

1
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

“ENSAYO DE FLUIDEZ EN ESPIRAL PARA
ALEACIONES DE COBRE”

TESIS MANCOMUNADA
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
P R E S E N T A N
GERARDO ARAMBURO PEREZ
JOSE GUILLERMO CORDOVA MIRANDA

México, D. F.

1987



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.

I N D I C E

I.	INTRODUCCION	5
II.	ANTECEDENTES	6
II.1	SOLUCIONES ANALITICAS DE ALEACIONES PARA LA FLUJO-HABI LIDAD Y LLENABILIDAD	8
II.2	LLENABILIDAD	11
III.	GENERALIDADES	15
III.1	PRUEBA DE FLUJO RECTO CONTINUO	17
III.2.	ENSAYO DE FLUIDEZ CON SUCCION POR VACIO	18
III.3	ENSAYO DE FLUIDEZ EN CANALES RECTOS	19
III.4	ENSAYO DE FLUIDEZ TIPO "U"	20
III.5	ENSAYO DE FLUIDEZ EN ESPIRAL	21
IV.	ANALISIS DE VARIABLES QUE AFECTAN LA FLUIDEZ	23
IV.1	VARIABLES DEL MOLDE	23
IV.1.1	TEMPERATURA DEL MOLDE	23
IV.1.2	PERMEABILIDAD	23
IV.1.3	PRESION DE CABEZA DE LLENADO	24
IV.1.4	FACTORES EXTERNOS	26
IV.2	VARIABLES DE LA ALEACION	27
IV.2.1	SOLIDIFICACION MORFOLOGICA	27
IV.2.2	TEMPERATURA DE VACIADO	28
IV.2.3	DIFUSIVIDAD TERMICA	28
IV.2.4	CALOR DE FUSION	29
IV.2.5	VISCOSIDAD	29
IV.2.6	TENSION SUPERFICIAL	30

IV.2.7	PELICULA DE OXIDO	30
IV.2.8	MODIFICACIONES QUIMICAS	31
V.1	TEORIA DE SOLIDIFICACION DE METALES Y ALEACIONES	32
V.2	NUCLEACION	33
V.3	SOLIDIFICACION EN ENSAYOS DE FLUIDEZ	34
V.3.1	ALEACIONES DILUIDAS	37
V.3.2	SOLIDIFICACION DE ALEACIONES	38
V.4	SOLIDIFICACION DE ALEACIONES DE COBRE	40
VI.	ENSAYO DE FLUIDEZ UTILIZADO	44
VII.	PARTE EXPERIMENTAL	47
VII.1	PREPARACION DE LAS ALEACIONES	47
VII.2	MOLDEO	51
VII.3	PROPIEDADES DE LAS ARENAS DE MOLDEO	52
VII.4	PREPARACION DE LAS ARENAS	53
VIII.	CONDICIONES EXPERIMENTALES	56
XI.	RESULTADOS	58
X.	DISCUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	66
XI.	CONCLUSIONES	69
	RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS POSTERIORES	70
	ANEXO	71
	BIBLIOGRAFIA	77

I. INTRODUCCION

Una de las principales dificultades que existen en la fundición, es el llenado total de piezas coladas en el molde de arena.

El éxito de la operación de vaciado depende parcialmente de ciertas cualidades del mismo metal.

El objetivo del presente trabajo es determinar como se comporta la fluidez en algunas aleaciones de cobre (Latón 80-20, 60-40, y bronce al aluminio Cu-Al 8%) en función de la temperatura de colada y la composición del metal; para generar gráficas del comportamiento del índice de fluidez para aplicarlo al diseño de sistemas de colada.

En la manufactura de piezas coladas se desea una reproducción precisa y detallada, especialmente cuando ésta se compone de secciones delgadas e intrínsecas; condiciones que pueden acarrear problemas a la calidad de la pieza como un mal llenado de la cavidad que conforma a la misma y por lo tanto una defectuosa definición de las características superficiales de ésta, a que el metal carece de la habilidad para llenar la cavidad del molde.

A fin de evitar estos tipos de problemas en la fundición se han llevado a cabo pruebas de gran importancia que permiten minimizar éste tipo de defectos, como son las pruebas de fluidez.

II. ANTECEDENTES

El término de fluidez ha sido utilizado por los fundidores, como la habilidad del metal líquido a fluir y llenar detalladamente el molde.

En las primeras investigaciones realizadas sobre la fluidez se consideró que era un concepto empírico, en el cual estas investigaciones no eran afectadas por ciertas propiedades únicas de una dada composición del metal, y no es el recíproco de la viscosidad.

En estudios mas recientes sobre la fluidez, este concepto ha sido separado para su mejor estudio en dos aspectos más definibles ¹:

Flowability: Habilidad del transporte del flujo metálico o (Flujo-habilidad).

Fillability: Habilidad para la reproducción detallada de la pieza o (Llenabilidad).

Estos dos términos descritos por Campbell y Olliff¹ fueron utilizados para estudios recientes.

Flujo-habilidad: Término que relaciona a un estado dinámico en el cual el proceso normal de solidificación es el mayor limitante

del flujo. Este concepto es más importante en sistemas de corre-
dores y largas secciones de fundición. Este concepto es normal-
mente utilizado como fluidez.

Llenabilidad: Término que depende del criterio hidrostático, en
volviendo el balance entre la cabeza metalostática y la tensión
superficial.

En fundiciones en arena, investigaciones realizadas por Wood y -
Gregg, la llenabilidad es una cualidad de la fundición y la defi-
ne como la agudeza para la reproducción de esquinas formas del -
molde.

Campbell y Olliff¹ describen la llenabilidad como el factor que
limita la habilidad de llenado del molde en caso de detalles fi-
nos y pequeñas secciones de tamaño, en rangos aproximadamente de
1 mm. de radio.

La habilidad para un dado radio o esquina es concerniente al ba-
lance entre la cabeza metalostática y la tensión superficial.

II.1 SOLUCIONES ANALITICAS DE ALEACIONES PARA LA FLUJO-HABILIDAD Y LLENABILIDAD

Flemings y colaboradores⁸, analizaron la flujo-habilidad de aleaciones ricas en solutos, el flujo es detenido por una concentración crítica de sólidos del tipo de flujo, suponiendo que:

- Todas las partículas sólidas se forman en el flujo del canal.
- Detención del flujo cuando es pobre la concentración de soluto en la zona cercana del tipo de flujo que alcance un porcentaje crítico de sólidos.
- La velocidad del flujo es constante hasta que se pare el flujo.

Considerando la temperatura del flujo, el molde es plano e infinitamente grueso y la resistencia al flujo de calor en la frontera entre el metal-molde (en el molde son necesarias estas consideraciones).

Analizando la habilidad del flujo metálico para aleaciones se llegó a la ecuación básica de la flujo-habilidad.

$$L_f = \left[\frac{\Delta P V (L M + C(T - T_r))}{S m (T - T_m)} \right] + \left[1 + \frac{\sqrt{\pi \frac{K A_x}{C' P'}}}{V V} \right]$$

Esta ecuación predice que para una aleación dada varía la flujo-habilidad como sigue:

- La flujo-habilidad (fluidez) es proporcional al radio de la sección transversal de la circunferencia.
- La fluidez se incrementa con la velocidad de vaciado.
- La fluidez se incrementa cuando decrece el coeficiente de transferencia de calor entre el metal-molde.
- La flujo-habilidad es una función lineal del sobrecalentamiento ($T_c - T_f$) donde: T_c = Temperatura de colada T_f = Temperatura de solidificación. (no es cero en la temperatura de liquidus).

La fluidez se incrementa cuando se incrementa la temperatura del molde.

L_f	= Flujo-habilidad (fluidez)	(cm)
K	= Concentración crítica de los sólidos requeridos para determinar el flujo en una aleación sensible	(Wt %)
C	= Calor específico del metal	(cal/g°C)
H_f	= Temperatura de fusión del metal	(cal/g)
T	= Temperatura del metal líquido	(°C)
T_f	= Temperatura de liquidus del metal	(°C)
S	= Circunferencia del canal del molde	(cm)
T_m	= Temperatura del molde	(°C)

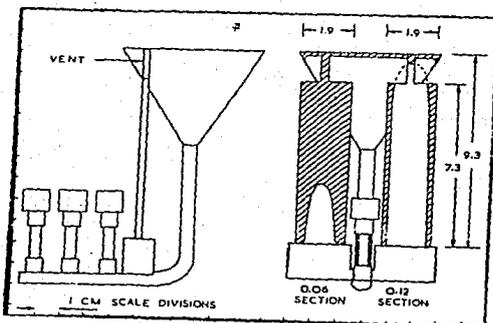
K' = Conductividad térmica del molde (cal-seg-cm-°C)
 A_x = Longitud de la zona de estrangulamiento (cm)
 C' = Calor específico del molde (cal-g-°C)
 ρ' = Densidad del molde (g-cm³)
 L = Altura (cm)
 h = Coeficiente de transferencia
calor metal-molde (cal/cm²-seg-°C)
 V = Volumen (cm³)

II.2 LLENABILIDAD

Campbell y Olliff¹, describen la llenabilidad como el factor el cual, limita la habilidad de llenado del molde en caso de detalles finos y secciones de pequeño tamaño, en un tamaño aproximado de 1 mm.

La habilidad de llenar un radio o esquina es concerniente a un balance entre la cabeza metalostática y la tensión superficial, si éste está en equilibrio o en condición estática (mientras el metal es líquido) no depende fuertemente de la cantidad de calor disponible para mantener la aleación líquida.

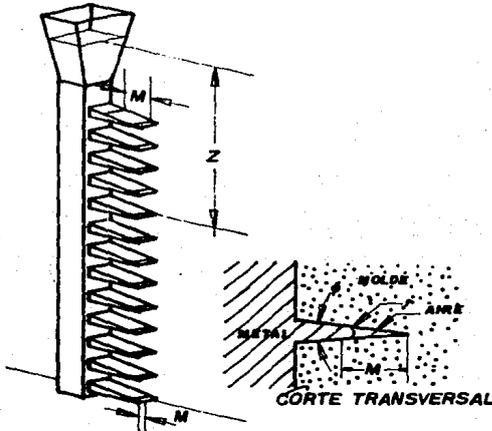
Para este análisis de llenabilidad utilizaron un modelo con una superficie vertical en forma de hoja, llenada por el fondo. (Figura II.1)



Modelo de ensayo de llenabilidad en forma de hojas. Ref: 1

Esta geometría no se compara bien con el actual modelo usado -- en recientes trabajos de investigación. El modelo es de tipo vertical de poliestireno volátil (modelo perdido), el cual es utilizado para investigaciones para pequeñas piezas de fundición.

Las modificaciones al análisis son las siguientes: La geometría bajo consideración es una serie de cuñas anchas y gruesas las cuales salen horizontalmente rectas entre paredes paralelas. (Figura II.2)



Prueba de llenabilidad en forma de cuñas. Ref. 2

Asumiendo:

- 1.- La superficie libre del líquido es cilíndrica.
- 2.- El ángulo de contacto entre el metal y el molde es de 180°
- 3.- No hay presión negativa o positiva del aire en el interior.

