

24  
14



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

## DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE REPARTO PARA EL CALCULO DE ALIMENTADORES DE PIEZAS FUNDIDAS DE ALUMINIO

TESIS

MANCOMUNADA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO  
P R E S E N T A N :

ARTURO ALEJANDRO SANCHEZ SANTIAGO  
MARIO SANCHEZ SANTIAGO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D.F.

1989



## **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.

## INDICE

### INTRODUCCION

### RESUMEN

### CAPITULO 1

#### FUNDAMENTOS TEORICOS

1.1	TIEMPO DE SOLIDIFICACIÓN	6
1.2	REGLA DE LOS MÓDULOS	8
1.3	CONTRACCIÓN	8
1.4	RECHUPE	14
1.5	MODO DE SOLIDIFICACIÓN	16
1.6	REGLA DE LA CONTRACCIÓN	19
1.7	MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE ALIMENTADORES	20

### CAPITULO 2

#### ANTECEDENTES

2.1	ESTUDIOS DE BEELEY	32
2.2	ESTUDIOS DE WLODAWER	35
2.3	TÉCNICA GEOMÉTRICA	56

### CAPITULO 3

3.1	PANORAMA GENERAL	63
3.2	EQUIPO	63
3.3	MATERIALES USADOS	64
3.4	MOLDEO	65

3.5	PIEZAS DE PRUEBA Y ALIMENTADORES	65
3.6	TÉCNICA DE FUSIÓN	70
3.7	EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL RECHUPE	70

#### CAPITULO 4

RESULTADOS Y DISCUSION	73
------------------------	----

#### CAPITULO 5

CONCLUSIONES	86
--------------	----

APENDICE	89
----------	----

BIBLIOGRAFIA	99
--------------	----

## INTRODUCCION

EN LA FUNDICIÓN CUANDO SE CUELA UNA PIEZA, YA SEA MOLDEO EN VERDE, MOLDE PERMANENTE, ETC., SE LE PRESENTA UNA CAVIDAD LLAMADA RECHUPE, LA CUAL SE PRESENTA EN LAS ZONAS MÁS GRUESAS O DONDE LA TRANSFERENCIA DE CALOR ES MÁS LENTA, PARA EVITAR ESE RECHUPE SE USA UN ACCESORIO LLAMADO ALIMENTADOR O MAZAROTA, QUE ES EL QUE DEBE DE ELIMINAR EL RECHUPE QUE PUEDE APARECER EN LA PIEZA.

EL OBJETIVO DE UN ALIMENTADOR ES EL DE PROVEER METAL LÍQUIDO A LA PIEZA PARA COMPENSAR LA CONTRACCIÓN DEBIDA A LA SOLIDIFICACIÓN, EN OTRAS PALABRAS ES UN ACCESORIO QUE PROVEE DE METAL LÍQUIDO A LA PIEZA DE INTERÉS DURANTE LA SOLIDIFICACIÓN, TRASLADÁNDOSE EL RECHUPE DE LA PIEZA AL ALIMENTADOR.

SE CONSIDERA PERTINENTE PARA LA ELECCIÓN DEL ALIMENTADOR QUE EL TIEMPO DE SOLIDIFICACIÓN DE LA PIEZA DEBE SER MENOR QUE EL TIEMPO DE SOLIDIFICACIÓN DEL ALIMENTADOR, Y PARA QUE SE PROVEA DE METAL DURANTE LA SOLIDIFICACIÓN, SE INVOLUCRAN VARIABLES COMO:

- TEMPERATURA DE SOLIDIFICACIÓN DEL METAL
- VOLUMEN DEL ALIMENTADOR
- PRESIÓN METALOSTÁTICA

LOS ALIMENTADORES PUEDEN SER SUPERIORES, LATERALES, DE FONDO PLANO, DE FONDO SEMIESFÉRICO, ALIMENTADORES CALIENTES, FRÍOS, ABIERTOS, CERRADOS, ETC.

PARA EL DISEÑO DE UN ALIMENTADOR SE DEBEN DE CONSIDERAR:

1. FORMA DEL ALIMENTADOR
2. TAMAÑO DEL ALIMENTADOR, COMO FUNCIÓN DE LA FORMA Y VOLUMEN DE LA PIEZA
3. UBICACIÓN DEL O LOS ALIMENTADORES
4. UNIÓN DEL ALIMENTADOR CON LA PIEZA (CUELLO)
5. QUE EL ALIMENTADOR SEA FACILMENTE RETIRABLE
6. POSIBILIDAD DE USAR ENFRIADORES
7. POSIBILIDAD DE USAR MATERIALES AISLANTES O EXOTÉRMICOS
8. CONSIDERACIONES ESPECIALES EN SECCIONES QUE FORMAN JUNTAS O UNIONES.

PARA QUE UN ALIMENTADOR SEA EFECTIVO, EL METAL DEL ALIMENTADOR DEBE SER EL ÚLTIMO EN SOLIDIFICAR, PARA QUE DE ESTA FORMA EL RECHUPE NO SE PRESENTE PARCIALMENTE EN LA PIEZA, TAMBIÉN HAY QUE CONSIDERAR QUE LA DISTANCIA DEL ALIMENTADOR NO SEA EXCEDIDA, YA QUE PUEDE APARECER UN RECHUPE, ÉSTO SE EVITA CON EL USO DE OTRO O MÁS ALIMENTADORES O ENFRIADORES.

DURANTE EL ENFRIAMIENTO DE LOS METALES SE PRESENTA LA CONTRACCIÓN, LA CUAL ES UNA PROPIEDAD QUE TIENEN LOS METALES

DURANTE EL ENFRIAMIENTO, LA CONTRACCIÓN SE DEBE DE TOMAR EN CUENTA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS ALIMENTADORES, Y SE INVOLUCRA EN LA SIGUIENTE EXPRESIÓN:

$$v_{\text{pieza}} = v_{\text{alimentador}} \frac{\eta - \beta}{\beta} \quad (1)$$

REF.1

$\beta$  = CONTRACCIÓN ESPECÍFICA EN CONDICIONES NORMALES DE ENFRIAMIENTO

$\eta$  = COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA

A PARTIR DE LA CUAL SE CALCULA EL VOLUMEN MÁXIMO DE LA PIEZA QUE PUEDE SER ALIMENTADO, Y DE ÉSTE LAS DIMENSIONES CORRESPONDIENTES DEL ALIMENTADOR.

#### RESUMEN:

EL OBJETIVO DE ESTA TESIS, ES EVALUAR EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA ( $\eta$ ), UTILIZADO PARA OBTENER UN MÉTODO DE CÁLCULO DE ALIMENTADORES LATERALES CILÍNDRICOS CON RELACIÓN  $h/d = 2$ .

(  $h$  = ALTURA DEL ALIMENTADOR,  $d$  = DIÁMETRO DEL ALIMENTADOR )

SIENDO UN MÉTODO ALTERNATIVO A LOS YA PROBADOS PARA EL CÁLCULO DE ALIMENTADORES DE PIEZAS COLADAS DE ALUMINIO.

PARA EL DESARROLLO DEL EXPERIMENTO SE USAN DOS TIPOS DE ALIMENTADORES, UNO LATERAL DE FONDO PLANO Y EL OTRO LATERAL DE FONDO SEMIESFÉRICO, AMBOS UNIDOS A PIEZAS DE 0.5 Kg Y 1.5 Kg APROXIMADAMENTE, UTILIZÁNDOSE COMO ALEACIÓN DE COLADA ALUMINIO PURO GRADO COMERCIAL Y MANEJÁNDOSE COMO VARIABLE LA TEMPERATURA DE COLADA, Y LOS RESULTADOS OBTENIDOS SE APLICAN A UN MÉTODO ALTERNATIVO DE CÁLCULO DE ALIMENTADORES, PARA LAS GEOMETRÍAS ENSAYADAS, Y EL CUAL SE COMPARA CON EL MÉTODO PROPUESTO POR EL CTIF. (CENTRO TÉCNICO DE LA INDUSTRIA DE LA FUNDICIÓN).

# CAPITULO 1

## FUNDAMENTOS TEORICOS

UNA PIEZA COLADA PIERDE CALOR CON LOS ALREDEDORES POR CONDUCCIÓN, CONVECCIÓN Y RADIACIÓN. CONSIDERANDO LOS TRES MECANISMOS ENTONCES EL ÁREA SUPERFICIAL DE LA PIEZA (A) ES IMPORTANTE PARA CONTROLAR LA VELOCIDAD DE FLUJO DE CALOR - DISIPADO.

LA CUESTIÓN DEL FLUJO DE CALOR DENTRO DE LA PARED DEL MOLDE, EN EL CONTORNO DE LA PARED DEL MOLDE TIENE ALGUNA INFLUENCIA EN SU HABILIDAD DE ABSORBER CALOR.

POR EJEMPLO, LA GEOMETRÍA DE EL FLUJO DE CALOR DENTRO DE PAREDES CONTORNEADAS DEL MOLDE, CÓNCAVOS O CONVEXOS, PUEDEN SER COMPARADAS CON AQUELLAS PAREDES PLANAS DENTRO DEL MOLDE.

EL FLUJO DE CALOR DENTRO DE SUPERFICIES CÓNCAVAS SERÁ DIVERGENTE (PARTE DE UN PUNTO), Y POR LO TANTO LIGERAMENTE MÁS RÁPIDO, Y DENTRO DE SUPERFICIES CONVEXAS MENOS RÁPIDO QUE DENTRO DE PAREDES PLANAS.

PARA FORMAS SENCILLAS LAS DIFERENCIAS NO SERÁN GRANDES, -- UNA CONVENIENTE APROXIMACIÓN ES ASUMIDA, DADA LA SUPERFICIE DEL MOLDE EN  $CM^2$  TIENE UNA HABILIDAD DETERMINADA DE ABSORBER CALOR INDISTINTAMENTE DEL CONTORNO O LOCALIZACIÓN EN LA PIEZA.

## 1.1 TIEMPO DE SOLIDIFICACION

CON LA APROXIMACIÓN ANTERIOR PODEMOS AHORA REEMPLAZAR A S DE LA SIGUIENTE ECUACIÓN POR V/A.

$$S = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left( \frac{T_M - T_O}{\rho_s H} \right) \sqrt{k_m \rho_m c_m} \sqrt{t} \quad (2)$$

REF. 2

S. = Espesor solidificado (cm)

T<sub>M</sub> = Temperatura de fusión del metal o aleación (°C)

T<sub>O</sub> = Temperatura del molde (°C)

ρ<sub>s</sub> = Densidad del metal (g/cm<sup>3</sup>)

H = Calor de fusión (cal/°C)

k<sub>m</sub> = Conductividad térmica del molde (cal/cm °C s)

ρ<sub>m</sub> = Densidad del molde (g/cm<sup>3</sup>)

c<sub>m</sub> = Calor específico del molde (cal/g °C)

t = Tiempo (seg)

SI V/A ES EL MÓDULO DE SOLIDIFICACIÓN, DONDE V ES EL VOLU MEN SOLIDIFICADO EN EL TIEMPO t Y A ES EL ÁREA DE LA IN TERFASE MOLDE METAL O BIEN t = t<sub>f</sub> DONDE t<sub>f</sub> ES EL TIEMPO TOTAL DE LA SOLIDIFICACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PIEZA, LA EX- PRESIÓN ANTERIOR, TOMA LA FORMA:

$$\frac{V}{A} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{T_M - T_0}{\rho_S H} \right) \sqrt{K_m \rho_m C_m} \sqrt{t_f} \quad (3)$$

Ref. 2

SIMPLIFICANDO SE OBTIENE:

$$t_f = C \left( \frac{V}{A} \right)^2$$

$$t_f = C M^2$$

(4)  
Ref. 2

DONDE C RELACIONA LAS PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DEL MOLDE Y EL METAL.

