poco la contracción por solidificación y de esta manera nos genera un volúmen de contracción menor.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Modelo utilizado para la parte experimental.

Se hizo un modelo metálico que consiste en dos conos truncados unidos por un cilindro, montados en una placa metálica y eligiendo Colada Vertical. El modelo se presenta en la siguiente figura No. 8.

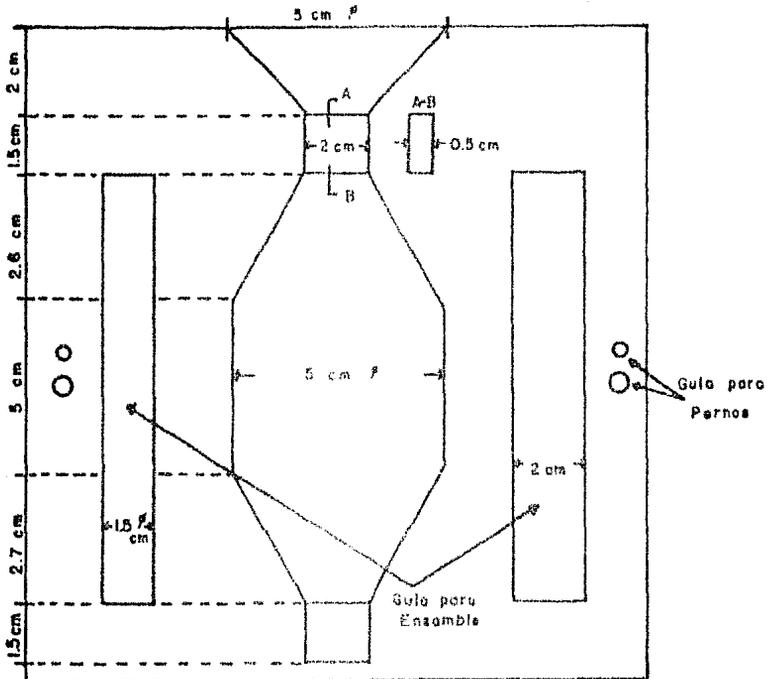


Fig. No. 8 Diagrama del modelo experimental utilizado

Se toma este modelo por que facilita la colada del metal líquido, como los extremos son angostos son los primeros en solidificar y de esta forma se asegura que la cavidad de con tracción quede atrapada en la pieza.

DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Se seleccionaron dos medios de moldeo, Arena tipo.- : SHELL y Arena para moldeo en VERDE.

Se eligieron 3 diferentes temperaturas de colada y tres diferentes aleaciones.

MEDIOS DE MOLDEO

1.- ARENA SHELL.- Los moldes de esta arena se preparan, espolvoreando arena Shell sobre el modelo formando una capa de aproximadamente, dos centímetros de espesor y se calienta el modelo con un mechero fisher, hasta alcanzar una temperatura de 400°F aproximadamente, utilizando termómetro de contacto para medir dicha temperatura.

2.- ARENA EN VERDE.- La arena en verde utilizada esta constituida por una mezcla que contiene:

ARENA FINA No. 1	AFS90
HUMEDAD	6%
BENTONITA	15%

La bentonita utilizada esta en una proporción de 50% -- Bentonita sódica y 50% Bentonita cálcica.

Los moldes de esta arena se preparan en cajas de moldeo y el apizonado se realizó manualmente procurando que la compactación en todos los moldes hechos sea la misma. Checando con dureza en el molde.

ALEACIONES

Las aleaciones utilizadas para el experimento fueron:

Al puro (rango corto)

Al - Si 5% (rango largo) ($T_f = T_s$)

Al - Si 12% (rango corto)

TEMPERATURA DE COLADA

Las temperaturas de colada elegidas para el desarrollo experimental fueron:

Al Puro $T_f = 660^\circ\text{C}$ (Temperatura de Fusión)

$$T_{c1} = T_f + 80^\circ\text{C}$$

$$T_{c2} = T_f + 50^\circ\text{C}$$

$$T_{c3} = T_f + 40^\circ\text{C}$$

Al - Si 5 % $T_f = 640^\circ\text{C}$ (Temperatura de Fusión)

$$T_{c1} = T_f + 60^\circ\text{C}$$

$$T_{c2} = T_f + 40^\circ\text{C}$$

$$T_{c3} = T_f + 20^\circ\text{C}$$

Al - Si 12 % $T_f = 580^\circ\text{C}$ (Temperatura de Fusión)

$$T_{c1} = T_f + 120^\circ\text{C}$$

$$T_{c2} = T_f + 80^\circ\text{C}$$

$$T_{c3} = T_f + 50^\circ\text{C}$$

Considerando estos parámetros de composición, medio de moldeo y temperatura de colada, estas piezas se hicieron de la siguiente manera:

El metal se fundió en un horno eléctrico (Diseño de laboratorio[®]), utilizando para su carga trozos de lingote (Metales Aguila). En el caso de Aluminio puro y Al/Si 5%, se tenían lingotes con esta composición, para el Al/Si eutéctico se preparó la carga, utilizando trozos de lingote de Al/Si 5% y de Al/Si 50%, realizando un balance de carga, considerando que la aleación que se requiere debe tener una composición aproximada de Al/Si 12%. No se realizó análisis de las aleaciones, y no se consideraron otros elementos de aleación, que estuvieran presentes como impurezas, solo se tomó en cuenta el silicio como elemento de aleación.

Para evitar la oxidación y formar la escoria se utiliza como fundente una sal que contiene 50% de cloruro de potasio y 50% de cloruro de sodio.

Ya que está fundido el metal y se tiene a la temperatura deseada, se apaga el horno y desgasifica con hexafluoroetano.

Después de desgasificar se toma la temperatura del metal con un termopar (Digital[®]), y cuando la temperatura está 2 ó 3 grados por arriba de la temperatura de colada, se descorifica y vacía el metal al molde.

Las piezas obtenidas se cortan por la mitad, tratando de que por lo menos una parte quede completa. Al realizar el corte se tienen ligeras fallas por el grueso de la soga, pero se considera que esto no influye en las dimensiones de la pieza. Para que la pieza quede exactamente a la mitad, se terminan de rebajar las partes sobrantes en la desbastadora, con una lija de media.

Estas piezas se utilizan para observar el tipo de contracción que se obtiene, y se pesan utilizando una balanza analítica (Mettler), con precisión de ± 0.0001 gr.

* Esta descrito en el apendice.

RESULTADO EXPERIMENTALES

Ya que se tienen las piezas se procede a determinar sus masas y los resultados son los siguientes:

Al Puro	Temperatura de Colada	Medio de moldeo	Masa (g)
	740	Shell	190.4
	710	Shell	182.1
	700	Shell	178.5
	740	Arena en Verde	188
	710	Arena en Verde	179.2
	700	Arena en Verde	189.7

Al - Si 5%

700	Shell	182.2
680	Shell	174.5
660	Shell	190.3
700	Arena en Verde	192.6
680	Arena en Verde	186.6
660	Arena en Verde	194.2

Al - Si (Eutéctico)

700	Shell	178.5
660	Shell	183.5
630	Shell	188.2
700	Arena en Verde	179.5
660	Arena en Verde	188.8
630	Arena en Verde	193.8

VOLUMEN DE MODELO

El volúmen de un cono truncado se calcula por la expresión:

$$V = \frac{1}{3} \pi h (r^2 + r'^2 + r'r)$$

r = Radio de la base mayor

r' = Radio de la base menor

El volúmen de un cilindro se calcula por la expresión:

$$V = \pi r^2 h$$

RESULTADOS

$$V_1 = 26.4683 \text{ cm}^3 \quad (\text{Cono Superior})$$

$$V_2 = 27.5675 \text{ cm}^3 \quad (\text{Cono Inferior})$$

$$V_3 = 98.175 \text{ cm}^3 \quad (\text{Cilindro})$$

$$V_T = 152.20737 \text{ cm}^3$$

$$V'_T = \frac{1}{2} V_T = 76.1037 \text{ cm}^3$$

Densidad de tablas corregida por el contenido de Si.