Cuando el sistema esté en equilibrio según Campbell y Olliff¹, el exceso de presión necesaria para formar una nueva superficie contra la fuerza de la tensión superficial debe ser igual a la presión efectiva de la cabeza del metal líquido. El equilibrio del radio formado en la superficie del metal libre está dado por la siguiente ecuación:

$$M = \frac{r}{\tan(\frac{\alpha}{2})} = \frac{\sigma}{\rho g Z' \tan(\frac{\alpha}{2})}$$

La distancia del no llenado " M " puede ser determinado por la geometría de la cuña. (Figura II.2)

Asistencia que sirve para mejorar la habilidad de llenado de esquinas agudas.

- Energía cinética del vaciado.
- Vacío parcial en la cavidad del molde el cual incrementa la energía cinética de la caída del metal.

En simples términos para mejorar la habilidad de llenado en fundición: El sistema de corredores es un proceso característico de la flujo-habilidad (fluidez), que conduce el metal líquido a la cavidad del molde con suficiente sobrecalentamiento, tal que, la cabeza metalostática puede llenar los detalles.

Si el detalle es muy fino una gran cabeza metalostática podrá ser requerida.

M = Distancia del no llenado.

g = Aceleración por la fuerza de gravedad.

Z' = Cabeza metalostática.

ρ = Densidad del metal.

ϕ = Angulo de la cuña.

σ = Tensión superficial.

III. GENERALIDADES

Generalmente ha sido observado en la práctica de fundiciones, - en el llenado de moldes de diseño complicado, particularmente - aquellos de los cuales incluyen varias secciones que algunas - aleaciones llenan la cavidad del molde y reproducen detalles en la fundición terminada, mejor que otras. Esta propiedad particular de una aleación, ha sido definida por los fundidores como fluidez de fundición o simplemente fluidez.

Podemos decir; la fluidez es una propiedad empírica compleja. - Datos experimentales indican que la fluidez puede ser influen- ciada por ciertas propiedades físicas, químicas de los aleantes, por las características de los moldes y por los métodos usados en el llenado de los moldes. Fue por lo tanto necesario diseñar o establecer una prueba que satisfaga la definición empírica de la fluidez y que relacione tales mediciones arbitrarias de la - fluidez a las propiedades físicas y fisicoquímicas, del metal y del molde, y a las fuerzas que actúan sobre el metal durante el llenado del molde.

En la actualidad la fluidez es medida usando una gran variedad de diseños de piezas para efectuar la prueba, con el objeto de obtener una medida comparativa de la sensibilidad de la fluidez en un tipo particular de pieza, variando el molde, el metal, - el llenado del molde, etc.

Un número variado de pruebas han sido propuestas para medir la fluidez o índice de fluidez.

Estas pruebas se pueden clasificar en:

- Pruebas de tipo recto continuo.
- Pruebas de succión por vacío.
- Pruebas en canales rectos y planos.
- Pruebas en canales curvos y en espiral.

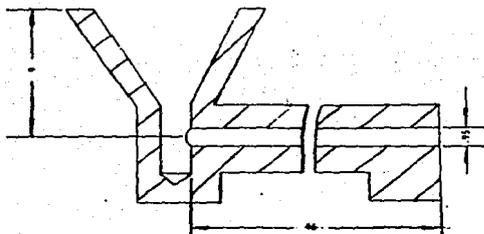
El problema de seleccionar una pieza o modelo de prueba es -- esencialmente, que usando una característica específica en este diseño, muestre un grado perceptible de la sensibilidad de las variables de especial interés para una aplicación particular.

III.1 PRUEBA DE FLUJO RECTO CONTINUO

Esta es una prueba particularmente sensible a variaciones de la velocidad de vaciado, es una prueba de flujo recto.

Esta prueba es, de la: Acid Open Hearth Research Association - Skag Fluidimeter. Usada en investigaciones por Prussin, Fitterer³.

En esta prueba de fluidez, se determina esencialmente la habilidad de flujo metálico crítico.



Modelo utilizado para los ensayos de fluidez usado por Prussin y Fitterer. Ref. 3

III.2 ENSAYO DE FLUIDEZ CON SUCCION POR VACIO

Taylor, Flemings y colaboradores han realizado pruebas de habilidad de flujo metálico (Flujo-habilidad) por un período cercano a 10 años usando un fluidímetro al vacío.

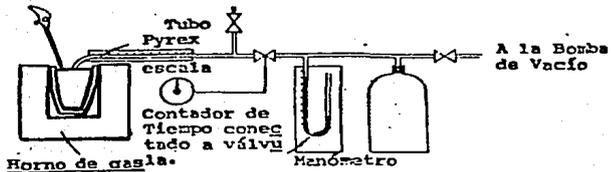
Las mas importantes ventajas de esta prueba son:

- La cabeza de presión es reproducible instantánea y constante durante el experimento.
- El flujo es visible durante la prueba, de modo que la velocidad y el fluido pueden ser observados.
- Las variaciones del molde son mínimas.
- El flujo de metal limpio deseado es vaciado directamente hacia el interior del molde.

Principales desventajas:

- Las variables del molde no pueden ser estudiadas.
- La habilidad de llenado (Llenabilidad) no puede ser estudiada (probada).

Al Potenciómetro



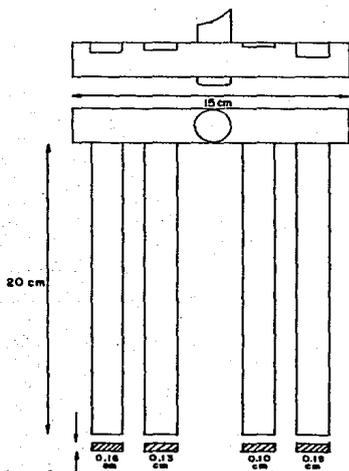
Fluidímetro al vacío para los ensayos de fluidez utilizados -
por Taylor y colaboradores. Ref: 6

III.3 ENSAYO DE FLUIDEZ EN CANALES RECTOS

Cooksey, Kondic y Wilcock⁵; diseñaron una probeta de ensayo para fundición en arena (utilizando el proceso CO_2). Este modelo consiste en una vasija de vaciado, un corredor vertical y un corredor horizontal que alimenta a cuatro tiras de diferente espesor.

La longitud total de las cuatro tiras coladas se usa como índice de la fluidez de la fundición.

Se utiliza para ensayos en el cual se quiere detectar la facilidad de llenado de piezas delgadas o piezas con mucha área superficial y poca mása metálica.



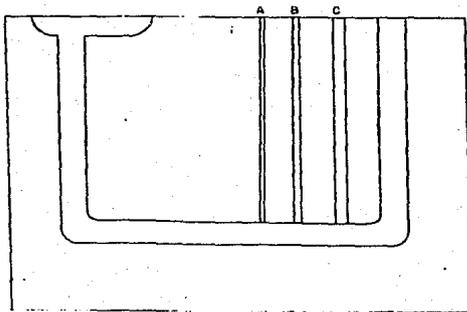
Modelo utilizado para ensayos de fluidez diseñado por Cooksey y colaboradores. Ref: 5

III.4 ENSAYO DE FLUIDEZ TIPO "U"

Krynitsky⁴; utilizó un tipo de molde permanente tipo "U" para pruebas de fluidez recomendadas por el Institute The British Foundrymen. En este ensayo el metal es vaciado dentro del molde hasta que se llena el alimentador.

El índice de fluidez es la medida de la longitud del recorrido de las ramas de 2, 4, y 6 mm. de diámetro.

Este diseño incorpora caída de presión baja y canales de flujo estrecho, junto con alta velocidad de solidificación acentuada por un molde de alta conductividad, pero no proporciona un cono cimiento profundo de los problemas de llenabilidad. Esta prueba es esencialmente para determinar la habilidad del transporte del flujo metálico.



Modelo utilizado para ensayos de fluidez tipo "U" recomendado por el Institute the British Foundrymen. Ref: 4.

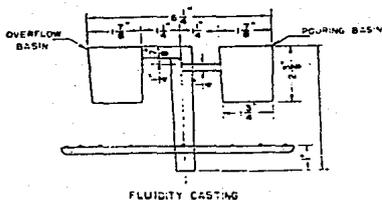
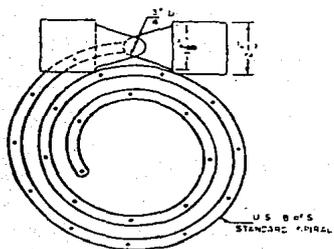
III.5 ENSAYO DE FLUIDEZ EN ESPIRAL

Schaefer y Mott⁷; designaron solamente una espiral, la cual dió una reproducibilidad excelente; dos principales variables afectan la reproducibilidad y exactitud en los datos de fluidez.

- Diseño del depósito de vaciado y canal alimentador.
- Medición de la temperatura.

Las variaciones en el modelo de espiral, han sido principalmente, concernientes al problema de la obtención de condiciones verdaderamente estándares de flujo metálico.

El modelo utilizado en este trabajo es el de Seager y Krynitsky, más adelante nos referiremos a éste.



Modelo de fluidez en espiral de Schaefer y Mott. Ref: 7

IV.- ANALISIS DE VARIABLES QUE AFECTAN LA FLUIDEZ.

IV-1 VARIABLES DEL MOLDE.

IV-1-1 TEMPERATURA DEL MOLDE.

Elevar la temperatura del molde es una técnica que ayuda al llenado detallado de éste. Ya que el flujo de calor del metal hacia el molde está en función de la diferencia de temperaturas entre el metal y el molde; aumentando la temperatura del molde se incrementa la fluidez (flujo-habilidad) del metal líquido.

La llenabilidad no es afectada fuertemente como supuestamente se pensaría por el incremento de la temperatura de éste; a menos que la tensión superficial sea afectada por el cambio de temperatura.

IV-1-2 PERMEABILIDAD.

Como la cavidad del molde debe ser llenada exactamente con el metal en un corto tiempo, es importante que cualquier gas en el espacio del molde pueda escapar antes que el metal solidifique.

A mayor permeabilidad del molde la facilidad para que el gas se disipe a través de los huecos entre los granos de la arena es mayor, resultando que el metal pastoso llena detalladamente el molde.

Permeabilidad = K

Es definida como: $K = \frac{V'}{Pt A}$

Donde:

V' = Volumen del gas (cm³)

P = Presión del gas (dinas/cm)

t = Tiempo del flujo (seg)

A = Area (cm²)

IV-1-3 PRESION DE CABEZA DE LLENADO (metalostática)

Esta variable afecta la fluidez porque está relacionada con la velocidad del metal en el molde; también afecta la llenabilidad ya que es ésta la fuerza la cual contrarresta la tensión superficial del metal para llenar detalladamente el molde.