LA ECUACIÓN (3) ES LA BIEN CONOCIDA ECUACIÓN DE CHORINOV, USADA PARA COMPARAR TIEMPOS DE SOLIDIFICACIÓN DE PIEZAS, DE FORMA SENCILLA.

EL TIEMPO TOTAL DE SOLIDIFICACIÓN  $t_f$  DE LA PIEZA, ES PROPORCIONAL A EL CUADRADO DE LA RELACIÓN VOLUMEN ÁREA DE LA PIEZA O SECCIÓN QUE ES INDICADA.

PARA QUE UN ALIMENTADOR PERMANEZCA MÁS TIEMPO LÍQUIDO, LA RELACIÓN  $V/A$  DEL ALIMENTADOR DEBE SER MAYOR A LA RELACIÓN  $\frac{V}{A}$  DE LA PIEZA, YA QUE EL TIEMPO DE SOLIDIFICACIÓN DE LA PIEZA DEPENDE DE LA RELACIÓN  $V/A$

## 1.2 REGLA DE LOS MODULOS

JEANCOLAS, (REF. 3) PARA ALEACIONES FERROSAS CONSIDERA EN EL MÉTODO GENERAL PARA LA DETERMINACIÓN DE ALIMENTADORES 3 REGLAS: - UNA DE LAS CUALES SE REFIERE AL  $t_s$  DEL ALIMENTADOR QUE ES LA REGLA DE TIEMPO DE ENFRIAMIENTO O REGLA DE LOS MÓDULOS.

LAS DIMENSIONES PARA CADA ALIMENTADOR SON DETERMINADAS DE MANERA QUE SU MÓDULO DE ENFRIAMIENTO DEL ALIMENTADOR  $M_m$  - ESTÉ RELACIONADO AL MÓDULO DE ENFRIAMIENTO DE LA PIEZA  $M_p$  A LA CUAL ESTÁ DESTINADA, SEGÚN LA RELACIÓN:

$$M_m = K M_p \quad ( 5 )$$

REF. 3

CON  $K$  DEL ORDEN DE 1.2 PARA ACEROS, FUNDICIONES MALEABLES Y FUNDICIONES GRISES MOLDEADAS EN VERDE.

CON  $K = 0.6$  PARA FUNDICIONES GRISES INOCULADAS O NO, COLADAS EN MOLDES PERMANENTES. LOS VALORES DE  $K$  ESTÁN CONSIDERADOS PARA ALIMENTADORES CUBIERTOS O AQUELLOS QUE SE CUBREN DE ARENA DESPUÉS DE LA COLADA.

SI SE EMPLEAN PRODUCTOS EXOTÉRMICOS EN LA FORMA DE MANGAS Y CUBIERTAS, LOS VALORES DE  $K$  INDICADOS ANTERIORMENTE PUEDEN SER REDUCIDOS ALREDEDOR DE UN 30%.

## 1.3 CONTRACCION

DURANTE LA FABRICACIÓN DE PIEZAS COLADAS SE PRESENTAN CAMBIOS DE VOLUMEN EN EL ENFRIAMIENTO Y SOLIDIFICACIÓN, A ESOS CAMBIOS SE LE LLAMA CONTRACCIÓN.

LA CONTRACCIÓN ES LA PROPIEDAD DE LOS METALES Y ALEACIONES DE REDUCIR SU VOLUMEN ANTES Y DURANTE LA SOLIDIFICACIÓN, ASÍ COMO EN SU ENFRIAMIENTO.

LA CONTRACCIÓN SE PRESENTA EN DOS FORMAS:

- a) CONTRACCIÓN EN EL ESTADO SÓLIDO (LINEAL)
- b) CONTRACCIÓN EN EL ESTADO LÍQUIDO (INVOLUCRA LA CONTRACCIÓN ANTES DE LA SOLIDIFICACIÓN Y DURANTE LA SOLIDIFICACIÓN. (VOLUMÉTRICA)

$$lin = \frac{L_m - L_p}{L_p} \times 100 \quad ( 6 )$$

$$vol = \frac{V_m - V_p}{V_p} \times 100 \quad ( 7 )$$

REF. 4

DONDE:

$L_m$  = DIMENSIÓN LINEAL DEL MOLDE DE FUNDICIÓN

$L_p$  = DIMENSIÓN DE LA PIEZA FUNDIDA A TEMPERATURA DE 20 °C

$V_m$  = VOLUMEN DEL MOLDE

$V_p$  = VOLUMEN DE LA PIEZA A TEMPERATURA DE 20 °C

LA CONTRACCIÓN SÓLIDA O LINEAL NO COMIENZA AL MOMENTO DE INICIARSE LA SOLIDIFICACIÓN DE LA PIEZA COLADA, SINO DESPUÉS DE QUE LA PIEZA HA SOLIDIFICADO TOTALMENTE.

POR CONSIGUIENTE LA TEMPERATURA DEL INICIO DE LA CONTRACCIÓN LINEAL SERÁ LA TEMPERATURA DE SÓLIDUS.

SÓLO EN LOS METALES PUROS, EL INICIO DE LA CONTRACCIÓN LINEAL COINCIDE CON LA TEMPERATURA CRÍTICA.

LA TABLA No. 1 MUESTRA ALGUNAS CONTRACCIONES DE METALES, REPORTADAS POR ALGUNOS AUTORES, PARA EL ALUMINIO:

#### CONTRACCION LINEAL

Fundición	C Lineal %
Al puro	7.14
Al puro	6.5 + 0.35
Al puro	6.2 +
Al puro	5.7
Al puro	5.1
Cu puro	7.3

TABLA No. 1

REF. 4

LA CONTRACCIÓN LINEAL ES LA QUE SE CONSIDERA PARA SOBREDIMENSIONAR EL MODELO DE LA FUNDICIÓN Y ORIGINAR LA PIEZA DE LAS DIMENSIONES DESEADAS, O SEA ES LA TOLERANCIA POR CONTRACCIÓN DADA AL MODELO.

CONSIDERANDO LA FIGURA 1, LA CUAL NOS MUESTRA LAS TRES ETAPAS DE CONTRACCIÓN, EN FUNCIÓN DEL ENFRIAMIENTO CON EL CUAL ESTÁN ASOCIADAS:

- a) CONTRACCIÓN DURANTE EL ENFRIAMIENTO DEL METAL LÍQUIDO DESDE SU TEMPERATURA DE COLADA, HASTA LA TEMPERATURA DE LÍQUIDUS, ESTA ETAPA DE CONTRACCIÓN SE VERIFICA TOTALMENTE EN FASE LÍQUIDA.

EL VOLUMEN DE TODOS LOS MATERIALES CAMBIA CON LA TEMPERATURA, 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 DE TEMPERATURA, DISMINUYE LA CONTRACCIÓN, EL METAL DENTRO DEL MOLDE SE CONTRAE Y SI AUMENTAMOS SU TEMPERATURA DE COLADA ( $T_c$ ) AUMENTA LA CONTRACCIÓN, TOMANDO COMO BASE LA EXPRESIÓN:

$$\Delta V = \beta_L V \Delta T_{sup} \quad ( 8 )$$

Ref. 4

donde  $\beta_L$  = factor de expansión volumétrica del metal líquido

$V$  = Volumen de la cavidad del molde

$\Delta T$  = Temperatura de sobrecalentamiento del metal

LA CONTRACCIÓN LÍQUIDA DE CUALQUIER METAL DURANTE EL ENFRÍAMENTO DE LA PIEZA COLADA EN EL MOLDE SE COMPONE DE LA CONTRACCIÓN DE LA ALEACIÓN EN EL ESTADO LÍQUIDO Y LA CONTRACCIÓN EN EL CAMBIO DE FASE LÍQUIDO SÓLIDO. ALGUNOS DATOS SE REPORTAN EN LA TABLA 2:

Metal puro o aleación	Contracción líquida (%)*	Contracción de solidificación**	Contracción sólida ***
Cu	2.1	4.5	7.3
Al	1.4	6.5	5.7
Zn	-	4.9	4.1
Mg/Al	1.3	5.6	4

TABLA No.2

REF.4

- \* 100 °C sobre la temperatura de líquidus
- \*\* Durante la solidificación
- \*\*\* De sólidos a la temperatura ambiente

LA FIGURA 1 MUESTRA EL MODELO GENERAL PARA LOS CAMBIOS DE VOLUMEN EN ALEACIONES:

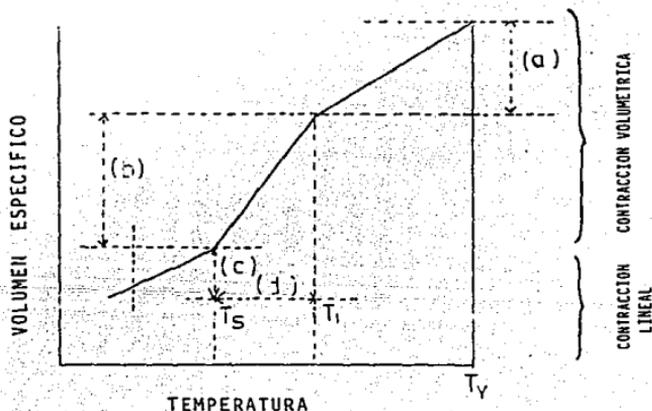


FIGURA 1

REF. 4

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 ÉSTE EVITA QUE SE TENGA ALIMENTACIÓN DE 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 ADRENTO 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 RESULTADO DE LAS DIFERENCIAS EN VOLUMEN ENTRE LA FASE LÍQUIDA Y SÓLIDA, UNA CONTRACCIÓN SE FORMA EN EL CENTRO DE LA PIEZA LLAMADO RECHUPE.

CUANDO EN TODOS LOS PUNTOS DE LA PIEZA SE TIENE LA MISMA TEMPERATURA, ABAJO DE LA TEMPERATURA DE LÍQUIDUS SE ESTAN 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 LAS CELDAS, LAS CUALES AL ENFRIAR POR SEPARADO FORMAN UNA PEQUEÑA CAVIDAD DE CONTRACCIÓN, ESTAS CAVIDADES JUNTAS PRODUCEN MICRORECHUPES.