Fórmula para la corrección de la densidad, -- con la temperatura de colada.

$$D_T = D_0 + (1 - T_0) \frac{dD}{dT} \quad (\text{Ref. 9})$$

Donde:

D_T = Densidad corregida por efecto de la temperatura.

D_0 = Densidad del Al puro a 660°C (temperatura de fusión).

$$D_0 = 2.385 \text{ g/cm}^3$$

dD/dT = Variación de la densidad con respecto a la temperatura.

$$\frac{dD}{dT} = -0.28 \text{ mg/cm}^3 \text{ } ^\circ\text{K} = -0.28 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Variación de la densidad, dependiendo del porcentaje en peso de los elementos de aleación:

$$-0.001\% \text{ Si}$$

$$+0.007\% \text{ Fe}$$

$$+0.006\% \text{ Mn}$$

$$+0.0095\% \text{ Cu}$$

(Ref. 11)

$$D_{\text{corregida}} = D_T + D_T (-0.001\% \text{ Si} + 0.007\% \text{ Fe} + 0.006\% \text{ Mn} + 0.0095\% \text{ Cu})$$

$$\text{Al puro (25 } ^\circ\text{C)} = 2.7 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Al / Si 5\%} = 2.6865 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Al / Si 12\%} = 2.6676 \text{ g/cm}^3$$

CALCULOS

DETERMINACION DEL VOLUMEN DE MUESTRA.

$$V_1 = \frac{m \text{ Muestra}}{\rho \text{ Tablas}}$$

$m = \text{masa}$
 $\rho = \text{Densidad}$

Al Puro T. Colada = 740°C Medio de moldeo Shell

$$V_1 = \frac{190.4 \text{ gr}}{2.7 \text{ gr/cm}^3} = 70.5185 \text{ cm}^3$$

Cálculo de contracciones utilizando la fórmula:

$$\% C = \frac{V'_T - V_E}{V'_T} \times 100$$

$\% C =$, Por ciento de contracción

$V'_T =$ Volúmen de modelo

$V_E =$ Volúmen experimental calculado a partir de:

$$V_E = \frac{m \text{ Experimento}}{\rho \text{ Tablas}}$$

$$\% C_1 = \frac{76.1037 \text{ cm}^3 - 70.5185 \text{ cm}^3}{76.1037 \text{ cm}^3} \times 100$$

$$\% C_2 = 7.34$$

Cálculo de la densidad de muestra por la fórmula:

$$\rho_{\text{Muestra}} = \frac{m_{\text{Muestra}} \text{ gr}}{V_{\text{T}} \text{ cm}^3}$$

$$\rho_1 = \frac{190.4 \text{ gr}}{76.1037 \text{ cm}^3} = 2.5018 \text{ gr/cm}^3$$

Cálculo de la contracción utilizando la fórmula:

$$\% C = \frac{\rho_T - \rho_E}{\rho_T} \times 100$$

Donde:

$\% C$ = Densidad de Contracción

ρ_T = Densidad de Tablas corregidas

ρ_E = Densidad Experimental

$$\% C_1 = \frac{2.7 \text{ g/cm}^3 - 2.5018 \text{ g/cm}^3}{2.7 \text{ g/cm}^3} \times 100$$

$$\% C_1 = 7.34$$

NOTA: Estos datos de volumen de contracción obtenidos, involucran la contracción en la solidificación y la - contracción por enfriamiento en el estado sólido ya que se tomó como base de cálculo las dimensiones de la cavidad de molde.