La presión de la cabeza es el producto de la altura a la que es vaciado el metal, la densidad del metal y por la aceleración debida a la gravedad. Así la presión de la cabeza tiende a llenar el detalle (pieza) en el fondo del molde más que la parte de arriba del molde, es por ésto, que la cabeza metalostática es considerada como una variable del molde. Las dificultades experimentales se encuentran en el estudio de la presión de la cabeza y es cuando los limitantes de la fluidez son dinámicos,

las fluctuaciones de la presión de la cabeza durante el vaciado puede causar resultados de fluidez erráticos. Kondic⁵ reporta que grandes errores debido a la variación de la cabeza durante el vaciado pueden ser evitados llenando la olla de colada con la cantidad exacta de metal a ser vaciado y luego vaciarla tan rápido como sea posible, utilizando esta técnica se encontró -- que la fluidez es aproximadamente, una función lineal de la cabeza de presión.

La cabeza crítica de metal se define como la cabeza mínima requerida para vencer la tensión superficial.

Si uno supone que el metal no moja; la cabeza crítica del metal "Z" puede ser calculada por:

$$Z = \frac{2\sigma}{Rfg}$$

Donde:

- | | | |
|----------|----------------------------|------------|
| σ | = Tensión Superficial | (dinas/cm) |
| R | = Radio del Tubo | (cm) |
| f | = Densidad del metal | (g/cm) |
| g | = Aceleración por gravedad | (cm/seg) |

IV-1-4 FACTORES EXTERNOS

El vacío es una ayuda física para el proceso de vaciado común - de fundiciones de paredes extremadamente delgadas, el vacío remueve los gases del molde ayudando a la fluidez, por incrementar la velocidad del metal y proporcionar una adicional succión estática mejorando la llenabilidad.

IV-2 VARIABLES DE LA ALEACION

IV-2-1 SOLIDIFICACION MORFOLOGICA

Un compendio por Engler, Fleming⁶, Prussin, Fitterer³ y Niesse, dan mecanismos de solidificación los cuales, son una importante variable en la determinación de la fluidez de un metal puro o aleación.

Mecanismos de Solidificación:

- Frente Plano.
- Frente Rugoso o Aspero.
- Solidificación Equiaxial.

La teoría y observaciones hechas por Niesse, Flemings y Taylor⁸, describen tres modos de solidificación los cuales afectan la distancia del flujo en la fluidez en canales. En el caso de metales puros y aleaciones diluidas el flujo fue obstruido cerca de la entrada. Con aleaciones de alto porcentaje, los cristales obstruyen el flujo lejos de la entrada (esto se comentará más profundamente en secciones posteriores).

IV-2-2 TEMPERATURA DE VACIADO

Incrementando la diferencia entre la temperatura de liquidus y la temperatura de vaciado de cualquier aleación da como resultado una mayor Flujo-habilidad (Fluidez).

Incrementando la temperatura de vaciado no necesariamente causa un mejor llenado de agudas esquinas, diversos tipos de pruebas realizadas muestran que cuando se alcanza una temperatura crítica en un dado sistema, el incrementar la temperatura del metal, no mejorará las fallas de reproducción detallada de la pieza.

IV-2-3 DIFUSIVIDAD TERMICA

La difusividad térmica de un metal líquido es una medida de la rapidez del metal a perder calor y solidificar.

Para mejorar la fluidez es necesario reducir la conductividad térmica, y en el caso del metal líquido incrementar el calor específico y densidad. La difusibilidad térmica no afecta fuertemente o significativamente a la llenabilidad.

IV-2-4 CALOR DE FUSION

En el flujo de aleaciones, en la temperatura de liquidus, el calor de fusión de la primera fase a cristalizarse puede ser una fuente para incrementar la fluidez. Por ejemplo: En una aleación Al-Si hiper-eutéctico el alto calor de fusión del constituyente proeutéctico, o sea, las partículas del "Si" (Silicio) sirvieron para incrementar la fluidez. (2).

IV-2-5 VISCOSIDAD

El concepto de flujo viscoso está basado en la relación de fuerzas externas produciendo el movimiento de un líquido y dirigiendo las fuerzas para repetir el desplazamiento de las capas del líquido para una posición de equilibrio, es el resultado de la fricción interna.

La viscosidad decrece con el incremento de la temperatura; según Korol'kov ésta está asociada con la erosión de la estructura del metal líquido y el debilitamiento de las fuerzas interatómicas de atracción.

IV-2-6 TENSION SUPERFICIAL

El efecto de la tensión superficial en la ecuación de flujo-habilidad o fluidez es constante. Esta ecuación predice que grandes cambios en la tensión superficial no tuvieron efecto significativo en la velocidad del flujo cuando el tamaño del canal de flujo y la cabeza metalostática no son pequeños. En investigaciones para aceros la flujo-habilidad se puede afectar significativamente por la tensión superficial cuando el canal de flujo es menor de 0.2 cm. de diámetro y la cabeza del metal es menor de 8.0 cm.

La fluidez se incrementa aproximadamente en forma lineal a medida que se incrementa la velocidad del flujo.

IV-2-7 PELICULA DE OXIDO

Ragone, Wood y Gregg, consideraron que la película de óxido natural en la superficie de un metal líquido tiene un efecto significativo en la fluidez. La película de óxido que está en el metal y la temperatura de vaciado pueden significar un aumento en la tensión superficial y reducir la habilidad del metal para llenar detalles pequeños.

Cooksey y colaboradores⁵, utilizando un tipo de prueba de barras para fluidez concluyeron: La fluidez de un latón decrece con la adición de "Al" (aluminio) en pequeñas cantidades, - esto se atribuye a las fuerzas de la película de óxido sólido del (Al_2O_3) que deteriora por igual a la flujo-habilidad y a la llenabilidad.

IV-2-8 MODIFICACIONES QUIMICAS

Los agentes aleantes pueden afectar la flujo-habilidad y a la llenabilidad porque:

- Cambian la temperatura de liquidus.
- Cambian el rango de la temperatura en la cual ocurre la solidificación y esto afecta el patrón de solidificación.
- Cambian la película natural de óxidos en la superficie - del metal líquido.
- Cambian la disolución de gases liberados por el metal líquido.
- Cambian algunas características físicas del metal (viscosidad, temperatura de fusión).

Por estos motivos, estos cambios químicos afectan la fluidez.

V.- TEORIA DE LA SOLIDIFICACION DE METALES Y ALEACIONES

La solidificación es la transformación del estado líquido al estado sólido. Este proceso se lleva a cabo por la nucleación y crecimiento de una nueva fase. Cualquier proceso que esté basado en la solidificación de un metal tiene el propósito de producir una pieza de metal sólido que cumpla con determinados requerimientos, de la naturaleza de los cuales depende la aplicación a que se destine; sin embargo es casi siempre cierto, que los requerimientos pueden ser divididos en dos tipos: Especialmente el geométrico y el estructural. Las consideraciones geométricas son las formas externas satisfactorias y los huecos internos, si existen, que deben estar dentro de los límites permisibles de tamaño, forma y localización. Si el metal solidificado es aceptable sobre las bases de sus características geométricas entonces, se plantea averiguar si sus propiedades son adecuadas, y esto está determinado por su estructura.

Cuando se trata de aleaciones, la solidificación involucra macro y micro segregación, ya que el sólido formado tiene una composición distinta a la del líquido.

V-2 NUCLEACION

La nucleación comienza cuando al metal líquido se le forma un núcleo sólido como respuesta a una fuerza impulsora que provoca el cambio de una posición de equilibrio a otra.

Esta fuerza impulsora es el cambio en la energía del sistema.

Cuando la probabilidad de formar un núcleo es la misma en todas partes, el sistema está en estado apropiado para la nucleación homogénea. Sin embargo, a menos que esté arreglado especialmente, este estado de cosas raramente existen en la práctica. En los sistemas grandes y reales por ejemplo: en los baños de metales y escorias fundidas, hay por lo general algunos lugares donde los trabajos de nucleación es mucho más pequeño que el promedio, como en superficies rugosas de la pared del recipiente o partículas de cuerpos sólidos extraños en el medio de reacción. Debido a que el trabajo para llevar a cabo la nucleación es pequeño en estos lugares, la nucleación puede ocurrir preferencialmente en ellos, y el sistema está entonces en un estado adecuado para la nucleación heterogénea.

V-3 SOLIDIFICACION EN ENSAYOS DE FLUIDEZ

El fundidor mide esta propiedad en alguno de los variados tipos de ensayos de fluidez que existen. En estos ensayos el

metal líquido a fluir es introducido en un canal largo de sección transversal pequeña (el canal está a la temperatura ambiente). La longitud que fluye en el canal antes de detenerse por la solidificación, es la medida de la fluidez.

Considerando ahora el flujo y la solidificación de un metal puro en su punto de fusión, en un canal de ensayo de fluidez; en el instante que este metal entra al canal, comienza la solidificación en la entrada del canal; mientras en estos sitios también. Sin embargo debido a que la solidificación empezó primero en la entrada del canal, es aquí que el flujo es obstruido.

La longitud total que fluye el metal antes de detenerse es la fluidez. La figura (V-1) ilustra el proceso.

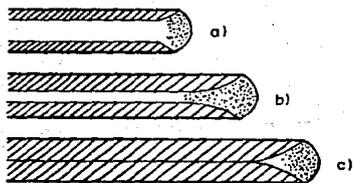


Figura (V-1)

Flujo y solidificación de un metal puro en un canal de fluidez, sin sobrecalentamiento. Ref: 6

- a) El metal líquido entra al canal y comienza a solidificarse en forma de granos columnares en la intercara sólido-líquido.
- b) Los granos crecen hacia el centro del molde.
- c) El flujo se detiene como resultado del estrangulamiento en la entrada del canal.

Un análisis de este problema puede ser realizado usando algunas suposiciones:

- No decrece la velocidad del flujo por efectos de fricción y aceleración.
- No es significativo el efecto de tensión superficial en la velocidad del flujo.
- La caída de presión aplicada, y la velocidad del extremo de la corriente es constante.
- Toda la resistencia para el flujo de calor es en la interfase metal-molde. (Este tipo de transferencia de calor se le llamará de "Tipo h").

La longitud del flujo "L", puede ser relacionado con el tiempo "Ø" por la siguiente ecuación:

$$L = V_o \theta$$

V_o = Velocidad del flujo.

Y la longitud total del flujo (fluidez) está relacionada por:

$$L_r = \frac{\rho P_s V_o}{2h(T_m - T_o)}$$

Donde: L_f = Fluidez

ρ = Densidad de fusión

T_m = Temperatura de fusión

h = Coeficiente de transferencia de calor

$a/2$ = Radio de la sección transversal del canal.

El sobrecalentamiento aumenta la fluidez en una forma simple, cuando el flujo de calor está controlado por el coeficiente de transferencia de calor "h". La longitud adicional del flujo debido al sobrecalentamiento, es simplemente la longitud requerida para dispersar el exceso de éste.