- 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 PRESENTAN TRANSFORMACIONES DE FASE, EN DONDE EL METAL SE PUEDE CONTRAER O EXPANDER. UN EJEMPLO DE EXPANSIÓN ES EL QUE SE PRESENTA EN LA FUNDICIÓN GRIS, ESTE EFECTO ES DEBIDO AL ROMPIMIENTO DE CEMENTITA Y A LA FORMACIÓN DE GRAFITO LIBRE YA QUE:

$$\rho_G > \rho_{Fe_3C}$$

#### 1.4 RECHUPE

LOS RECHUPES SON CAVIDADES QUE SE FORMAN A CONSECUENCIA DE LA CONTRACCIÓN DE LA ALEACIÓN ANTES Y DURANTE LA SOLIDIFICACIÓN. EL ESQUEMA DE LA FORMACIÓN DEL RECHUPE EN UNA PIEZA SE MUESTRA EN LAS FIGURAS 2 Y 3

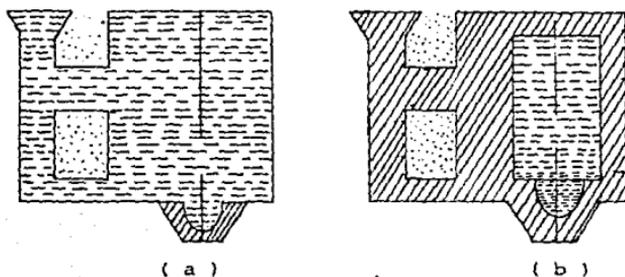


FIGURA 2

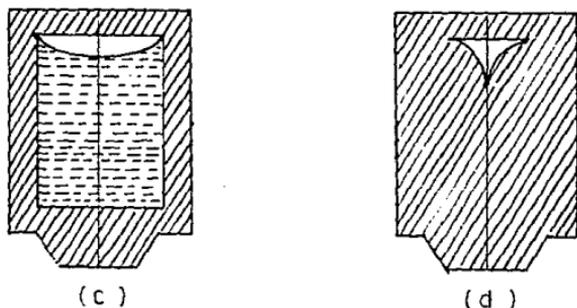


FIGURA 3

LAS PAREDES DELGADAS PUEDEN SOLIDIFICARSE Y CONTRAERSE PARCIALMENTE YA DURANTE EL LLENADO DEL MOLDE ( 2a). LA CAPA SÓLIDA SE CREA ENSEGUIDA DEL LLENADO DEL MOLDE, EN ESTE PERÍODO LA PIEZA SE ALIMENTA CON LA MASA FUNDIDA DEL SISTEMA DE ALIMENTADORES.

EN SEGUIDA, OCURRE LA CONTRACCIÓN DEL METAL LÍQUIDO DENTRO DE LA COSTRA SÓLIDA (FIGURA 2b) AL ENFRIARSE HASTA LA TEMPERATURA DEL INICIO DE LA CRISTALIZACIÓN, LA CUAL ES LA TEMPERATURA DE LÍQUIDUS ( 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 LA GRAVEDAD, LA COSTRA SOLIDIFICADA SUPERIOR DESCIENDE.

EN EL SIGUIENTE PERÍODO TIENE LUGAR LA CRISTALIZACIÓN DEL METAL DENTRO DE LA COSTRA DURA, DURANTE LA CUAL EL METAL SE CONTRAE Y COMO RESULTADO SE CREA EL RECHUPE FIGURA (3 d)

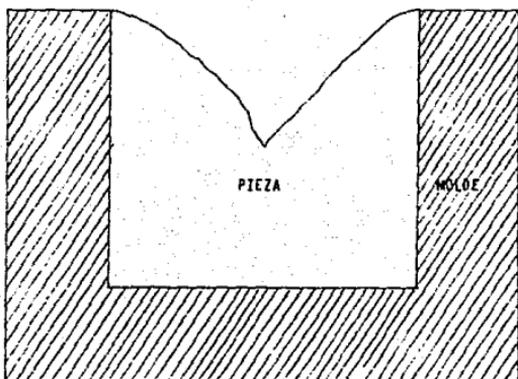
EL VOLUMEN DE LA CONTRACCIÓN DEL RECHUPE DEPENDE DE LOS SIGUIENTES FACTORES:

- 1) DEL FACTOR DE CONTRACCIÓN DEL METAL O ALEACIÓN EN EL ESTADO LÍQUIDO EL CUAL DEPENDE DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL METAL O ALEACIÓN.
- 2) DE LA TEMPERATURA DE COLADA, CUANTO MÁS ELEVADA ES ESTA TEMPERATURA, TANTO MAYOR ES EL VOLUMEN DEL RECHUPE DE CONTRACCIÓN.
- 3) DE LA MAGNITUD DE LA CONTRACCIÓN DURANTE LA SOLIDIFICACIÓN, LA CUAL DEPENDE DE LA COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.
- 4) DE LA EXPANSIÓN DE LA CAVIDAD DEL MOLDE, POR EFECTO DE LA TEMPERATURA DE TRABAJO.

## 1.5 MODO DE SOLIDIFICACION

LOS METALES PUROS O ALEACIONES CUANDO SE CUELAN, AL SOLIDIFICAR PRESENTAN DIFERENTES MODOS DE SOLIDIFICACIÓN, LOS CUALES SON: RANGO CORTO, RANGO INTERMEDIO Y RANGO LARGO.

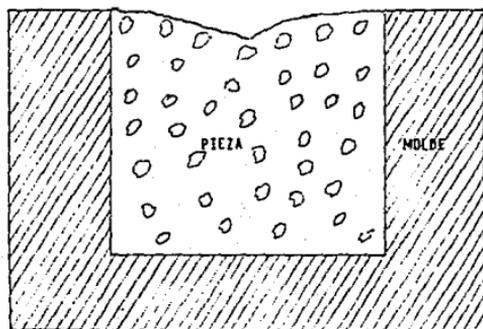
LOS METALES DE RANGO CORTO, SON LOS QUE SOLIDIFICAN GENERALMENTE EN FORMA DE COSTRA O CAPAS, FORMÁNDOSE EN EL CENTRO UN RECHUPE. LOS METALES QUE SOLIDIFICAN DE ESTA FORMA, SON METALES PUROS Y ALEACIONES - EUTÉCTICAS Y SOLIDIFICAN A UNA TEMPERATURA APROXIMADAMENTE CONSTANTE O FIJA, SE PRESENTA EN LA FIGURA 4 , EL RECHUPE QUE SE FORMA EN ESTAS ALEACIONES:



ALEACION DE RANGO CORTO

FIGURA 4

LOS METALES O ALEACIONES DE RANGO LARGO SOLIDIFICAN DE UNA ZONA DISPERSA A UNA ZONA PASTOSA (TRANSICIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO) DESPUÉS DE SOLIDIFICAR, PRESENTAN GRAN CANTIDAD DE MICRORECHUPES, EN ESTE MODO SOLIDIFICAN ACEROS MEDIOS Y ALTO CARBÓN, ALEACIONES Al-Si, LATONES, Y SOLIDIFICAN EN UN INTERVALO DE TEMPERATURA DADO POR LA TEMPERATURA DE LÍQUIDUS Y LA TEMPERATURA DE SÓLIDUS. SU ASPECTO SE MUESTRA EN LA FIGURA 5 :



ALEACION DE RANGO LARGO  
FIGURA 5

EL MODO DE SOLIDIFICACIÓN DE RANGO INTERMEDIO SE PRESENTA EN ALEACIONES QUE AL SOLIDIFICAR PRESENTAN LOS DOS MODOS DE SOLIDIFICACIÓN, QUE SON DE RANGO CORTO Y RANGO LARGO.

## 1.6 REGLA DE LA CONTRACCION

AL CONSIDERAR LA CONTRACCIÓN PARA EL DISEÑO DE ALIMENTADORES (SEGÚN VARIOS AUTORES) COMO JEANCOLAS, (REF. 3) QUE HACE -- USO DE LA REGLA DE LA CONTRACCIÓN, DONDE SE VERIFICA QUE EL VOLUMEN  $v_m$  DE CADA ALIMENTADOR, ES IGUAL AL VOLUMEN DE LA CONTRACCIÓN GLOBAL TÉCNICO  $\approx v_p$  DE CADA PARTE DE INTERÉS -- DE LA PIEZA  $v_p$  (VOLUMEN DE PIEZA) MULTIPLICADO POR UN COE FICIENTE DE SEGURIDAD  $k$  DEL ORDEN 2 PARA ALIMENTADORES EXO TÉRMICOS Y 6 PARA ALIMENTADORES ORDINARIOS, DICHO DE OTRO MO DO SE DEBE VERIFICAR LA RELACIÓN:

$$v_m = k r v_p \quad \text{con } k = 2 \text{ ó } 6 \quad (9)$$

REF. 3

ALGUNOS COEFICIENTES DE CONTRACCIÓN GLOBAL TÉCNICO  $\approx$  (CON TRACCIÓN EN EL ESTADO LÍQUIDO + CONTRACCIÓN EN EL CURSO DE LA SOLIDIFICACIÓN) SON FUNCIÓN DE LA NATURALEZA DE LA ALEA CIÓN.

PARA EL CÁLCULO DE LOS ALIMENTADORES SE CONSIDERA LA CONTRAC CIÓN DE LA PIEZA Y LA CONTRACCIÓN EN EL ALIMENTADOR, SIENDO -- LA CONTRACCIÓN TOTAL POR SOLIDIFICACIÓN ( $\beta = (v_p + v_a)$ ) LA -- CUAL DEBE COMPENSARSE CON UNA FRACCIÓN DEL VOLUMEN DEL ALIMEN TADOR, A ESTA FRACCIÓN SE LE DENOMINA COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA, DICHO DE OTRA FORMA, ES EL COEFICIENTE QUE INCLUYE LA DEMANDA DE METAL DE LA PIEZA Y DEL PROPIO ALIMENTADOR, DE BIDO A LA CONTRACCIÓN OCURRIDA DURANTE EL ENFRIAMIENTO DE LA FASE LÍQUIDA Y LA TRANSICIÓN SÓLIDA-LÍQUIDA, TAL COEFICIENTE SE CONSIDERA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS ALIMENTADORES, -- INVOLUCRÁNDOSE EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA ( $\eta$ ) EN LA SIGUIENTE EXPRESIÓN LA CUAL SE MENCIONÓ ANTERIORMENTE

$$v_p = v_a \left( \frac{\eta - \beta}{\beta} \right)$$

A PARTIR DE TAL EXPRESIÓN, SE CALCULA EL VOLUMEN MÁXIMO DE PIEZA QUE PUEDE SER ALIMENTADO Y DE ÉSTA LAS DIMENSIONES CORRESPONDIENTES DEL ALIMENTADOR.

TAMBIÉN PARA EL ABASTECIMIENTO DE METAL DEL ALIMENTADOR HACIA LA PIEZA SE CONSIDERA UNA PRESIÓN DIFERENCIAL, PROPORCIONADA POR LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA, ADEMÁS DE CONSIDERAR LA RELACIÓN  $H/D = 1.5 \text{ ó } 2$  PARA QUE SE DÉ UNA ALIMENTACIÓN EFECTIVA.