RESULTADOS

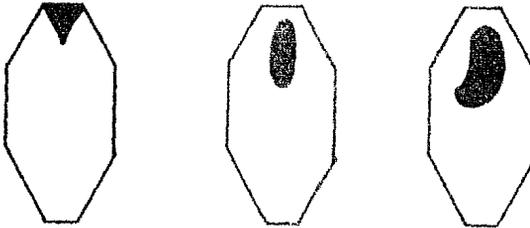
Experimental gr/cm ³	Muestra	T. Colada (°C)	Medio de Moldeo	Masa Exp ^e perimental (gr)	Volumen Ex ^p perimental (cm ³)	%C = $\frac{P}{T} \cdot \frac{P}{E} \cdot X100$	%C = $\frac{V'}{T} \cdot \frac{V'}{E} \cdot X100$
2.5018	Alpuro	740	Shell	190.4	70.5185	7.34	7.34
2.3928	Alpuro	710	Shell	152.1	67.4444	11.38	11.38
2.3455	Alpuro	700	Shell	178.5	66.1111	13.13	13.13
2.4703	Alpuro	740	Verde	158	69.6296	8.51	8.51
2.3547	Alpuro	710	Verde	179.2	66.3704	12.79	12.79
2.4927	Alpuro	700	Verde	180.7	70.2503	7.68	7.68
2.3941	Al-Si 5%	700	Shell	152.2	67.5206	10.85	10.85
2.2929	Al-Si 5%	680	Shell	174.5	64.9544	14.65	14.65
2.5005	Al-Si 5%	660	Shell	190.2	70.8357	6.92	6.92
2.5308	Al-Si 5%	700	Verde	192.6	71.0919	5.80	5.80
2.4519	Al-Si 5%	680	Verde	186.6	69.4584	8.73	8.74
2.5518	Al-Si 5%	660	Verde	194.2	72.2574	5.01	5.01
2.3455	Al-Si 12%	700	Shell	178.5	66.9144	12.07	12.08
2.4112	Al-Si 12%	660	Shell	183.5	68.7584	9.61	9.61
2.4729	Al-Si 12%	630	Shell	188.2	70.5503	7.30	7.30
2.3586	Al-Si 12%	700	Verde	179.5	67.2889	11.58	11.55
2.4808	Al-Si 12%	660	Verde	188.8	70.7752	7.00	7.00
2.5465	Al-Si 12%	630	Verde	193.8	72.6496	4.54	4.54

RESULTADO DE LAS OBSERVACIONES

Al observar las piezas obtenidas encontramos que se presentan tres diferentes tipos de Contracción:

- Cavidades de Contracción
- Porosidades de Contracción
- Deformación de la pieza por Contracción

a). - Cavidades de Contracción: Las piezas de Al puro y Al/Si eutéctico presentan huecos de contracción de la siguiente forma:

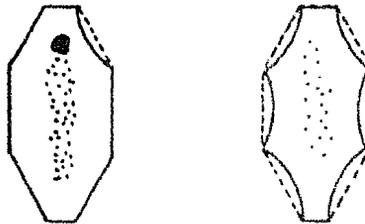


b). - Porosidades de Contracción: Este tipo de contracción se presenta sólo en piezas de Al/Si 15%.