La fluidez para un metal sobrecalentado está dado por esta ecuación:

$$L_f = \frac{\rho \rho_s V_o}{2h(T_m - T_o)} (H + c'\Delta T)$$

Donde: ΔT = Es el sobrecalentamiento.

Esta ecuación ilustra muchas de las variables que influyen en la fluidez como la considera el fundidor.

La longitud del flujo depende sensiblemente del tamaño del canal y del coeficiente de transferencia de calor en la interfase. Este aumento es aproximadamente en forma lineal con el sobrecalentamiento, depende también de la velocidad de flujo que es aproximadamente la raíz cuadrada de la altura de la caída del metal.

V-3-1 ALEACIONES DILUIDAS

La adición de elementos de aleación a un metal puro siempre disminuye su fluidez (a un sobrecalentamiento dado) la razón para la disminución es que la solidificación ya no tiene lugar con frente de plano. Las dendritas que se forman crean más resistencia al flujo de fluido en una etapa más temprana de la solidificación.

La figura (V-2) muestra esquemáticamente ésto, para granos columnares tales como los encontrados generalmente en fundiciones de ensayos de fluidez, de aleaciones diluidas con grano sin refinar.

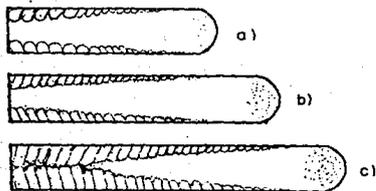


Figura (V-2)

Flujo y solidificación de una aleación diluida sin sobrecalentamiento.

Ref: 6

- (a) El flujo entra al canal; empieza a formarse granos columnares dentados en la interfase Liq-Sol fasetada.
- (b) Crecer los granos columnares hacia el centro del flujo metálico del canal.
- (c) Detención del flujo; ocasionado por la extrangulación en la entrada del canal.

En aleaciones de grano refinado, algunos granos finos son transportados junto con el extremo de la corriente del flujo. Así que, la detención del flujo puede ser como se ilustra en la figura (V-3), por la formación de suficientes sólidos en el extremo para bloquear el flujo.

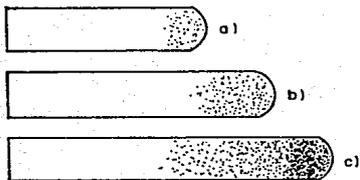


Figura (V-3)

Flujo y solidificación de una aleación rica en soluto sin sobrecalentamiento.

Ref: 6

- (a) El flujo metálico entra al canal; se forman finos núcleos en el extremo de éste.
- (b) Continúa la nucleación y finos granos crecen rápidamente.
- (c) El flujo se detiene cuando llega a una concentración crítica de sólidos cerca del extremo.

V-3-2 SOLIDIFICACION DE ALEACIONES

La mayoría de las piezas coladas producidas están relacionadas con la solidificación de aleaciones. La solidificación de estas difieren de la de un metal puro en tres formas:

- La composición del primer sólido formado es diferente a la del líquido residual.

- La solidificación de aleaciones ocurre principalmente sobre un rango de temperatura.
- Puede haber más de una fase sólida que se forme a partir del líquido.

Considerando una aleación binaria de B disuelto en A, ésta puede presentarse por el diagrama de fases de la figura (V-4). En este sistema de metales y en la mayoría de las aleaciones comerciales, la temperatura de solidificación disminuye cuando se adiciona B, esto está indicado por la línea de liquidus; puede observarse también, por ejemplo una aleación de composición "Co", no solidifica a una temperatura fija, sino sobre un rango de temperatura. La temperatura a la cual inicia la solidificación se llama de liquidus y a la cual termina se le denomina solidus. Entre estas dos temperaturas existe una zona pastosa (musky). La extensión de dicha zona depende de la diferencia de temperaturas entre liquidus y solidus (llamada rango de solidificación) y del gradiente térmico. Estos conceptos se ilustran en las figuras: (V-5 y V-6)

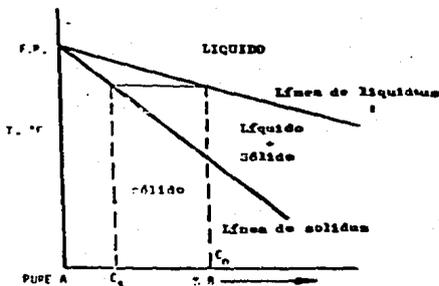


Figura V-4 Diagrama de fases de aleación binaria. Ref: 11

V-4 SOLIDIFICACION DE ALEACIONES DE COBRE

Las aleaciones de cobre¹⁵ pueden separarse en dos grupos, los cuales presentan diferentes modos de solidificación:

- Con rango corto de solidificación.
- Con rango largo de solidificación.

Algunas aleaciones de cobre, tales como los bronce al estaño, exhiben un comportamiento intermedio entre los anteriormente enunciados.

Las aleaciones con rango de solidificación corto, solidifican sobre un rango de temperaturas que sigue un modelo similar al -

de la solidificación de metales puros y aceros. A estas aleaciones se les llama también, de solidificación en forma de capas o costra; el modelo es como el presentado en la figura (V-7). Las aleaciones que solidifican de esta manera son: el cobre desoxidado, bronce al aluminio, bronce al silicio, latones amarillos de corto rango, cuproníqueles y cobre al berilio.

Las aleaciones con rango largo; solidifican sobre un rango amplio de temperaturas y siguen un modelo similar a algunas aleaciones de aluminio. La solidificación se inicia en las paredes del molde, pero progresa muy rápidamente hacia el centro de la pieza; conforme los cristales crecen se hace más difícil la alimentación a través de los canales intergranuales. Figura (V-8).

Las aleaciones que caen dentro de este grupo son: bronce al fósforo, gunmetales, gunmetales al plomo, latones rojos, latones amarillos de largo rango y con plata y níquel.

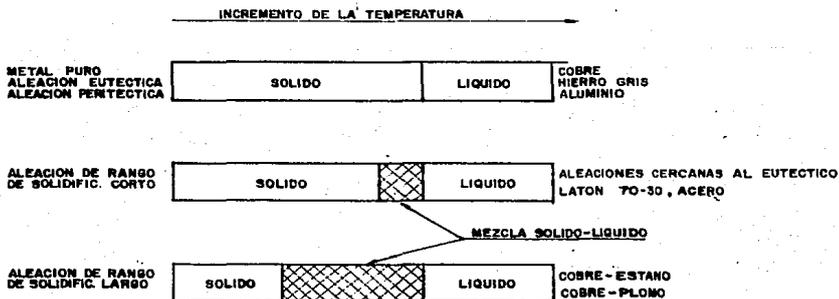


Fig. (V-5) Rango de solidificación de metales comerciales. (15)

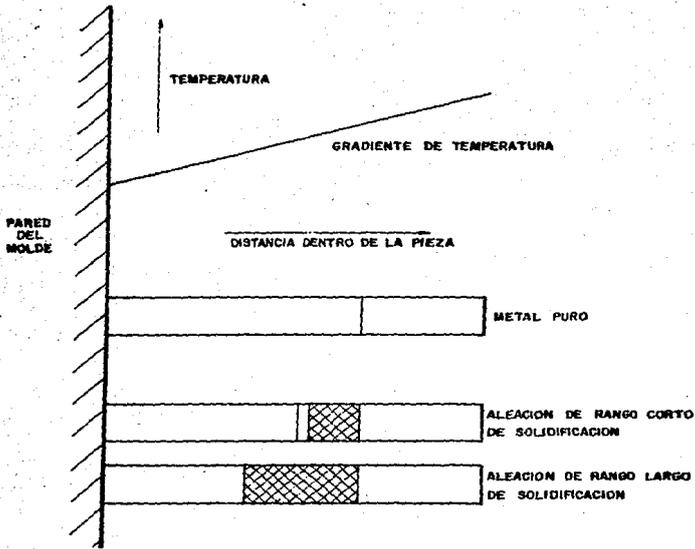


Fig. (V-6) Localización de la intercara sólido-líquido en una -
pieza. Ref: 11

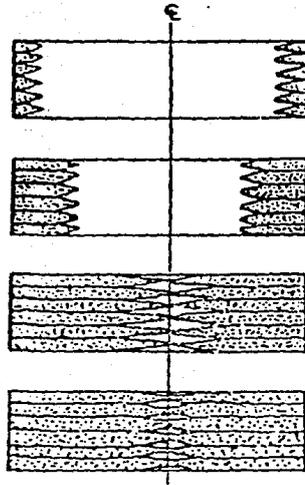


Fig. (V-7) Modo de solidificación de una aleación de rango corto. (15).

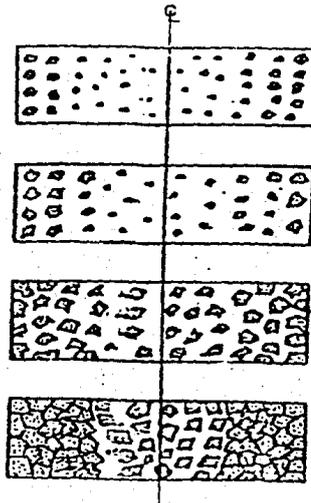


Fig. (V-8) Solidificación de una aleación de rango largo. (15)

VI. ENSAYO DE FLUIDEZ UTILIZADO

El modelo utilizado en este trabajo fué: Ensayo de Fluidéz en Espiral.

Las primeras investigaciones realizadas sobre este modelo fueron efectuadas por Seager y Krinitsky⁴, llegando a ser una de las pruebas más populares para la determinación de la fluidez en metales líquidos.

Este modelo consiste en vaciar el metal en un molde, teniendo un canal en espiral de pequeña área de sección transversal, la espiral es bastante larga para extraer suficiente calor que causa la solidificación del metal antes de alcanzar el final del canal.

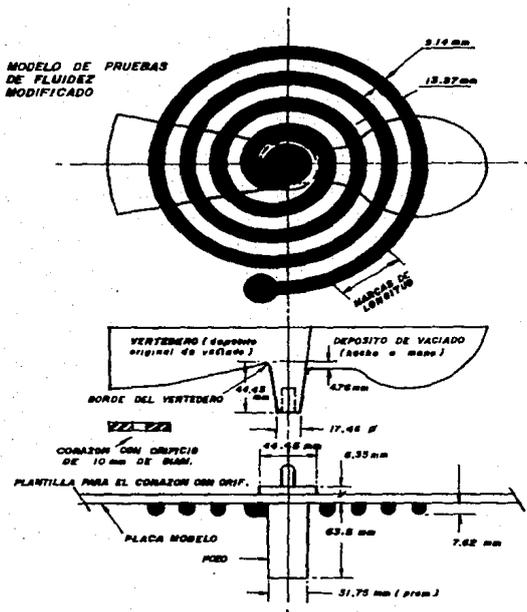
La longitud del metal obtenida en la espiral es una medida de fluidez designada por Seager y Krynitsky en la oficina de estándares y es usada generalmente para investigaciones. Modelo rechazado por no cumplir con una buena reproducibilidad, las pruebas efectuadas tuvieron una desviación estándar del 9.4% lo cual no fué la exactitud necesaria para producir una confiable información.