## 1.7 METODOS PARA EL CALCULO DE ALIMENTADORES

ADAMS Y TAYLOR, DESARROLLARON UN MÉTODO DE CÁLCULO PARA ALIMENTADORES, EL CUAL SE BASA EN QUE:

$$\text{O SEA } T_{sa} = T_{sp} \quad (10)$$

$$M_{sa} \frac{1}{K} = M_{sp} \frac{1}{K} \quad (11)$$

$$\frac{V_a}{A_a} = \frac{V_p}{A_p} \quad (12)$$

REF.2

DONDE:

$T_{sa}$  = ES EL TIEMPO DE SOLIDIFICACIÓN DEL ALIMENTADOR

$T_{sp}$  = ES EL TIEMPO DE SOLIDIFICACIÓN DE LA PIEZA

$K$  = CONSTANTE QUE DEPENDE DE LAS PROPIEDADES DEL MOLDE Y EL METAL

$V_a$  = VOLUMEN DEL ALIMENTADOR

$V_p$  = VOLUMEN DE LA PIEZA

SE TIENE QUE:

$$v_{Fa} = v_a - \beta (v_a + v_p) \quad (13)$$

REF. 2

DONDE:

$v_{Fa}$  = ES EL VOLUMEN FINAL DEL ALIMENTADOR

$\beta$  = CONTRACCIÓN POR SOLIDIFICACIÓN

AL SUSTITUIR 13 EN 12, SE OBTIENE:

$$\frac{v_a - \beta (v_a + v_p)}{A_a} = \frac{v_p}{A_p}$$

$$\frac{v_a - \beta (v_a + v_p)}{v_p} = \frac{A_a}{A_p}$$

$$\frac{v_a - \beta v_a - \beta v_p}{v_p} = \frac{A_a}{A_p}$$

$$\frac{v_a (1 - \beta) - \beta v_p}{v_p} = \frac{A_a}{A_p}$$

$$\frac{v_a}{v_p} (1 - \beta) - \beta \frac{v_p}{v_p} = \frac{A_a}{A_p}$$

$$(1 - \beta) \frac{v_a}{v_p} - \beta = \frac{A_a}{A_p}$$

$$(1 - \beta) \frac{v_a}{v_p} = \frac{A_a}{A_p} + \beta \quad (14)$$

REF. 2

EN ESTA EXPRESIÓN, SE RELACIONA LA CONTRACCIÓN DEL ALIMENTADOR Y LA PIEZA CON EL  $t_s$  (TIEMPO DE SOLIDIFICACIÓN).

ESTA ECUACIÓN DEDUCIDA POR ADAMS Y TAYLOR, SE REPRESENTA EN LA FIGURA 6 PARA ACERO, Y COMPARADA CON UNA CURVA DETERMINADA EXPERIMENTALMENTE POR CAINE:

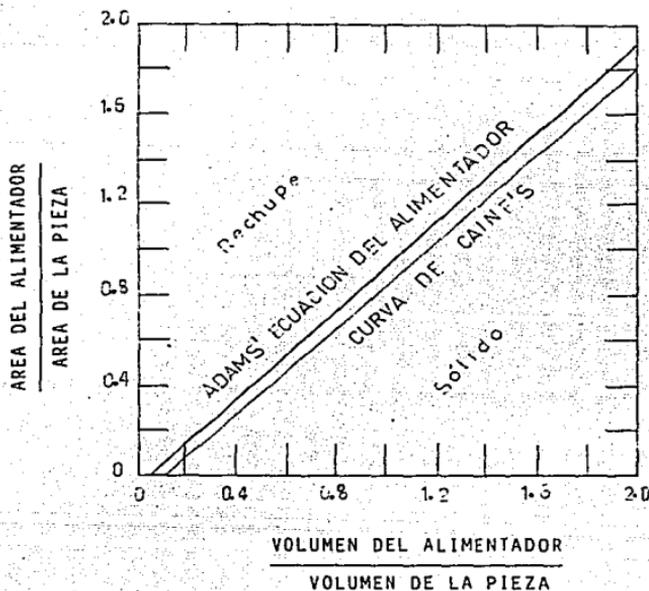


FIGURA 6

REF. 2

O BIEN, OBTENEMOS LA ECUACIÓN EN TÉRMINOS DEL MÓDULO DEL ALIMENTADOR Y DE LA PIEZA:

$$\frac{v_a}{A_a} - \beta \frac{v_a}{A_a} - \beta \frac{v_p}{A_a} = \frac{v_p}{A_p}$$

$$\frac{v_a}{A_a} (1 - \beta) - \beta \frac{v_p}{A_a} = \frac{v_p}{A_p}$$

$$\frac{v_a}{A_a} (1 - \beta) = \frac{v_p}{A_p} + \beta \frac{v_p}{A_a}$$

$$\frac{v_a}{A_a} = \frac{\frac{v_p}{A_p} + \beta \frac{v_p}{A_a}}{1 - \beta}$$

( 15 )

## METODO DE WLODAWER

EN EL MÉTODO DE WLODAWER EL ALIMENTADOR REQUERIDO ES DEDUCIDO DEL MÓDULO DE ENFRIAMIENTO DE LA PIEZA, LA CUAL PUEDE SER DIVIDIDA EN SECCIONES INDIVIDUALES, DONDE LA RELACIÓN (V/A), SE DETERMINA MÁS FACILMENTE, SOLAMENTE LAS SUPERFICIES DE ENFRIAMIENTO SON INCLUIDAS EN EL CÁLCULO, EL ALIMENTADOR ES SELECCIONADO BAJO EL CRITERIO DE QUE DEBE TENER EL MÓDULO EL VALOR DE 1.2 VECES EL MÓDULO DE LA PIEZA O SECCIÓN IMPLICADA.

ASÍ, EL MÁXIMO VOLUMEN DE UNA PIEZA QUE PUEDE SER ALIMENTADO POR UN ALIMENTADOR CILÍNDRICO O SEMIESFÉRICO SE PUEDE CALCULAR CON LAS ECUACIONES 16 Y 17 RESPECTIVAMENTE:

$$v_{\text{max}} = v_a \left( \frac{14 - s}{s} \right) \quad (16)$$

(pieza) (alimentador)

$$v_{\text{max}} = v_a \left( \frac{20 - s}{s} \right); \quad (17)$$

(pieza) (alimentador)

## METODO DE ALIMENTACION GEOMETRICA DE HEINE:

OTRO MÉTODO PARA DETERMINAR LAS DIMENSIONES DEL ALIMENTADOR ES EL DE ALIMENTACIÓN GEOMÉTRICA DONDE:

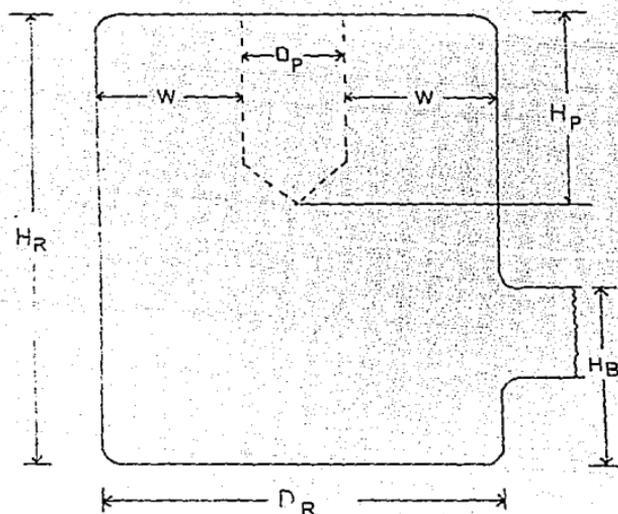
- DEBEMOS DE OBTENER EL PESO DE LA PIEZA A ALIMENTAR
- CALCULAR EL VOLUMEN DE ALIMENTACIÓN REQUERIDO POR LA PIEZA:

$$v_f = \frac{\text{peso de la pieza} \times \text{porcentaje de metal a alimentar}}{\text{peso} \times \text{pie cúbico}}$$

$$v_f = \frac{w_c (\% F)}{\rho} \quad (18)$$

$v_f$  = volumen de alimentación requerido.

EL ALIMENTADOR FIGURA 7 ESTÁ DIVIDIDO EN LA SECCIÓN DE ALIMENTACIÓN (ALTURA  $H_P$ ), LA SECCIÓN DE PRESIÓN DE ALTURA ( $H_M$ ) Y LA BASE DE ALTURA  $H_B$  :



$D_P$  = DIAMETRO DEL RECHUPE

$H_R$  = ALTURA DEL ALIMENTADOR

$H_P$  = ALTURA DEL RECHUPE

$D_R$  = DIAMETRO DEL ALIMENTADOR

$H_B$  = ALTURA DE LA BASE

$W$  = ESPESOR DE LA SECCION DE ALIMENTACION

ALIMENTADOR LATERAL CILINDRICO

FIGURA 7

REF. 5

CALCULAR EL DIÁMETRO ( $D_p$ ) Y LA PROFUNDIDAD ( $H_p$ ) DEL RECHUPE RESPECTIVAMENTE:

$$V_F = \frac{D_p^2}{2} \times H_p \quad (19)$$

LA ECUACIÓN SE PUEDE RESOLVER FIJANDO LA RELACIÓN  $H_p : D_p$ , LA MÁS COMÚN PARA ESTE CASO ES: 2.5 : 1

SE CALCULA EL DIÁMETRO DEL ALIMENTADOR ( $D_R$ ):  $D_R = 2w + D_p$ ,

$w$  ES LA SECCIÓN EFECTIVA DE LA VÍA DE ALIMENTACIÓN.

$w$  ES EL ESPESOR DE LA PIEZA PARA EL CASO DE PLACAS Y  $1/2$  - DE EL DIÁMETRO PARA BARRAS.

PARA EL DISEÑO DE LA BASE DEL ALIMENTADOR, EL DIÁMETRO DE ESTA SECCIÓN ES  $D_c$ , LA ALTURA  $H_B$  ES DE UN MÍNIMO DE  $2w$ , LA ALTURA CONSIDERANDO CIERTO NIVEL DE SEGURIDAD ES  $H_B = 3w$ .

EL CUELLO DEL ALIMENTADOR SERÁ DE  $2.5w$  ó  $0.8D_R$  DE ANCHO Y  $w$  EN LA ALTURA PARA UNIONES RECTANGULARES, PARA CUELLOS CILÍNDRICOS SERÁ DE  $2w \times 2w$ . LA DISTANCIA DEL ALIMENTADOR A LA PIEZA ES DE  $0.5$  a  $1.5w$  LA ALTURA TOTAL DEL ALIMENTADOR ES IGUAL A:  $H_T = H_p + H_M + H_B$

## METODO DE JEANCOLAS

EN EL MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE ALIMENTADORES DE JEANCOLAS, CONSISTE EN APLICAR TRES REGLAS:

- 1) REGLA DE LA ZONA DE ACCION: EN ESTA REGLA, LA PIEZA SE DESCOMPONE EN LAS PARTES QUE SE DESEEN, PARA QUE ESTÉ - EXCENTA DE RECHUPE, Y CADA PARTE SE CONSIDERE INDIVIDUAL MENTE, PARA QUE CADA UNA SEA ALIMENTADA SEPARADAMENTE, - ESTA REGLA PERMITE DETERMINAR EL NÚMERO Y DISTRIBUCIÓN - DE LOS ALIMENTADORES EN UNA PIEZA
- 2) REGLA DEL TIEMPO DE ENFRIAMIENTO O REGLA DE LOS MODULOS: EN ELLA, LAS DIMENSIONES DE UN ALIMENTADOR SE DETERMINAN DE MANERA QUE SU MÓDULO DE ENFRIAMIENTO  $M_m$  ESTÉ RELACIONADO AL MÓDULO DE ENFRIAMIENTO  $M_p$  DE LA PARTE DE LA PIEZA, LA CUAL ESTÁ DESTINADA, SEGÚN LA RELACIÓN 5, MENCIONADA EN PÁRRAFOS ANTERIORES:

$$M_m = K M_p$$

REF. 3

CON UN VALOR DE  $K = 1.2$  PARA ACEROS, HIERROS MALEABLES, GRISES MOLDEADOS EN VERDE; CON  $K = 0.6$  PARA FUNDICIONES GRISES INOCULADAS O NO COLADAS EN MOLDES PERMANENTES.