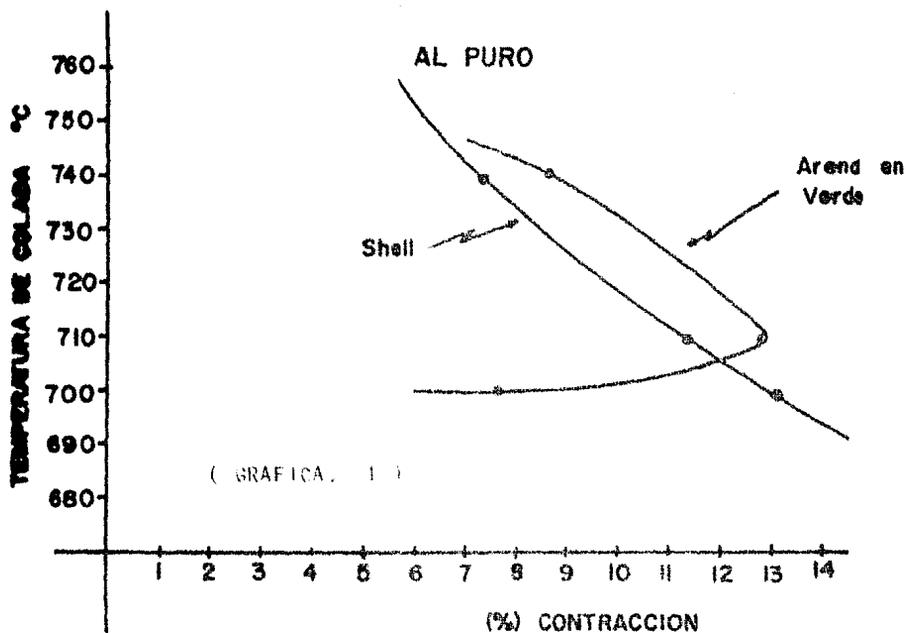


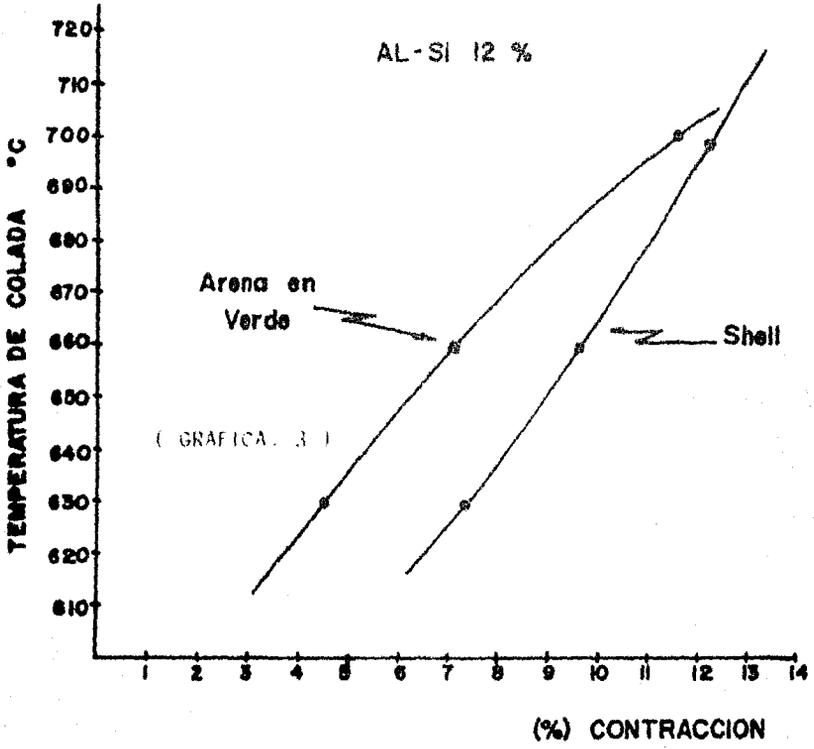
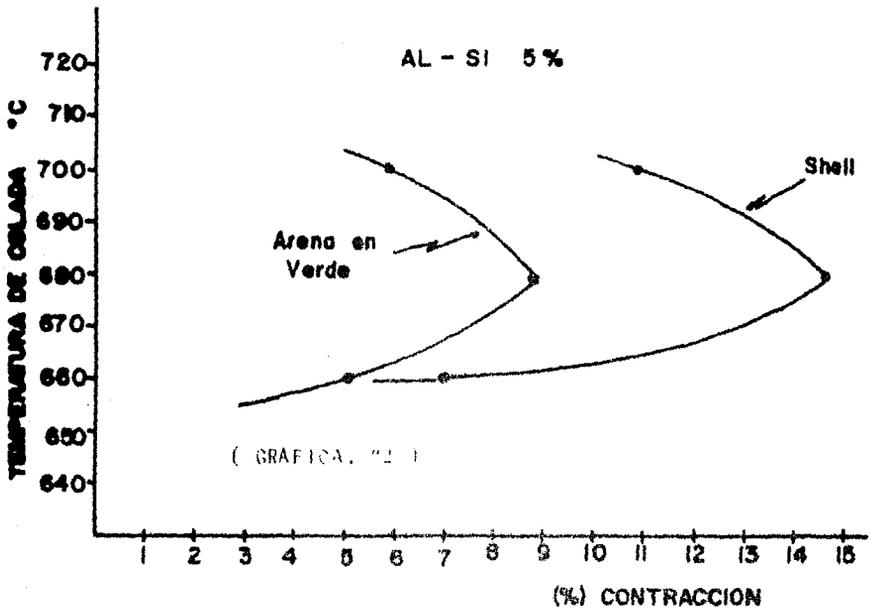
c).- Piezas deformadas por Contracción: Este tipo de piezas se presentó en los tres tipos de aleación utilizados.