Observaciones hechas durante las pruebas, indicaron que fué difícil mantener un constante flujo de metal y una constante cabeza del metal. (cabeza metalostática).

Berger y Perin en 1934 propusieron un diferente sistema de alimentación al propuesto por Seager y Krynitsky, pretendiendo una desviación del 1% para pruebas de fluidez. En conformidad de Seager y Krynitsky, su modelo fué reformado en el sistema de alimentación por Berger y Perin. Los cambios hechos al modelo original, consistieron en sustituir el cuerno de entrada por un orificio y pozo, y manteniendo un nivel constante de la cabeza del metal además del uso directo del derramamiento de la cuenca.

En teoría, el primer metal en el interior empieza a llenar, esto da tiempo a llenar la tina de colada y el conducto de bajada a la altura del derrame, antes de que el metal entre a la espiral. Así que el buen llenado, al inicio del flujo del metal en la espiral y la velocidad del flujo son controlados por la cabeza constante y el tamaño del orificio del centro.

Ensayos efectuados usando el modelo de fluidez modificado, prueba que éste método es mucho más consistente. Considerando todas las pruebas que se han realizado a la fecha, se obtuvo una desviación media aproximadamente del 2%.



Dibujo a escala del modelo para pruebas de fluidez, modificado y fotografías, de piezas de prueba vaciadas según las espirales originales de Saeger y Krynitisky (izquierda), y la espiral de fluidez modificada (derecha).

VII. PARTE EXPERIMENTAL

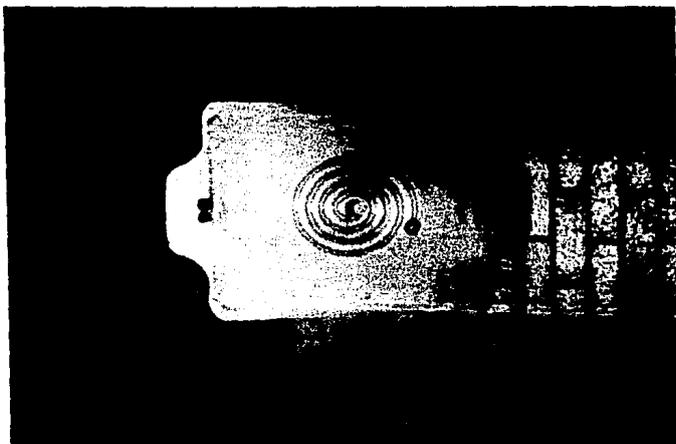
En la realización de este trabajo se utilizó el modelo empleado por Seager y Krynitsky reformado en su sistema de alimentación por Berges y Perin¹⁰. Este modelo fué construido primero en madera, que posteriormente se utilizó para obtener un molde en verde utilizando una caja de moldeo, para obtener un modelo metálico, en este caso se utilizó aluminio y fué vaciado por dos diferentes alimentadores para poder obtener la espiral completa. Este modelo metálico se montó en una placa de aluminio de 12 mm. de grueso para utilizarlo permanentemente; ya que con este método facilita la utilización para diferentes tipos de moldeo ya sea en verde o en seco.

VII-1 PREPARACION DE LAS ALEACIONES

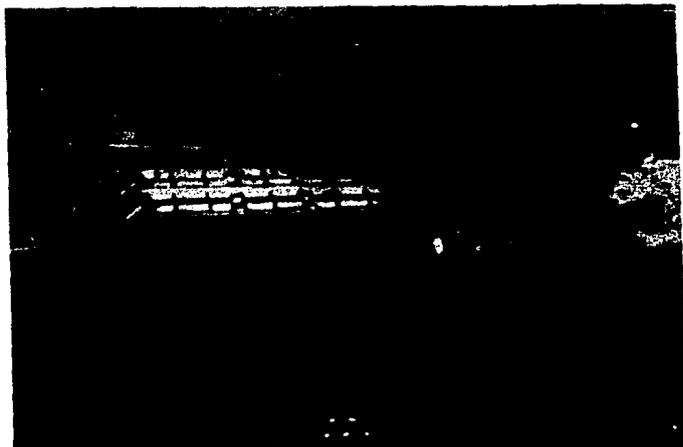
Se utilizaron 3 aleaciones diferentes base cobre, las aleaciones se obtuvieron a partir de cobre blister, Zn (zinc) y Al (aluminio) de pureza comercial.

Esta preparación de las aleaciones se llevó a cabo fundiendo los metales en un horno de crisol calentado por llama directa de gas L.P. este horno tiene una capacidad para albergar un crisol A-12 (12 Kg. de Cu). El crisol es de carburo de silicio el cual se le cubre con cemento refractario para evitar un desgaste excesivo de éste. El horno alcanza una temperatura máxima -

aproximada de 1300°C y se puede controlar con el quemador, la -
atmósfera en la cual se desea llevar a cabo la fusión, ya sea -
atmósfera oxidante o reductora.



Modelo montado en una placa de aluminio



Caja de moldeo metalica.

Para la realización de una buena fusión de la aleación debe considerarse la atmósfera del interior del horno, pues en gran parte, ella es la responsable de caldos sucios y con mucho gas absorbido. Una atmósfera reductora (rica en combustible y deficiente en aire) nos da un caldo cargado en gas, menos oxidado. Con una atmósfera oxidante (falta de combustible y exceso de aire) nos da un caldo más oxidado, y es perjudicial un exceso de oxígeno en el metal porque se forma una peligrosa película de óxido. Un metal muy oxidado es difícil para colar y la alimentación se hace con dificultad.

Se calienta el horno, que en su interior se encuentra el crisol, y se pone a precalentar el cobre, cuando el horno tiene una temperatura aproximadamente de 1000°C. Se carga el crisol con el cobre requerido y se deja hasta lograr una fusión completa; luego este objetivo se procede a desoxidar el cobre, logrado esto, se procede a agregar el elemento aleante ya sea zinc (Zn) o aluminio (Al), dependiendo de la aleación de la masa fundida con el auxilio de un bastón de madera. Obtenida la homogeneidad, se vació en el molde preparado con anterioridad.

Las aleaciones que se obtuvieron son las siguientes:

- I.- Latón 80% Cu - 20% Zn
- II.- Latón 60% Cu - 40% Zn
- III.- Bronce 92% Cu - 8% Al Bronce al Aluminio.

Fundentes:

Con el término fundente se designan una serie de sustancias que actúan de alguna de las formas siguientes:

- Como agente reductor y de eliminación de hidrógeno.
- Como cubierta protectora que impide el contacto con los gases y la consiguiente oxidación y pérdida del metal.
- Como agente limpiador.

VIII-2

MODELO

Una pieza moldeada y colada se obtiene vaciando el metal líquido en un molde, donde ha de solidificarse para tomar la forma de la cavidad de éste.

Desde luego, hay muchas etapas intermedias necesarias para lograr la pieza moldeada y controlar sus propiedades, algo no muy sencillo. Las condiciones a lo largo de todo el proceso afectan en forma extraordinaria a las características de la pieza lograda; entre aquellas, se puede citar la naturaleza del metal, la temperatura del molde, la temperatura del metal líquido, los procesos de fusión y colada, el tamaño de la pieza a obtener y la velocidad de enfriamiento.

El moldeo es de vital importancia en todo tipo de fundición, -
trátase de tipo ferroso o no ferroso; la tierra o arena de mol-
deo es material básico empleado en las fundiciones para confec-
cionar el molde, por lo que el estudio de las arenas de moldeo
es una de las ramas principales de la tecnología de la fundición.

VII-3 PROPIEDADES DE LAS ARENAS DE MOLDEO

Partiendo de un punto de vista general, una arena de moldeo se
considera realmente buena, cuando es capaz de producir fundicio-
nes libres de defectos. Ciertas propiedades específicas han -
sido identificadas y algunos procedimientos de prueba han sido
adoptados con el fin de lograr el debido control de éstas. La
American Foundrymens Society (A.F.S.) considera que para que -
una arena pueda utilizarse en un sistema de moldeo, debe presen-
tar las siguientes propiedades:

- Resistencia en seco.
- Resistencia en verde.
- Permeabilidad.
- Estabilidad térmica.
- Refractariedad.
- Colapsabilidad.
- Que sea recirculable.
- Facilidad de preparar y controlar.
- Facilidad de eliminar el calor de la pieza.

A fin de evitar cambios significativos en las condiciones experimentales, se llevó un control de arenas, así como también en la fusión y alimentación del material en el molde para que todos los ensayos fueran lo más exactamente reproducibles entre todos y cada uno de ellos.

VII-4 PREPARACION DE LA ARENA

La preparación de la arena de careo se realizó de la manera siguiente: en un molino de 6 Kg. de capacidad se vertió la arena necesaria para preparar 5 Kg., se le adicionaron 125 ml. de agua que es la mitad de agua que le corresponde a esa masa, después de 2 minutos de mezclado se le agregó la cantidad de aglutinante (bentonita) requerida y luego se adicionó la otra mitad del agua, y se dieron otros 3 minutos de mezclado. La arena se extrajo del molino, después de tamizarlo, se efectuaron una serie de pruebas físicas obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla.

Para obtener la arena con la humedad deseada se hace un balance muy simple como a continuación se muestra:

Base 5000 g.

(% de arena) + (% de bentonita) + (% de humedad) = 100%.

La mezcla recomendada por ASTM Vol. 7 es de 12% de bentonita para arena # 90 ASF y 5% de humedad.

Balance de agua.

$$5\% \text{ humedad} = (0.05) (5000 \text{ g}) = 250 \text{ ml. de agua.}$$

Balance de bentonita.

$$12\% \text{ bentonita} = (0.12) (5000 \text{ g}) = 600 \text{ g. de bentonita.}$$

Sumando los 250 ml. + 600 g. = 850 unidades de aditivo, se los restamos a la base que son 5000 y el resultado es de:

$$5000 - 850 = 4150 \text{ unidades.}$$

Estas 4150 unidades son los gramos de arena requerida.

TABLA DE PROPIEDADES DE LA ARENA

PROPIEDAD

Permeabilidad _____ 90 Unidades Dieter.

Resistencia a
la Compresión _____ 16 psi.

Resistencia a
el Corte _____ 5 psi.

Compactabilidad _____ 48%

Dureza _____ 80 Unidades Dieter.

Arena 80-90 Humedad 5% Bentonita Sódica 12%

Nota: los resultados obtenidos se realizaron en muestras ensayadas por triplicado.

VIII. CONDICIONES EXPERIMENTALES

Una de las variables que intervienen en este trabajo es la temperatura de vaciado, por esto fué necesario obtener las temperaturas a las que funden las aleaciones utilizadas y a partir de estas temperaturas se realizó el estudio del sobrecalentamiento en la fluidez.