- 3) REGLA DE LA CONTRACCION: DONDE SE VERIFICA EL VOLUMEN --  $V_m$  DE CADA ALIMENTADOR ES IGUAL AL VOLUMEN DE CONTRACCION GLOBAL TÉCNICO  $\tau$  (CONTRACCION EN ESTADO LÍQUIDO + CONTRACCION EN EL CURSO DE LA SOLIDIFICACION) DE CADA PARTE DE LA PIEZA DE INTERÉS  $r_{vp}$ , MULTIPLICADO POR UN COEFICIENTE DE SEGURIDAD  $K'$  DEL ORDEN DE 2 PARA ALIMENTADORES -- EXOTÉRMICOS Y 6 PARA ALIMENTADORES ORDINARIOS, SE DEBE -- VERIFICAR LA RELACION 9:

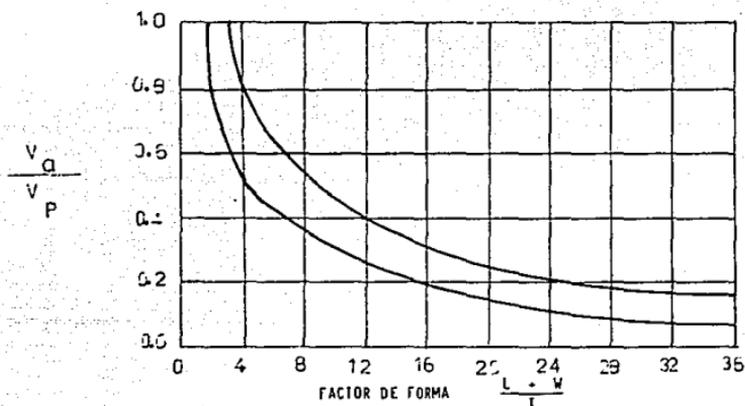
$$V_m = K' r_{vp}$$

( 20 )

REF. 3

## OTROS METODOS (FACTOR DE FORMA)

PARA REDUCIR LOS PASOS EN EL CÁLCULO DE ALIMENTADORES, SE HAN DESARROLLADO ALGUNAS ALTERNATIVAS, UNA DE ELLAS TOMA EN CUENTA AL FACTOR DE FORMA DE LA PIEZA (APLICADO PARA PLACAS), EL CUAL SE EXPRESA COMO LA SUMA DE LA LONGITUD, MÁS EL ANCHO DIVIDIDO ENTRE EL ESFESOR DE LA PIEZA, O SEA,  $\frac{L + W}{T}$ , EL FACTOR DE FORMA SE RELACIONA CON  $(v_A / v_P)$ :



RELACION DEL FACTOR DE FORMA DE LA PIEZA AL MINIMO VOLUMEN DEL ALIMENTADOR EFECTIVO COMO UNA FRACCION DEL VOLUMEN DE LA PIEZA PARA ACEROS

FIGURA 8

REF. 5

## CAPITULO 2

## ANTECEDENTES

UNA PIEZA COLADA PIERDE CALOR POR CONDUCCIÓN, CONVECCIÓN - Y RADIACIÓN, CONSIDERANDO LOS TRES MECANISMOS, EL ÁREA SUPERFICIAL DE LA PIEZA (A) ES IMPORTANTE PARA CONTROLAR LA VELOCIDAD DE FLUJO DE CALOR DISIPADO. CHWORINOV, EXPRESÓ ESTA RELACIÓN DE LA FORMA SIGUIENTE:

$$T = K \left( \frac{V}{A} \right)^2 \quad (21)$$

REF.5

DONDE:

- V = VOLUMEN DE LA PIEZA
- A = ÁREA SUPERFICIAL DE DISIPACIÓN TÉRMICA DE LA PIEZA
- T = TIEMPO DE SOLIDIFICACIÓN
- K = CONSTANTE QUE DEPENDE DE LAS PROPIEDADES DEL METAL Y EL MOLDE

A LA RELACIÓN VOLUMEN/ÁREA  $\frac{V}{A}$  SE LE DENOMINA MÓDULO DE SOLIDIFICACIÓN.

EL USO DEL FACTOR 1.2 EN LA DEDUCCIÓN DEL MÓDULO DE SOLIDIFICACIÓN DEL ALIMENTADOR ES UTILIZADO PARA COMPENSAR EL -- CAMBIO EN EL MÓDULO DEL ALIMENTADOR, DEBIDO A LA CONTRACCIÓN DURANTE EL ENFRIAMIENTO. LA FORMA DEL RECHUPE TAMBIÉN DETERMINA LA MÁXIMA PROPORCIÓN DEL VOLUMEN INICAL DEL ALI-- MENTADOR, REALMENTE ÚTIL PARA LA ALIMENTACIÓN.

LA CONTRACCIÓN TOTAL POR SOLIDIFICACIÓN

$$\left[ \beta ( v_p + v_a ) \right] \quad ( 22 )$$

REF 1

DEBE COMPENSARSE CON UNA FRACCIÓN DEL VOLUMEN DEL ALIMENTADOR, A ESTA FRACCIÓN SE LE DENOMINA COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA (  $\eta$  )

$$\beta ( v_p + v_a ) = \eta v_a$$

$$\beta v_p + \beta v_a = \eta v_a$$

$$\beta v_p = \eta v_a - \beta v_a$$

$$\beta v_p = v_a ( \eta - \beta )$$

$$v_p = v_a \left( \frac{\eta - \beta}{\beta} \right)$$

( 23 )

REF.1

DONDE:

$v_p$  = VOLUMEN MÁXIMO DE PIEZA QUE PUEDE SER ALIMENTADO

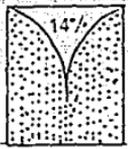
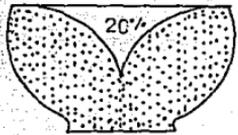
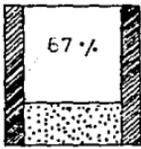
$v_a$  = VOLUMEN DEL ALIMENTADOR

$\beta$  = CONTRACCIÓN ESPECÍFICA A CONDICIONES NORMALES DE ENFRIAMIENTO

$\eta$  = COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA

## 2.1 ESTUDIOS DE BEELEY

CONSIDERANDO UN ALIMENTADOR CILÍNDRICO BAJO CONDICIONES NORMALES DE ENFRIAMIENTO, TOMA EN GENERAL FORMAS QUE SE APROXIMAN A LAS ILUSTRADAS EN LA SIGUIENTE FIGURA (9)

Diseño De Alimentador			
RELACION ENTRE $V_S$ Y $V_F$	$V_S = 0.14 V_F$	$V_S = 0.20 V_F$	$V_S = 0.67 V_F$
FACTOR APROXIMADO	7	5	1.5
	(a)	(b)	(c)

$V_S$  = VOLUMEN DEL RECHUPE

$V_F$  = VOLUMEN INICIAL

CAPACIDAD DEL USO DEL METAL DEL ALIMENTADOR COMO PROPORCION DEL VOLUMEN INICIAL.

REF. 1

FIGURA 9

AUNQUE LA FORMA DEL RECHUPE CAMBIARA DE DIMENSIONES A MEDIDA QUE SE DEMANDE METAL PARA ALIMENTAR, SE APRECIA QUE HAY UN INCREMENTO EN EL ÁREA SUPERFICIAL, REDUCIÉNDOSE AL FINAL EL VALOR DEL MÓDULO A UN 75% APROXIMADAMENTE, POR EFECTO -- DEL RECHUPE FORMADO Y EL ÁREA GENERADA. EL FACTOR DE 1.2 -- ES USADO PARA SUBSECUENTES REDUCCIONES EN EL TIEMPO DE ENFRIAMIENTO.

EL VOLUMEN DE EL RECHUPE REPRESENTA EL MÁXIMO VOLUMEN DE METAL DISPONIBLE PARA ALIMENTAR, INCLUYE APROXIMADAMENTE UN 14% DE EL VOLUMEN ORIGINAL. ASÍ EL MÁXIMO VOLUMEN DE LA -- PIEZA, EL CUAL PUEDE SER ALIMENTADO POR UN ALIMENTADOR CI--

LÍDRICO EN AUSENCIA DE ALIMENTACIÓN EXOTÉRMICA, ESTÁ DADO POR:

$$v_{\max} = v_a \times \left( \frac{14 - s}{s} \right) \quad (24)$$

(pieza) (alimentador) REF. 1

DONDE:

$v_{\max}$  = VOLUMEN MÁXIMO DE PIEZA QUE PUEDE ALIMENTARSE

14 = ES EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA ( $\eta$ )

s = RECHUPE ESPECÍFICO DE LA ALEACIÓN (%)

ESTA EXPRESIÓN TAMBIÉN SE PERMITE PARA EL RECHUPE DEL METAL EN EL MISMO ALIMENTADOR. LA UTILIZACIÓN DEL METAL ES MÁS EFICIENTE EN UN ALIMENTADOR SEMIESFÉRICO (FIGURA 9), EN EL CUAL EL RECHUPE NORMAL REPRESENTA EL 20% DEL VOLUMEN INICIAL, POR LO TANTO:

$$v_{\max} = v_a \times \left( \frac{20 - s}{s} \right) \quad (25)$$

(pieza) (alimentador) REF. 1

DONDE:

20 = ES EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA ( $\eta$ )

SIN EMBARGO, LA UTILIZACIÓN MÁS EFICIENTE DEL METAL SE OBTIENE CON EL USO DE MANGAS EXOTÉRMICAS, DESDE LA SUPERFICIE EL METAL CAE UNIFORMEMENTE Y EL RECHUPE QUEDA VIRTUALMENTE CON POCO METAL, EN CUAL SÓLO ABARCA UNA PEQUEÑA PROPORCIÓN DEL VOLUMEN ORIGINAL DEL ALIMENTADOR, UNA UTILIZACIÓN DEL 67 % ES FACTIBLE EN ESTE CASO, POR CONSIGUIENTE:

$$v_{\max} = v_a \times \left( \frac{67 - s}{s} \right) \quad (26)$$

(pieza) (alimentador) REF. 1

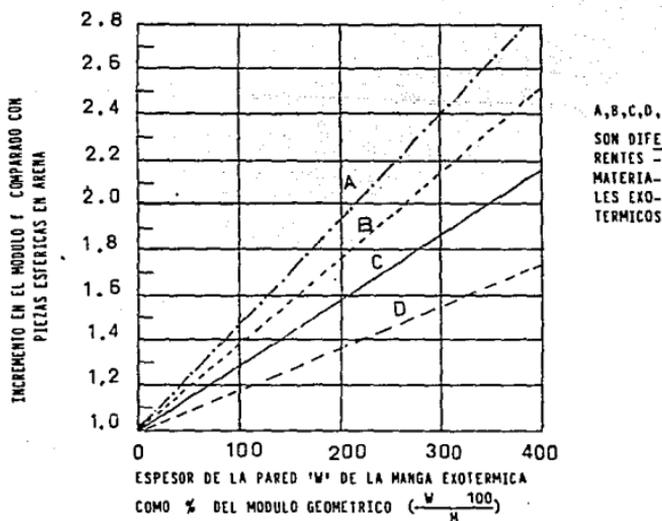
DONDE:

67 = ES EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA ( $\eta$ )

ESTO HA SIDO DETERMINADO PARA EL CASO DE ACEROS

EL VALOR DEL MÓDULO PARA UN ALIMENTADOR EXOTÉRMICO ES UN VALOR EFECTIVO DERIVADO DEL MÓDULO GEOMÉTRICO USANDO UN FACTOR DE CONVERSIÓN DETERMINADO EXPERIMENTALMENTE, EL CUAL DEPENDE DE LA NATURALEZA Y ESPESOR DEL MATERIAL EXOTÉRMICO, - EN LA FIGURA 10, SE ILUSTRAN UN RANGO DE VALORES PARA ESTE FACTOR, OBTENIDO DE EXPERIMENTOS EN TIEMPOS DE SOLIDIFICACIÓN DE ESFERAS.