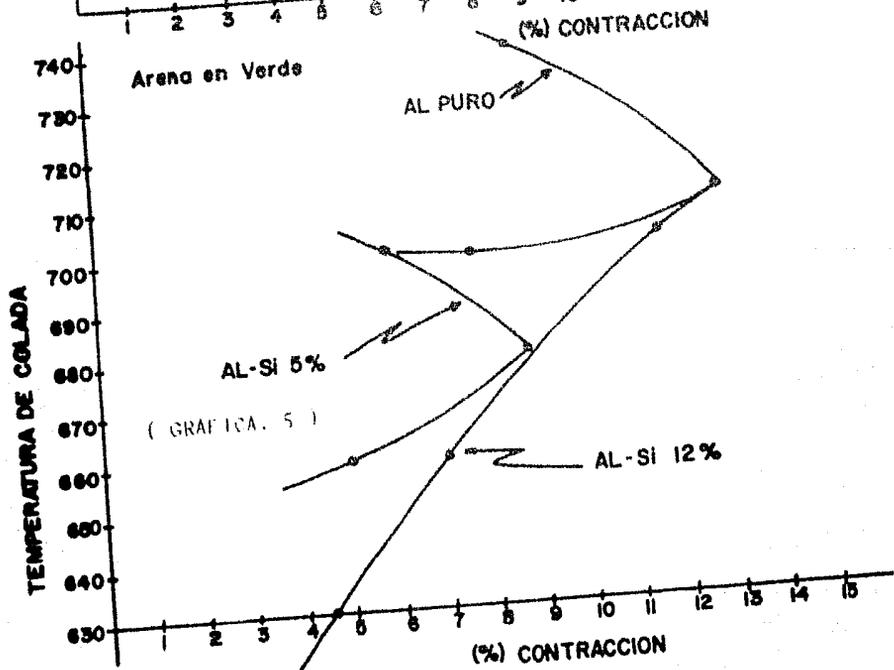
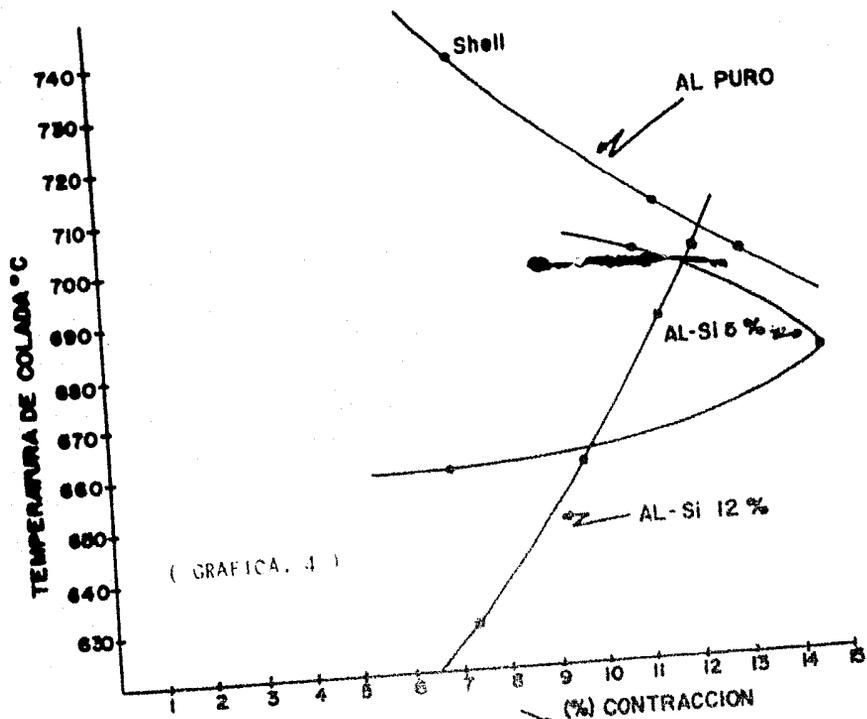
Esta deformación por contracción se debe a las presiones internas que se generan en el molde por los gases que quedan atrapados al entrar en contacto el metal líquido con el molde.