Las temperaturas que correspondieron al punto de fusión de cada una de las aleaciones, se determinaron en base a su diagrama de fases del sistema de aleación binaria.

Latón 80 - 20	$T_f = 970^{\circ}\text{C}$
Latón 60 - 40	$T_f = 900^{\circ}\text{C}$
Bronce al Aluminio (8% Al)	$T_f = 1040^{\circ}\text{C}$

El rango de la temperatura de vaciado en cada una de las aleaciones empleadas fué de la temperatura de fusión (T_f) con un sobrecalentamiento de 150°C ($T_f + 150^{\circ}\text{C}$), con intervalos aproximados de 25°C como se mostrará en el capítulo de resultados y discusión.

El control de la temperatura de las que se realizaron los experimentos se efectuó utilizando un temporar Cromel Alumel (Tipo K) con una exactitud de $\pm 10^{\circ}\text{C}$ y un indicador digital.

Estando listas las aleaciones para el vaciado, fué eliminada la escoria o el fundente protector de la superficie del metal fundido y se procedió a vaciar después de que se comprobó la temperatura a la cual se requería que fuese vaciada la aleación líquida al molde.

Una vez solidificada la aleación se procedió a desmoldear, con el objeto de medir la fluidez a cada uno de los ensayos, hasta llegar a la totalidad de pruebas requeridas.

IX. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en cada una de las etapas del trabajo experimental.

Las etapas experimentales fueron:

- a) Obtención de la pieza fundida para la determinación de la fluidez.
- b) Medición de las longitudes de fluidez.
- c) Gráficas de Fluidez Vs Temperatura.

I.- Pieza fundida obtenida a partir de los ensayos de fluidez.



Aleación 80% Cu - 20% Zn. Temp. de Vaciado. 1100°C.

II. Los Resultados Obtenidos se Pueden Observar en las Siguientes Tablas:

La tabla II-1 presenta los datos de longitud en fluidez de la aleación (I), Latón 80% Cu - 20% Zn.

La tabla II-2 presenta los datos de longitud en fluidez de la aleación (II), Latón 60% Cu - 40% Zn.

La tabla II-3 presenta los datos de longitud en fluidez de la aleación (III), Bronce 92% Cu - 8% Al.

Tabla II-1 Muestra la longitud que fluyó la aleación (I) antes de solidificar.

Temperatura de Vaciado	Longitud
1000°C	16.5 cm.
1025°C	28.5 cm.
1050°C	38.1 cm.
1100°C	46.0 cm.
1150°C	63.0 cm.

Tabla II-2 Muestra la longitud que fluyó la aleación (II) antes de solidificar.

Temperatura de Vaciado	Longitud
925°C	11.5 cm.
950°C	15.0 cm.
975°C	21.5 cm.
1000°C	33.5 cm.
1050°C	48.5 cm.

Tabla II-3 Muestra la longitud a la que fluyó la aleación (III) antes de solidificar.

Temperatura de Vaciado	Longitud
1025°C	15.0 cm.
1050°C	23.5 cm.
1075°C	33.0 cm.
1100°C	40.0 cm.
1125°C	50.0 cm.
1150°C	67.5 cm.

III. DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS SE PUEDE OBSERVAR EL COMPOR-
TAMIENTO DE LA FLUIDEZ POR MEDIO DE LAS SIGUIENTES GRAFI-
CAS:

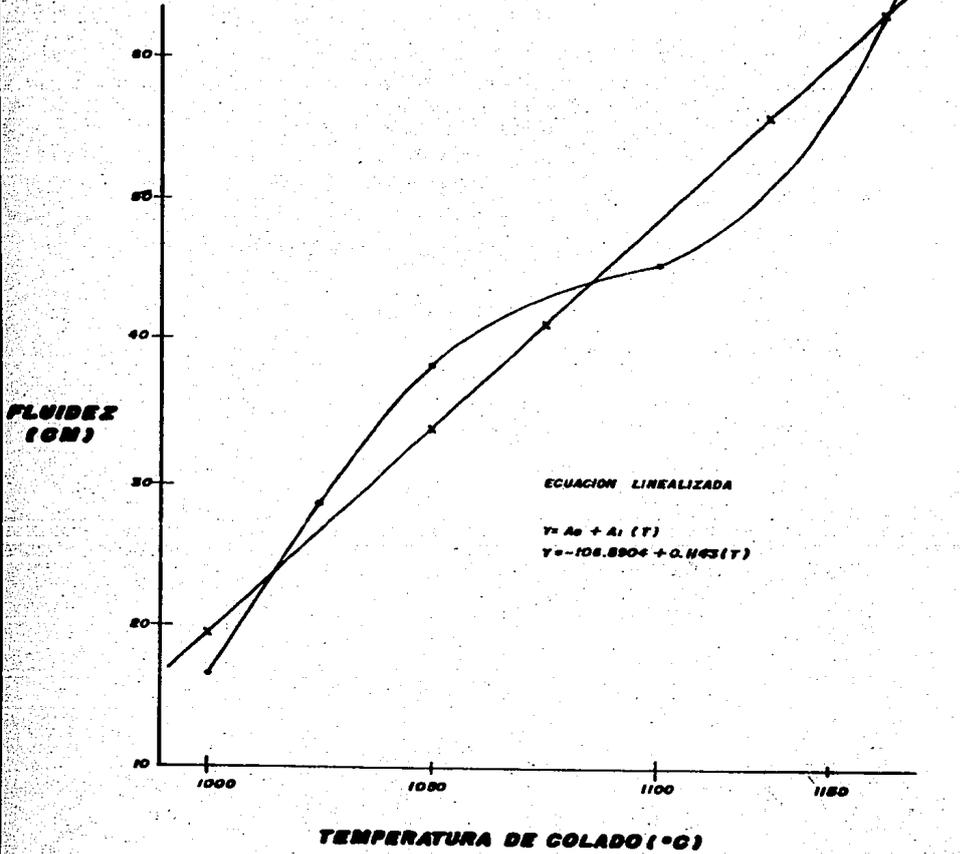
Gráfica III-1 Muestra el comportamiento de la fluidez de la -
aleación (I).

Gráfica III-2 Muestra el comportamiento de la fluidez en la -
aleación (II).

Gráfica III-3 Muestra el comportamiento de la fluidez en la -
aleación (III).

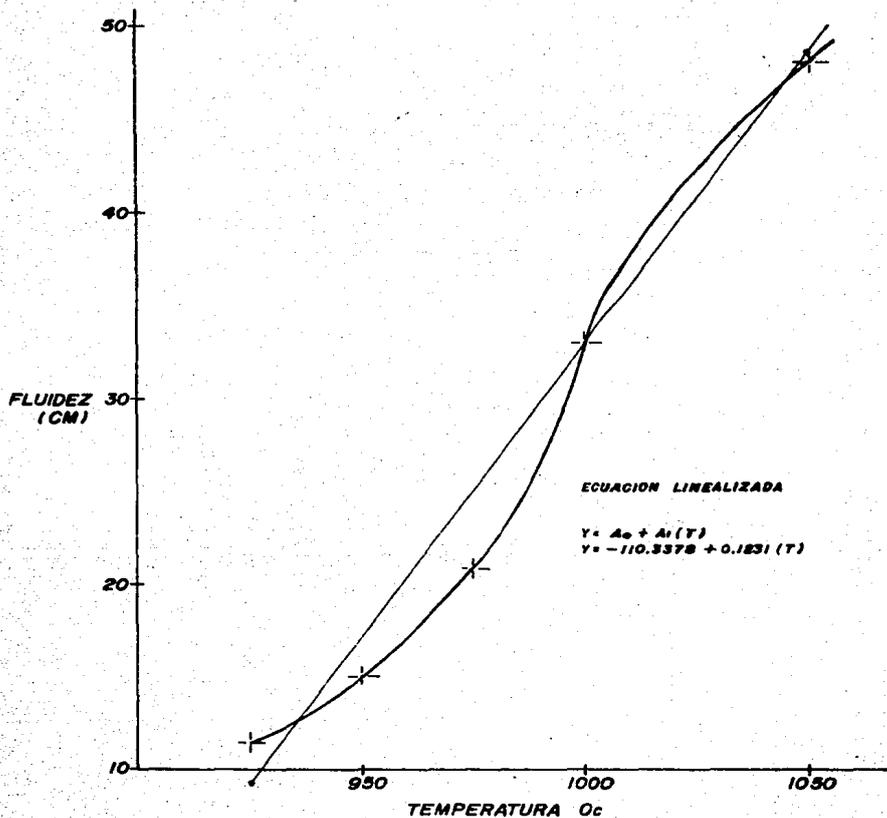
Gráfica III-4 Muestra la zona de fluidez de las aleaciones -
(I, II, III).

ALEACION (I)



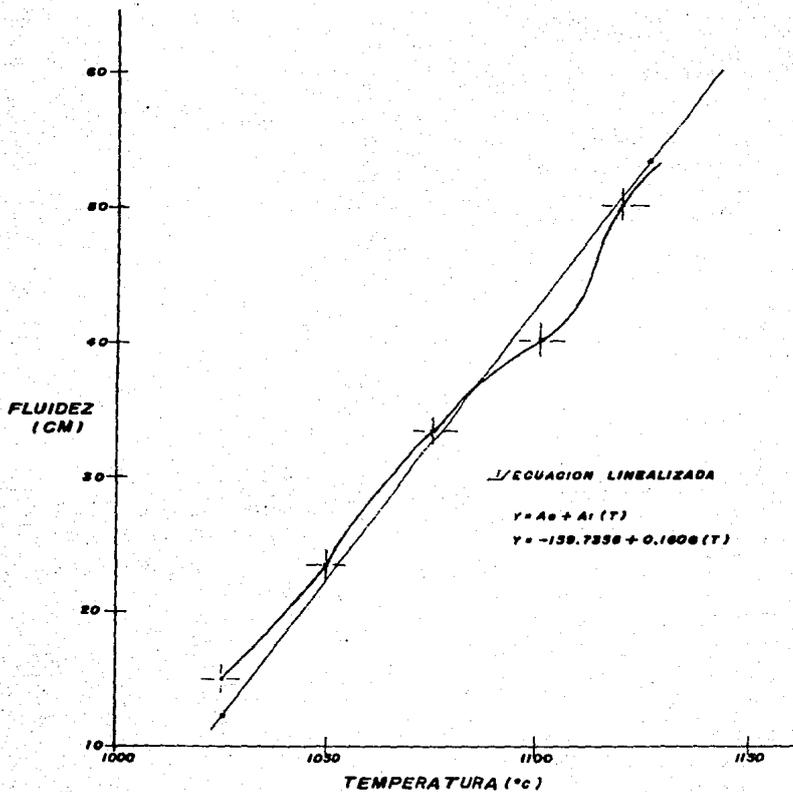
GRAFICA III-1

ALEACION (II)