PARA EL ACERO EN ARENA, EL VALOR CARACTERÍSTICO ES DE 1.43 EQUIVALENTE A UN FACTOR DE 2, APLICADO A TIEMPOS DE ENFRIAMIENTOS, ESTOS VALORES SON APLICABLES PARA EL CASO DE COMPUUESTOS EXOTÉRMICOS COMERCIALES Y PARA MANGAS CON ESPESORES DE UN 20% DEL DIÁMETRO DEL ALIMENTADOR.



INCREMTO EN EL MÓDULO DE ESFERAS DE ACERO DEBIDO A CUBIERTAS EXOTÉRMICAS

FIGURA 10

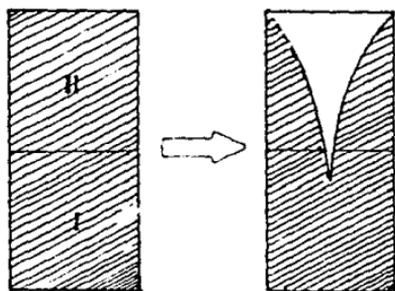
REF.1

## 2.2 ESTUDIOS DE WLODAWER

ALGUNOS ESTUDIOS REPORTADOS POR WLODAWER REF.6, PARA ACEROS, CONSIDERAN QUE LA CAVIDAD FORMADA EN EL ALIMENTADOR POR LA -- EVACUACIÓN DEL METAL HACIA LA PIEZA, ES RESULTADO DE UNA -- REDUCCIÓN SUBSTANCIAL EN EL VOLUMEN INICIAL DEL ALIMENTA-- DOR. POR OTRO LADO EL CALOR DISIPADO EN LA SUPERFICIE DEL ALIMENTADOR SE INCREMENTA POR LA FORMACIÓN DE LA SUPERFICIE CÓNICA PARABÓLICA.

SUPONIENDO QUE DOS CILINDROS DE IGUAL TAMAÑO SE PONEN UNO SOBRE OTRO, EL MÓDULO DEL CILINDRO SUPERIOR DISMINUIRÁ DURANTE LA SOLIDIFICACIÓN, DEBIDO A UNA DISMINUCIÓN EN EL VOLUMEN Y UN INCREMENTO EN EL ÁREA SUPERFICIAL, EL CILINDRO INFERIOR SOLIDIFICARÁ PREMATURAMENTE. FIG. 11

LA DISMINUCIÓN DEL MÓDULO DURANTE LA SOLIDIFICACIÓN RESULTA CASI UN 17% DEL MÓDULO ORIGINAL. EL MÓDULO DEL ALIMENTADOR DEBE SER POR LO TANTO CASI 1.2 QUE EL DE LA PIEZA PARA QUE EL MÓDULO DE LA PIEZA Y DEL ALIMENTADOR SEAN IGUA-- LES DESPUÉS DE TERMINADA LA SOLIDIFICACIÓN. ÉSTAS SON LAS BASES DEL FACTOR DE SEGURIDAD  $f = 1.2$



CAMBIOS EN DOS CILINDROS DEL MISMO TAMAÑO DURANTE LA SOLIDIFICACION

FIGURA 11

REF. 6

LA EXPRESIÓN "FACTOR DE COMPENSACIÓN" POR TIEMPO DE SOLIDIFICACIÓN PUEDE SER USADA, PERO LA EXPRESIÓN "FACTOR DE SEGURIDAD" TAMBIÉN SERÁ RETOMADA, YA QUE ES DE USO COMÚN.

EL RECHUPE CÓNICO NO ALCANZA A PENETRAR EL BORDE SUPERIOR DE LA PIEZA, PERO POR SEGURIDAD, LA MÁXIMA PROFUNDIDAD DEL RECHUPE PUEDE SER LIMITADA A  $d = 0.8 h$  (DONDE H ES LA ALTURA DEL ALIMENTADOR Y D ES EL DIÁMETRO DEL ALIMENTADOR) EL CONO PARABÓLICO DEL RECHUPE CON ESTA PROFUNDIDAD SIEMPRE OCUPA UN 14 % DEL VOLUMEN ORIGINAL DEL ALIMENTADOR.

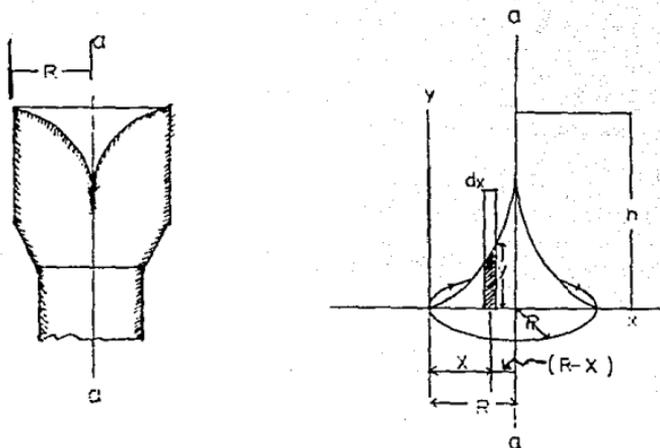
POR ESTO TAMBIÉN PUEDE SER CALCULADO DE LA CONTRACCIÓN -- DEL METAL EN CUESTIÓN, EL VOLUMEN MÁXIMO O PESO DE LA PIEZA QUE VA A SER SUMINISTRADO POR EL ALIMENTADOR. ÉSTE VOLUMEN DEBERÁ CORRESPONDER A LA CAPACIDAD DEL RANGO DE ALIMENTACIÓN CON DISEÑOS ECONÓMICOS DE ALIMENTADORES.

ALGUNAS VECES EN LA LITERATURA SE AFIRMA QUE UN ALIMENTADOR DADO EL MÓDULO CORRECTO, AUTOMÁTICAMENTE ENVIARÁ EL SUFICIENTE METAL LÍQUIDO PARA ALIMENTAR LA PIEZA. ÉSTO NO SIEMPRE ES CIERTO, PORQUE EN ALGUNOS CASOS EL 14 % LIMITA EL RECHUPE PARABÓLICO.

PARA CALCULAR EL RECHUPE DEL ALIMENTADOR EN LUGAR DE TOMAR UNA CURVA LOGARÍTMICA DEL RECHUPE EN EL ALIMENTADOR, UNA FORMA PARABÓLICA PUEDE SER ACEPTADA PARA FINES PRÁCTICOS -- CORRESPONDIENTE A LA SIGUIENTE ECUACIÓN:

$$y = \frac{x^2}{2p} \quad (27)$$

REF. 6



CAVIDAD DEL RECHUPE, CONCEBIDA COMO UN CONO PARABOLICO GENERADO POR ROTACION ALREDEDOR DEL EJE a - a

FIGURA 12

REF.6

DONDE P ES EL PERÍMETRO POR ROTACIÓN ALREDEDOR DEL EJE - - a - a INDICADO EN LA FIGURA 12, DONDE UN CONO PARABOLICO ES GENERADO, EL CUAL TIENE UNA PROFUNDIDAD " d "

$$d = \frac{R^2}{2P} \quad (28)$$

REF.6

R ES TAMBIÉN EL RADIO DEL ALIMENTADOR.

PERÍMETRO Y VOLUMEN AHORA PUEDEN SER CALCULADOS, TENEMOS:

$$\begin{aligned}
 V_{sc} &= 2\pi \int_0^R (R-x) y dx = 2\pi \int_0^R (R-x) \frac{x^2}{P} dx \\
 \text{(rechupe} & \\
 \text{cónico)} & \\
 &= \frac{\pi}{P} \left( \frac{R^4}{3} - \frac{R^3}{3} \right) y
 \end{aligned}$$

$$V_{sc} = \frac{\pi R^4}{12p} \quad (29) \quad 6 \quad p = \frac{\pi R^4}{12V_{sc}} \quad (30) \quad \text{REF. 6}$$

DONDE  $V_{sc}$  ES EL VOLUMEN DEL RECHUPE CÓNICO PARABÓLICO.

EL ÁREA SUPERFICIAL "H" DEL CONO ES:

$$H = 2\pi \int (R - x) \sqrt{1 + y'^2} dx$$

$$y' = \frac{x}{p}; \quad y'^2 = \frac{x^2}{p^2}$$

$$H = 2\pi R \int_0^R \sqrt{1 + \frac{x^2}{p^2}} x dx - 2\pi \int_0^R x \sqrt{1 + \frac{x^2}{p^2}} x dx$$

$$= \frac{2\pi R}{p} \int_0^R \sqrt{p^2 + x^2} x dx - \frac{2\pi}{p} \int_0^R x \sqrt{p^2 + x^2} x dx$$

$$= 2\pi R \left[ \frac{R}{2} \sqrt{p^2 + R^2} + \frac{p^2}{2} \ln(R + \sqrt{p^2 + R^2}) - \right.$$

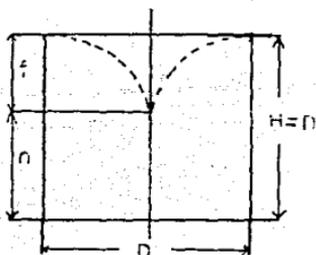
$$\left. \frac{p^2}{2} \ln p \right] - \frac{1}{3} \left[ (p^2 + R^2)^{\frac{2}{3}} - p^3 \right] - \left[ (p^2)^{\frac{2}{3}} - p^3 \right]$$

(31)

REF. 6

EN LUGAR DE ESTA ABULTADA ECUACIÓN, CURVAS INDIVIDUALES -- PUEDEN TAMBIÉN SER DIVIDIDAS EN SECCIONES Y DETERMINADAS - PLANIMÉTRICAMENTE, O LA LONGITUD DE LOS ARCOS MEDIDA Y LAS SECCIONES TRAPEZOIDALES CALCULADAS.