REPRESENTACION GRAFICA DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES
DE LA CONTRACCION, CONTRA TEMPERATURA DE COLADA.







ANÁLISIS DE GRÁFICAS Y CONCLUSIONES

1.- ANÁLISIS DE GRÁFICAS:

a) Considerando la gráfica 1,.- Analizando los resultados obtenidos de cálculos, se observa que la contracción en el Al puro se comporta de una manera rara, en el medio de moldeo Shell se encuentra que la contracción aumentó de la temperatura de colada mayor a la temperatura de colada menor.

Lo que no está de acuerdo con lo que se tenía propuesto en la teoría ya que se considera que a mayor temperatura de colada mayor contracción y a menor temperatura de colada menor contracción, en este caso se presenta un comportamiento lineal de la contracción.

Considerando el medio de moldeo de Arena en Verde se observa que la contracción no se comporta de manera lineal ya que la mayor contracción se presenta con la temperatura de colada intermedia, la contracción menor con la temperatura de colada menor.

Comparando la contracción de los dos medios de moldeo tenemos que en la temperatura más baja la contracción del medio de moldeo de Arena en Verde es menor que el Shell.

b) Considerando la gráfica 2.- En este caso tanto el medio de moldeo Shell y Arena en Verde, se comportan de la misma forma, las dos generan una curva y la contracción máxima se presenta con la temperatura de colada intermedia, y la contracción mínima se presenta con la temperatura de colada menor.

En este caso la contracción en el medio de moldeo en Shell es mayor que la contracción en la Arena en Verde.

c) Considerando la gráfica 3.- En este caso también se presenta un comportamiento semejante en los dos medios de moldeo. Aquí se presenta un comportamiento lineal de la contracción y se cumple lo propuesto.

A mayor temperatura de colada mayor contracción y a menor temperatura de colada menor contracción.

tenemos también que la contracción del medio de moldeo Shell es mayor que la del medio de moldeo de Arena en Verde.

2.- Si consideramos como se ve afectada la contracción por la composición de la aleación utilizada observamos -- que en el medio de moldeo Shell (gráfica. 4) , la contracción se comporta de una manera rara ya que la contracción menor se presenta en el Alpuro con la temperatura de colada mayor, en la temperatura media tenemos que la contracción mayor se presenta en el Al/Si 5%.

En la temperatura de colada baja la contracción mayor se presenta en el Alpuro.

Esto quiere decir que solo en la temperatura de colada baja se cumple lo establecido en la teoría.

Considerando la gráfica 5 podemos decir que -- exceptuando la temperatura de colada mayor, la contracción en el Alpuro es mayor y que conforme aumenta el contenido de Si la -- contracción disminuye.

No se tome en cuenta la temperatura de colada mayor, por que en esta temperatura la contracción mayor es la de Al/Si eutéctico, después la del Alpuro y la menor la de Al/Si 5%.

3.- Si consideramos los tipos de contracción que observamos en las piezas podemos decir que el Alpuro y el -- Al/Si eutéctico, generan huecos de contracción y que el Al/Si 5% genera porosidades de contracción.

4.- CONCLUSIONES:

Considerando estas observaciones, y en base a lo establecido en la teoría podemos concluir:

- 1.- La contracción en el medio de moldeo Shell es mayor que la contracción en el medio de moldeo de Arena en Verde.
- 2.- La contracción en el Al puro es mayor y va disminuyendo con el aumento de Si en la aleación.
- 3.- La contracción se ve afectada directamente por la temperatura de colada y podemos decir que a mayor temperatura de colada la contracción es mayor y a menor temperatura de colada la contracción es menor.
- 4.- En las gráficas podemos observar que en algunos puntos, la contracción tiene un comportamiento raro, en estos puntos se tiene que a mayor temperatura de colada menor contracción. En los datos reportados en la ref. 0, se tiene un comportamiento similar, pero este comportamiento no se puede considerar como un comportamiento generalizado, ya que no se tienen más datos de este tipo reportados. Solo lo podemos considerar como un comportamiento fuera de lo establecido.