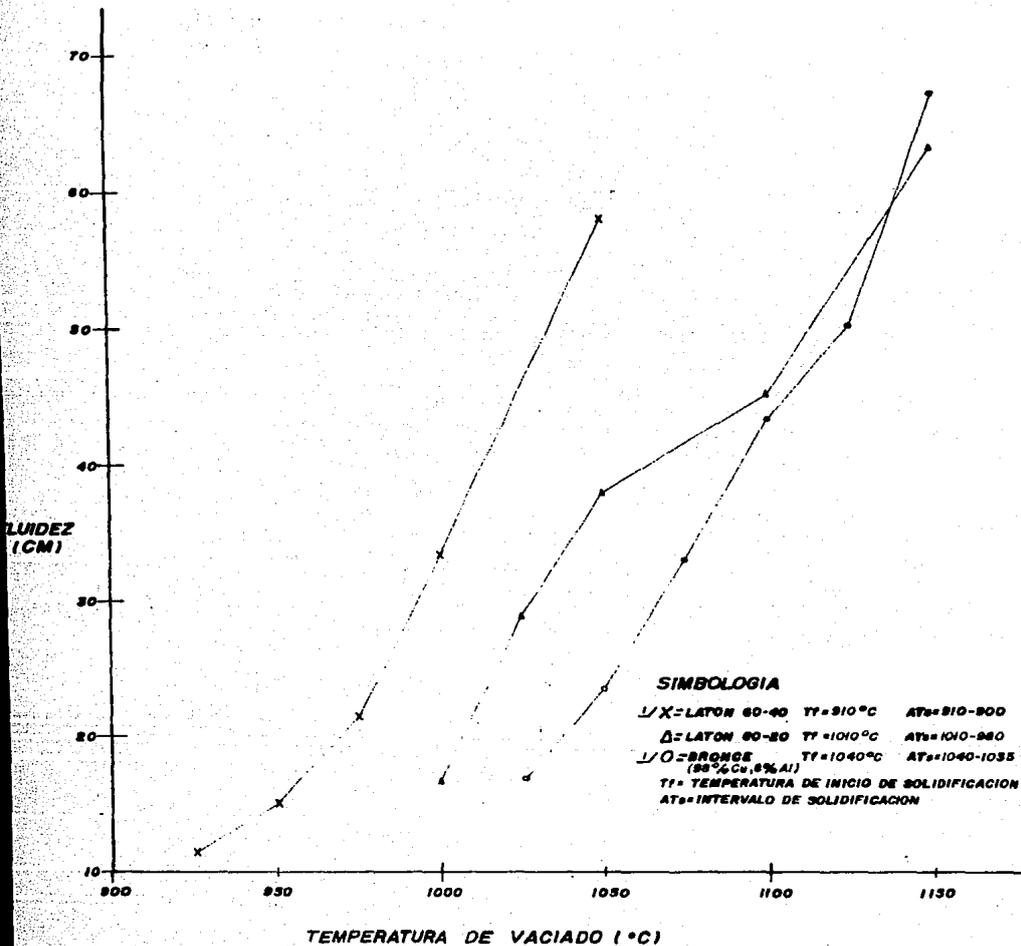
GRAFICA III-2 : FLUIDEZ VS. TEMPERATURA DE VACIADO

ALEACION (III)



GRAFICA III-3

¡/ECUACION VALIDA PARA $T > T_1$.



GRAFICA III-4

∩ ALEACIONES CERCA A UN EUTECTICO

X. DISCUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Analizando los datos obtenidos en el transcurso del presente trabajo y haciendo una comparación con los resultados de la bibliografía consultada, podemos decir lo siguiente:

La fluidez es fuertemente afectada por las siguientes variables manejadas:

- La temperatura de colada (T_c)
- La composición química de la aleación.

Así como también pueden depender de los factores que se mantuvieron constantes como son:

- La cabeza metalostática.
- La composición de la arena.

Ya que la fluidez está en función de la temperatura de colada, siendo ésta aproximadamente una función lineal en un rango de sobrecalentamiento de (0 a 100°C).

Después de éste rango la fluidez cambia de comportamiento. Este cambio en el patrón de la fluidez no es reportado en la bibliografía, nada más se hace referencia en el rango de sobrecalentamiento manejado de (0 a 100°C) que es aproximadamente una función lineal.

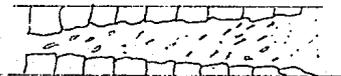
La composición química de la aleación afecta la fluidez:

Las aleaciones a las cuales se trabajaron tienen la característica de que son de rango corto de solidificación, observamos que al aumento del elemento aleante, la fluidez disminuye a una misma temperatura de sobrecalentamiento.

La fluidez reportada en investigaciones anteriores las cuales se consultaron, nos dice que la fluidez disminuye con el aumento del aleante.

El problema que se tuvo fué la fuerte oxidación que afecta al Zn (zinc) a temperaturas altas, esta oxidación hace que el metal tenga una menor fluidez.

Esto se puede deber a que los óxidos atrapados en el líquido, pudieron actuar como centros de nucleación que obstruyeron el viaje del flujo metálico.



El comportamiento de las aleaciones desde el punto de vista de Schmidt¹⁴, es de rango corto, de acuerdo al intervalo de solidificación lo que concuerda con la práctica, es decir, se obtienen índices de fluidez altos.

Latón 80 - 20	ATs = 30°C
Latón 60 - 40	ATs = 10°C
Bronce 92 - 8	ATs = 5°C Bronce al Aluminio.

Según Schmidt¹⁴, si el ATs < 50°C son de rango corto.

XI. CONCLUSIONES

- Independientemente de la composición química, la fluidez aumenta con el aumento de la temperatura de colada o grado de sobrecalentamiento.
- La fluidez depende linealmente de la temperatura hasta sobrecalentamiento de 100°C.
- Por arriba de 100°C de sobrecalentamiento la fluidez aumenta con mayor rapidéz.
- La fluidez se ve afectada cuando el sobrecalentamiento se mantiene constante, y se cambia la composición química de la aleación.
- La aplicación de las ecuaciones obtenidas pueden apreciarse en el diagrama de flujo para el diseño de coladas de acero, que se incluye en el anexo.

RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS POSTERIORES:

- Se sugiere determinar la influencia de elementos de aleación comunes en la fluidez de las aleaciones base cobre (Sn, Fe, Al, Cr, Ni).
- Se sugiere ensayar otros tipos de aleaciones base cobre comerciales (Bronces al Estaño, Bronce al Manganeso, Bronce al Silicio, etc.).
- Sería interesante trabajar con modelos para pruebas de llenabilidad, para diferenciar el efecto y comportamiento de aleaciones con el ensayo de fluidez (Flujo-habilidad).
- Sería importante para completar estos trabajos determinar el comportamiento de la fluidez en otros tipos de molde, resinas fenólicas, silicatos de sodio, shell o cáscara, etc. Así como determinar la influencia de otras variables: cabeza metalostática, moldes con pintura, refinador de grano, etc.

A N E X O

Comparación de resultados cuantitativos de este trabajo con los reportados por Schaefer y Mott⁷.

Schaefer y Mott⁷ usando el modelo de fluidez en espiral, nos muestra una zona de correlación entre el sobrecalentamiento y aleaciones diferentes.

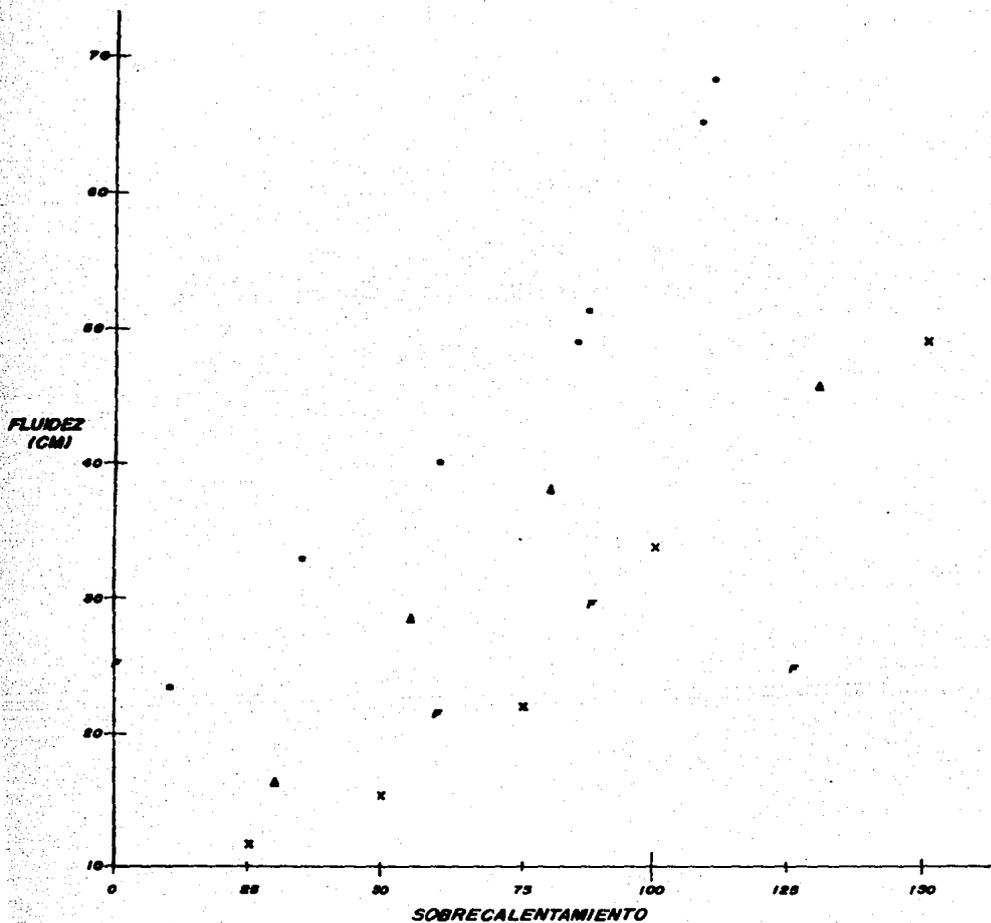
Estas aleaciones son: Aceros, Hierros Ductiles, Bronce al Aluminio, Latones y Aleaciones de Aluminio.

En esta zona caen una alta frecuencia de los resultados de las pruebas de fluidez, explican que los datos o resultados obtenidos que están fuera de esta zona se debe a que, principalmente las aleaciones son afectadas por la oxidación, o se llevó un mal control de la temperatura de vaciado.

Datos obtenidos por Schaefer y Mott.

Bronce al Aluminio.	Temp. de Vaciado	Longitud
	1090°C	6.5 cm.
	1125°C	21.5 cm.
	1150°C	29.0 cm.
Latón (70% Cu - 30% En.)	* 920°C	5.5 cm.
	1100°C	68.5 cm.

* Temperatura abajo de la temperatura de liquidus.