SÓLO PARA MODELOS CON RADIO  $r = 10$  Y  $r = 14.2$  FUERON CALCULADOS Y ÉSTOS FUERON TRANSPORTADOS A OTROS RADIOS DE ACUERDO CON LA LEY DE SEMEJANZA GEOMÉTRICA, LOS CÁLCULOS SE MUESTRAN EN LAS FIGURAS: 13 Y 14 .



ALIMENTADOR CILINDRICO  $H/D = 1$

VALORES EN EL ALIMENTADOR ANTES DE INICIARSE EL RECHUPE

$$V_F = 6280 \text{ CM}^3 \quad (\text{VOLUMEN INICIAL DEL ALIMENTADOR})$$

SUPERFICIE GENERADA  $A=D$

$$H = 1280 \text{ CM}^2 \quad (\text{SUPERFICIE GENERADA POR EL RECHUPE})$$

$$\text{SUPERFICIE DE ENFRIAMIENTO} = 1594 \text{ CM}^2$$

$$\text{MÓDULO} = 3.95 \text{ CM}$$

Fig. 13

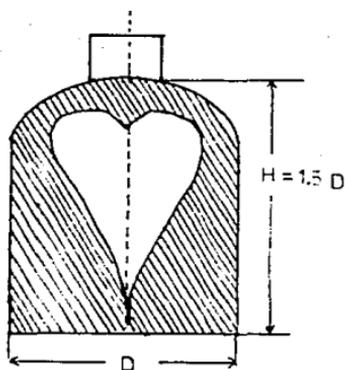
REF.6

TABLA 3

REF.6

CÁLCULOS EXPERIMENTALES CORRESPONDIENTES A LA FIGURA 13

PROFUNDIDAD DEL RECHUPE	CM	8	12	16	20
VOLUMEN DEL RECHUPE ( $V_{SC}$ )	CM <sup>3</sup>	426	642	852	1070
SUPERFICIE GENERADA DE EL RECHUPE CONICO (H)	CM <sup>2</sup>	379	461	534	593
VOLUMEN DE ACERO EN EL ALIMENTADOR AL FINAL DE LA SOLIDIFICACIÓN (VE)	CM <sup>3</sup>	5854	5638	5428	5210
SUPERFICIE DE ENFRIAMIENTO EN LA SOLIDIFICACIÓN = (A + H)	CM <sup>2</sup>	1655	1730	1790	1880
MÓDULO DE LA SOLIDIFICACIÓN = $\left(\frac{VE}{A + H}\right)$	CM	3.54	3.25	3.03	2.77
DATOS EN FRACCIONES DE LOS VALORES ORIGINALES	PROFUNDIDAD DEL RECHUPE	0.4	0.6	0.8	1.0
	VOLUMEN DEL RECHUPE $V_{SC}/V_F$	0.07	0.1	0.135	0.17
	VOLUMEN DE ACERO EN LA SOLIDIFICACIÓN $VE/V_F$ = $\frac{V_F - V_{SC}}{V_F}$	0.93	0.9	0.865	0.83
	MÓDULO $ME/V_F$	0.895	0.82	0.77	0.70



ALIMENTADOR CILINDRICO CERRADO  $H/D = 1.5$

VALORES DEL ALIMENTADOR ANTES DE INICIARSE EL RECHUPE

$$V_F = 8340 \text{ cm}^3$$

$$\text{SUPERFICIE DE ENFRIAMIENTO} = 1830 \text{ cm}^2$$

$$\text{MÓDULO} = 4.44 \text{ cm.}$$

LA PROFUNDIDAD DEL RECHUPE SÓLO PUEDE SER CALCULADA -  
APROXIMADAMENTE, DEBIDO A EL CASCO ESFÉRICO.

EL RECHUPE MIDE A LO MÁS 17% DE EL VOLUMEN INICIAL, -  
REDUCIDO A 14% SI EL LÍMITE DE SEGURIDAD ES INCORPORADO.

FIG. 14

REF.6

TABLA 4

REF. 6

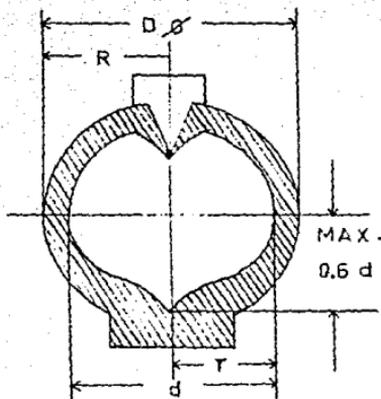
CÁLCULOS EXPERIMENTALES CORRESPONDIENTES A LA FIGURA 14

VOLUMEN DEL RECHUPE $V_{sc}/V_T$	0.02	0.05	0.10	0.13	0.17
VOLUMEN DEL ACERO EN EL ALIMENTADOR AL FI NAL DE LA SOLIDIFICA CION	0.98	0.95	0.90	0.87	0.83
MODULO AL FINAL DE LA SOLIDIFICACION	4.35	4.21	4.00	3.86	3.70
MODULO EN FRACCIONES DEL MODULO INICIAL - $M_E/M_F$	0.98	0.95	0.90	0.87	0.835
FACTOR = $\frac{M_F}{M_E}$	1.04	1.05	1.11	1.15	1.2

$$d \approx 0.67 \text{ } \phi$$

$$D = 1.49 \text{ } d$$

$$R = 1.49 \text{ } r$$



ALIMENTADOR ESFERICO CERRADO

FIGURA 15

REF. 6

$$V_{\text{PARABOLA}} = \frac{r^4}{12p}$$

$$t = 0.6d = 1.2r = \frac{r^2}{2p}, \quad p = \frac{r^2}{2t}$$

$$V = \frac{r^4}{12p} = \frac{r^4 \cdot 2t}{12r^2} = \frac{r^2 t}{6} = \frac{r^2 \cdot 1.2r}{6}$$

$$= r^3 \cdot 0.2 = 0.626r^3$$

$$V_{\text{superior}} = 2.06 r^3$$

$$V_{\Delta} = 2.06$$

$$0.626$$

$$\frac{0.626}{2.686r^3}$$

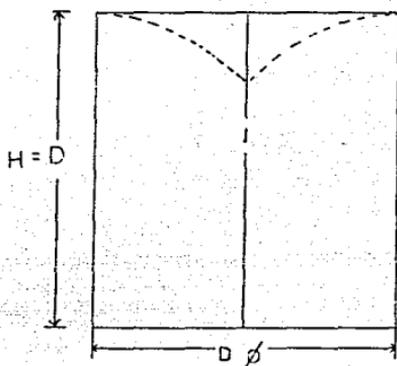
$$V_{\text{esfera solida}} = 4.12r^3 = (1.49)^3 \cdot 4.12r^3 = 13.6r^3$$

$$V_{\Delta} = 0.197 V_0 \sim 0.2 \cdot V_0$$

$$\delta \sim 20\% \text{ de la ESFERA SOLIDA}$$

CALCULOS ANALITICOS CORRESPONDIENTES A LA FIGURA 15

EN LAS SIGUIENTES FIGURAS SE DAN LOS VALORES CARACTERÍSTICOS PARA VARIAS FORMAS DE ALIMENTADORES, USÁNDOSE EL MÉTODO ANALÍTICO Y EL MÉTODO EXPERIMENTAL MOSTRANDOSE LAS DIFERENCIAS EXISTENTES



ALIMENTADOR CILINDRICO  $H/D = 1$

(ANALÍTICO)

VOLUMEN DEL ALIMENTADOR

$$V_F = 2R^3\pi = 99 (M_F)^3$$

AREA DEL ALIMENTADOR

$$A_F = 5R^2\pi$$

MODULO DEL ALIMENTADOR

$$M_F = 0.4R = 0.2D$$

RADIO DEL ALIMENTADOR

$$R = 2.5 M_F$$

(EXPERIMENTAL)

$$V_F = 2R^3\pi = 167 (M_F)^3$$

$$A_F = 6R^2\pi$$

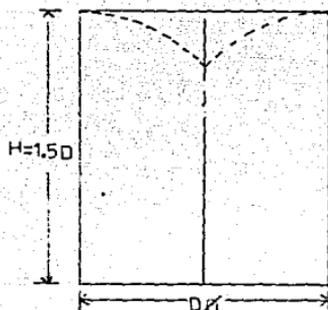
$$M_F = 0.1667D = \frac{D}{6} = \frac{R}{3}$$

$$R = 3.33 M_F$$

DIFERENCIAS ENTRE LOS VALORES CARACTERÍSTICOS DE UN ALIMENTADOR CILÍNDRICO  $H/D = 1$ , USÁNDO EL MÉTODO ANALÍTICO Y EL MÉTODO EXPERIMENTAL

FIGURA 16 a

REF. 6



ALIMENTADOR CILINDRICO H/D = 1.5

(ANALÍTICO)

VOLUMEN DEL ALIMENTADOR

$$V_F = 3\pi R^3 = 122 (M_F)^3$$

AREA DEL ALIMENTADOR

$$A_F = 7R^2 \pi$$

MODULO DEL ALIMENTADOR

$$M_F = 0.429 R = 0.2145D$$

RADIO DEL ALIMENTADOR

$$R = 2.33 M_F$$

(EXPERIMENTAL)

$$V_F = 3R^3 \pi = 179 (M_F)^3$$

$$A_F = 8R^2 \pi$$

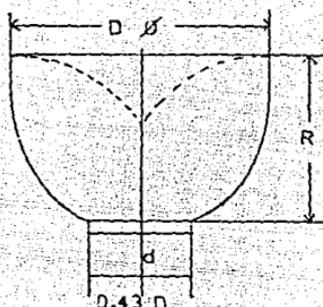
$$M_F = 0.375R = 0.187 D$$

$$R = 2.67 M_F$$

DIFERENCIAS ENTRE LOS VALORES CARACTERÍSTICOS DE UN ALIMENTADOR CILINDRICO H/D = 1.5, USÁNDOSE EL MÉTODO ANALÍTICO Y EL MÉTODO EXPERIMENTAL

FIGURA 16 b

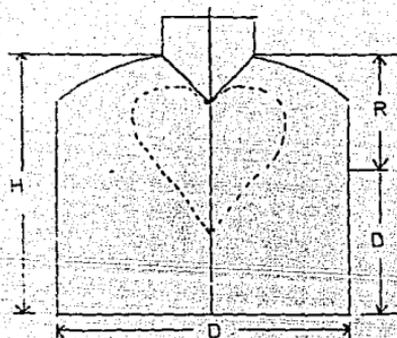
REF. 6



ALIMENTADOR SEMIESFERICO

(ANALÍTICO)	(EXPERIMENTAL)
VOLUMEN DEL ALIMENTADOR	
$V_F = 2.09R^3 = 156 (M_F)^3$	$V_F = 2.09 R^3 = 191 (M_F)^3$
MODULO DEL ALIMENTADOR	
$M_F = 0.237R = 0.1185D$	$A_F = 3R^2 \pi$
RADIO DEL ALIMENTADOR	
$R = 4.21M_F; R^3 = 76(M_F)^3$	$M_F = 0.222 R$
RADIO DEL CUELLO	
$r = 1.85M_F$	$R = 4.5M_F$
MODULO DEL CUELLO	
$M_{\text{cuello}} = \frac{M_F}{1.1} = 0.5 r = 0.91M_F$	
	$r = 0.4R = 1.8M_F$

DIFERENCIAS ENTRE LOS VALORES CARACTERÍSTICOS DE UN ALIMENTADOR SEMIESFERICO, USANDOSE EL MÉTODO ANALÍTICO Y EL MÉTODO EXPERIMENTAL



ALIMENTADOR CILINDRICO CERRADO

(ANALÍTICO)

VOLUMEN DEL ALIMENTADOR  
 $V_F = 8.34R^3 = 96 (M_F)^3$

AREA DEL ALIMENTADOR  
 $A_F = 6R^2 \pi$

MODULO DEL ALIMENTADOR  
 $M_F = 0.444 R = 0.222D$

RADIO DEL ALIMENTADOR  
 $R = 2.25 M_F$

(EXPERIMENTAL)

$V_F = 8.34R^3 = 156 (M_F)^3$

$A_F = 7R^2 \pi$

$M_F = 0.378R = 0.189D$

$R = 2.65M_F$

FIGURA 16 a

REF. 6

COMPARACIÓN DE CÁLCULOS, MÉTODO ANALÍTICO Y EXPERIMENTAL.