APENDICE

Horno Eléctrico (Diseño de Laboratorio):

Horno eléctrico de resistencias prefabricadas, (Cr - Al) Cromel Alumel, con crisol de (Si C) carburo de silicio, con capacidad de 8 kg de cobre fundido, alcanza una temperatura máxima aproximada de 1200 °C.

Medidor de temperatura:

Indicador de temperatura digital, con un rango de operación de -20 a 900 °C, adaptado a un termopar (Cr - Al) cromel alumel, que tiene una cubierta protectora de acero inoxidable, y con una cubierta final de tubo de vidrio pyrex.

BALANCE DE CARGA:

Se requiere de 560 g de aleación de Al/Si 12% para su preparación se utiliza lingote de Al/Si 5% y Al/Si 50%.

Y = Al/Si 5%

X = Al/Si 50%

$$1) X+Y = 560 \text{ g (Al/Si 12\%)}$$

$$2) Y (.05) + X (.5) = 560 (.12)$$

despejamos Y de 1

$$Y = 560 - X \text{ ----3)}$$

Sustituimos 3 en 2.

$$(560 - X) (.05) + X (.5) = 560 (.12)$$

$$560 (.05) - X (.05) + X (.5) = 67.2$$

$$X (.5 - .05) = 67.2 - 28$$

$$X (.45) = 39.2$$

$$X = \frac{39.2}{.45}$$

BIBLIOGRAFIA : (REFERENCIAS)

- 1.- REELEY, P.R. 1972
FOUNDRY TECHNOLOGY
RUTTER WORTH, SOUTHAMPTON
PP. 96-104
- 2.- TITOV N.A. YUASTEPANOV: 1981
TECNOLOGIA DEL PROCESO DE LA FUNDICION
EDITORIAL MOSCU
- 3.- MURPHY A.V. 1968
NON FERROUS FOUNDRY METALLURGY
PERGAMON PRESS LTD LONDON PP. 130-155
- 4.- STEPHEN I. KARSAY
DUCTILE IRON THE GATING AND RISERING
GIT - FER. ET TITANIUM
pp. 94- 100
- 5.- ALBERT I. VEINIK, 1968
THERMODYNAMICS FOR THE FOUNDRYMAN
MACLAREN AND SONS LTD LONDON PP. 119-176
- 6.- DAVIES J.L. AND KONDIC V., "MECHANISMS OF FORMATION OF SHRINKAGE CAVITIES IN CASTINGS" , EN THE BRITISH FOUNDRY MAN, FEBRERO DE 1970 VOL. 69 PP. 39-43
- 7.- GARTNEY R., GÖLLER K. " EFFECT OF MOLD MATERIAL AND FEEDING ON VOLUME CHANGES IN DUCTILE IRON CASTINGS". EN AFS TRANSACTIONS, VOL. 89, SORLI, QUEBEC, CANADA. 1981 PP. 157-166.
- 8.- CLYNE T.W. AND DAVIES G.J. " VOLUME CONTRACTIONS ACCOMPANYING SOLIDIFICATION OF ALUMINIUM - COPPER ALLOYS". THE METALS SOCIETY, MAYO 1978. PP. 233-238
- 9.- SMITHELLS, G.J.
METALS REFERENCE
BOOK, 4th
ED. BUTTERWORTHS
LONDON 1967
- 10.- JOHN V. Mc. REITA
ENCICLOPEDIA OF CHEMICAL PROCESSINGS EN A DESING.
VOL. 3.

- 11.- MONDOLFO
ALUMINIUM ALLORS STRUCTURE
AND. PROPERTIES PAG. 63
- 12.- WRAY P.J. "REDUCED VOLUME CHANGE BEHAVIOR ACCOMPAN-
YING THE SOLIDIFICATION OF BINARY A ALLOYS" METALLUR-
GICAL TRANSACTIONS B DICIEMBRE DE 1976, VOL. 7B., PP.
639-646.
- 13.- CAPELLO EDUARDO
TECNOLOGIA DE LA FUNDICION
EDITORIAL GUSTAVO GILL, S.A. BARCELONA 2a. EDICION