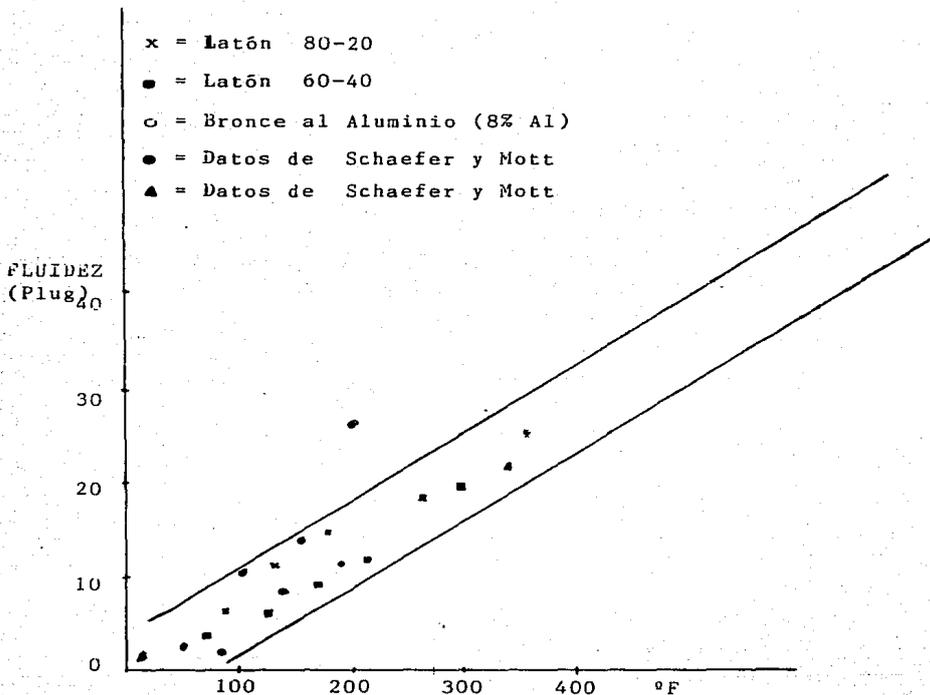
SIMBOLOGIA

△ = LATON 80-80

× = LATON 60-60

○ = BRONCE AL AI

F = REPORTES DE FLINN (LATON 70-80 Y BRONCE al AI)



Temperatura de sobrecalentamiento.

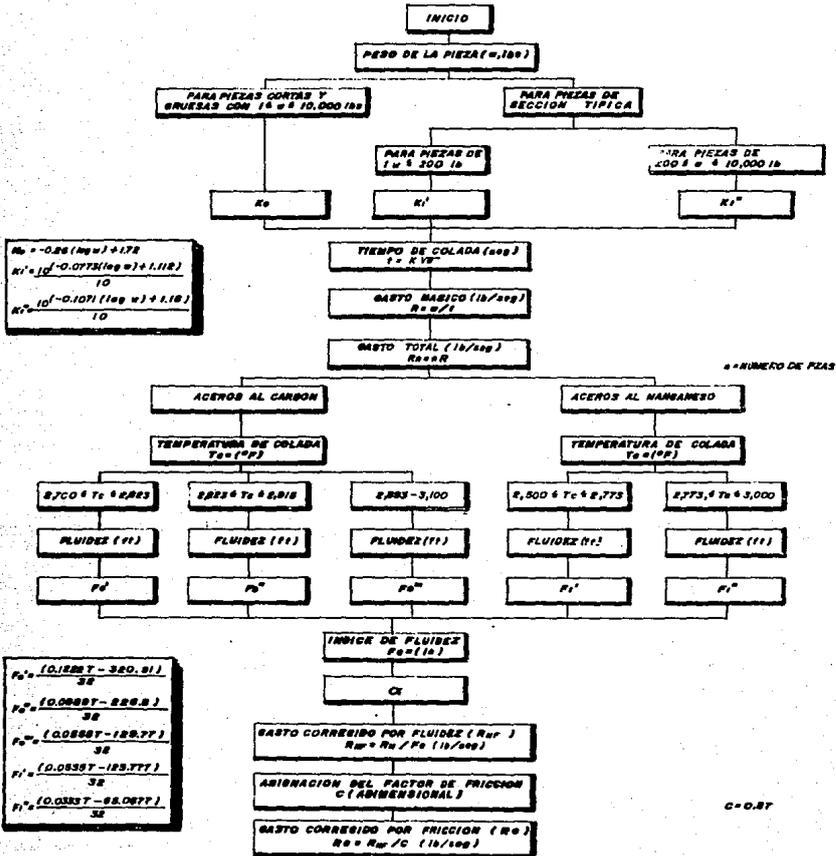
Relación entre fluidez y sobrecalentamiento para varias aleaciones.

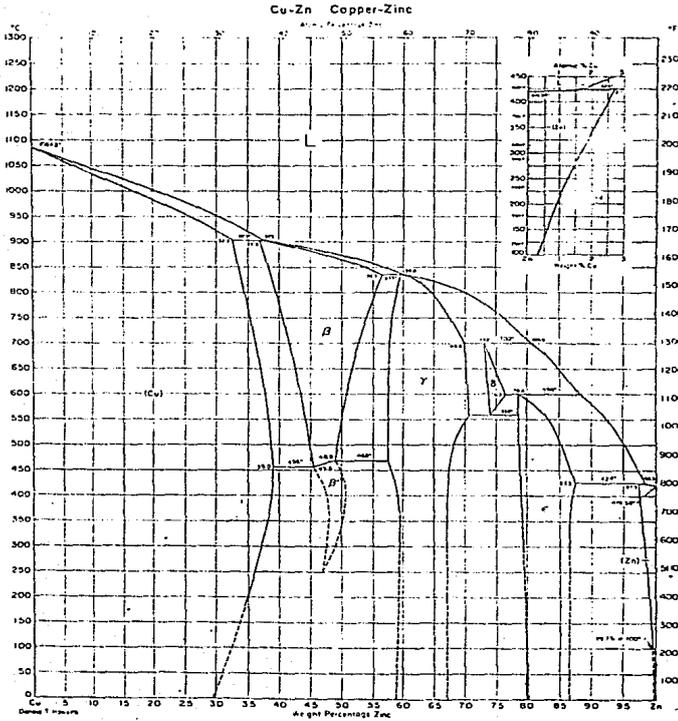
Aplicación de la fluidez al diseño de Sistemas de Colada. En el sistema de colada para aceros, un factor importante en el cálculo de las dimensiones del sistema de colada es la consideración de la fluidez como función de la temperatura y colada y de la composición química. (Observar el diagrama de flujo).

A partir de (R_c) gasto corregido por fricción se hacen algunos pasos más (que no competen a esta tesis) para calcular las dimensiones del sistema de colada. Como: Diámetro superior de la bajada, diámetro interior, dimensiones del canal(s), dimensión de la entrada o entradas.

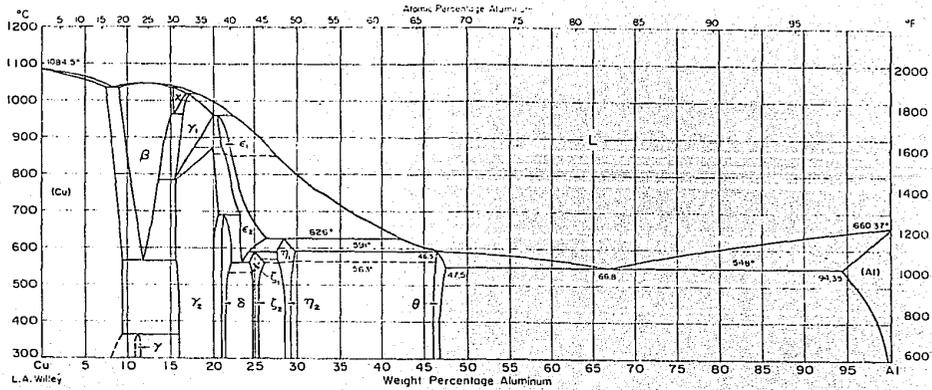
En trabajos posteriores se realizará un diagrama para Sistema de Colada para Cobres y Aleaciones Base Cobre.

DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL CALCULO DE SISTEMAS DE COLADA





Al-Cu Aluminum-Copper



B I B L I O G R A F I A

- 1.- J. Campbell, I.D. Olliff. "Static and Dynamic Criterial for Felling of Thin Section Molds". A.F.S. Cast Metals Research Journal Vol. 7 pág. 55-61 Jun. 1971.
- 2.- J. A. Copadona, D. L. Abright. "Review of Fluidity Testing". A.F.S. Transactions V. 86 pág. 43-54. Dic. 1978.
- 3.- S. A. Prussin, G. R. Fitterer "Some Requeriments for Successful Fluidity Testing" A.F.S. Transactions. Vol.66 pág. 143-150 (1958).
- 4.- A. I. Krynitsky "Progress Made in Fluidity Testing of Molten Metals During the Last Ten Years" A.S.F. Transactions Vol. 61 pág. 399-410 (1953).
- 5.- C. J. Cooksey, V. Kondic, J. Wilcock. "The Casting Fluidity of Some Foundry Alloys". The British Foundryman. Vol. 52 pág. 381-386 Sep. 1959.
- 6.- M. C. Flemings. "Fluidity of Metals-Techniques for producing Ultra-thin Section castings" The British Foundryman. pág. 312-323 Julio 1964.

- 7.- W. A. Spindler, W. B. Pierce, R. A. Linn. "Revised Spiral Test Relates Fluidity to Phase Diagram". American Foundryman. pág. 56-59. Sep. 1954.
- 8.- M. C. Flemings, E. Niiyama, H. F. Taylor. "Fluidity of Aluminum Alloys". A.F.S. Transactions. Vol. 69. - - pág. 625-635. (1961).
- 9.- D. V. Ragone, C. M. Adams, H. F. Taylor "Some Factors - Affecting Fluidity of Metals". A.F.S. Transactions. -- Vol. 64 pág. 640-652 (1956).
- 10.- El Horno de Cubilote y su Operación. 7a. Edición A.S.F.- Comp. Editorial Continental. Sep. 1984.
- 11.- Facultad de Química, Departamento de Metalurgia Curso de Coladas y Alimentadores. (1986).
- 12.- R. A. Rosales, Tesis "Un Estudio de las Aleaciones Zn-Al su Fluidez y Estructura. (1982).
- 13.- F. C. Hernández, J. Amador. Tesis "Ensayos para Determinar la Fluidez de Aluminio y Aleaciones Al-Si. (1986).
- 14.- Gating of Copper Base Alloys. D. G. Schmidt Transactions of A.S.F. Vol. 88 pág. 806-816. (1980).

15.- Casting Copper Base Alloys A.S.F. (1984).

16.- Curso para Fabricación de Aleaciones no Ferrosas.
Sociedad Mexicana de Fundidores. México 1979.