LAS FIGURAS 17, 18 Y 19 MUESTRAN EL COMPORTAMIENTO DE LOS ALIMENTADORES CUANDO SE LES FORMA RECHUPE, EL VOLUMEN DEL RECHUPE AUMENTA EN PROPORCIÓN DIRECTA A SU PROFUNDIDAD Y EL MÓDULO DEL ALIMENTADOR DISMINUYE LINEALMENTE.

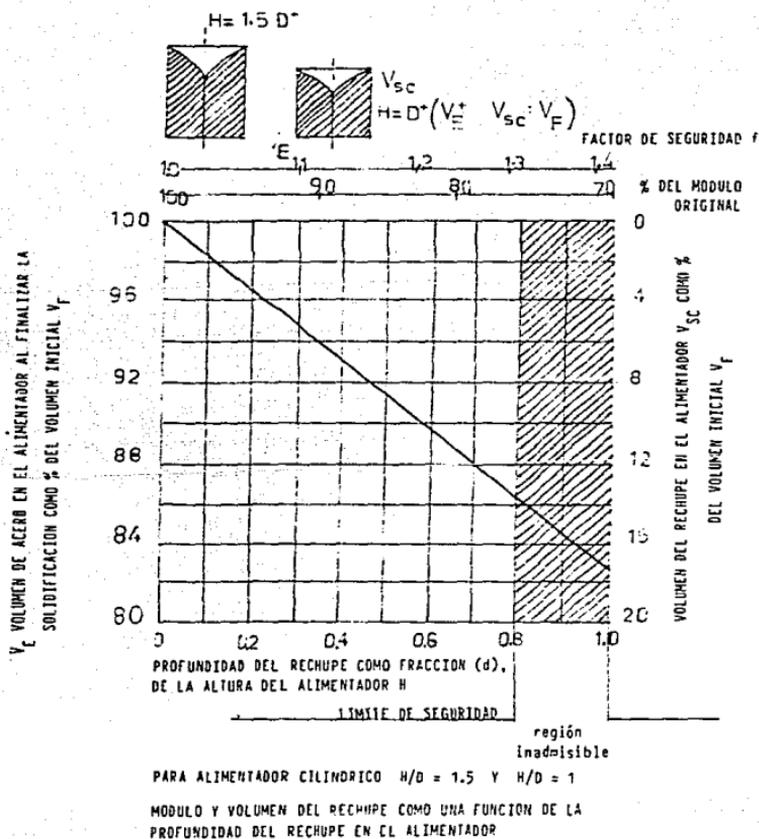
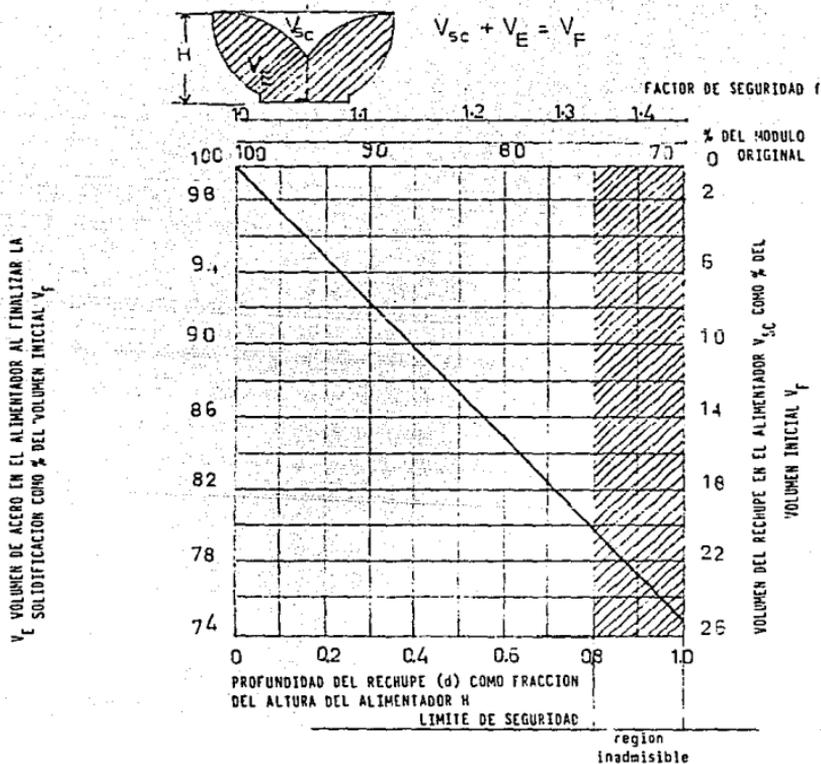


FIGURA 17

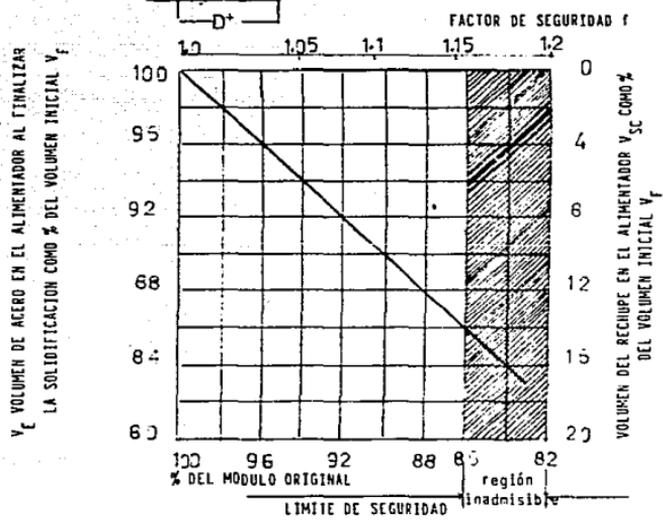
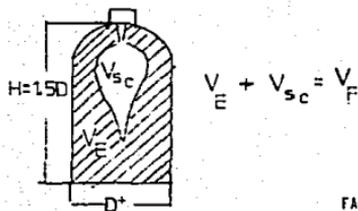
REF. 6



MODULO Y VOLUMEN DEL RECHUPE COMO FRACCION DE LA PROFUNDIDAD DEL RECHUPE EN EL ALIMENTADOR. APLICADO PARA ALIMENTADORES SEMIESFERICOS

FIGURA 18

REF. 6



MÓDULO Y FACTOR DE SEGURIDAD f COMO FUNCIÓN DEL RECHUPE EN UN ALIMENTADOR CERRADO

FIGURA 19

REF. 6

CON LO QUE RESPECTA AL FACTOR DE SEGURIDAD (COMPENSACIÓN), PUEDE SER DEDUCIDO DIRECTAMENTE, VARÍA SEGÚN LA PROFUNDIDAD DEL RECHUPE. EL CÁLCULO PRÁCTICO PODRÍA SER BASADO, NO EN EL FINAL DEL MÓDULO AL TERMINARSE LA SOLIDIFICACIÓN, SINO EN EL INTERMEDIO DEL INICIO Y FINAL DEL MÓDULO; SIN EMBARGO CON FUNDAMENTOS SEGUROS Y EFECTIVOS, EL REQUISITO ES PUESTO BAJO AQUEL MÓDULO DEL ALIMENTADOR QUE AL TÉRMINO DE LA SOLIDIFICACIÓN COINCIDIRÁ CON EL MÓDULO DE LA PIEZA.

LA INTERFASE ALIMENTADOR/PIEZA NO SE ACEPTA COMO UNA SU  
 PERFICIE DE ENFRIAMIENTO EN EL MÉTODO ANALÍTICO O TAM--  
 BIEN LLAMADO EXACTO, SE USA PARA CÁLCULOS RÁPIDOS EN EL  
 MÉTODO EXPERIMENTAL, EL RESULTADO ES UN DESPLAZAMIENTO  
 DEL FACTOR "f" EL TAMAÑO DEL CUAL ES FUNCIÓN DE LA  
 FORMA DE LA PIEZA.

VARIOS FACTORES SON COMPARADOS EN LA TABLA 5

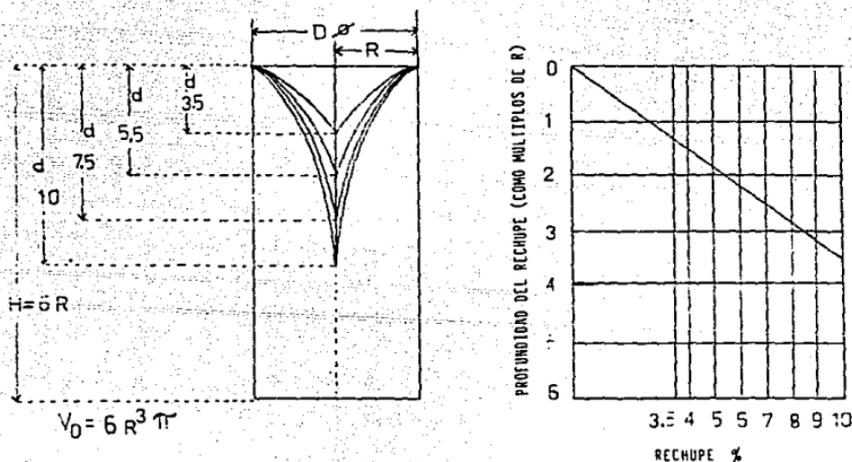
	(ANALÍTICO)	(EXPERIMENTAL)
PLACA	$f = 1.29$	$f = 1.23$
BARRA 1:4	$f = 1.33$	$f = 1.25$
CUBO	$f = 1.187$	$f = 1.187$

TABLA 5

REF. 6

NICOLAS, REF. 6 INTRODUJO POR PRIMERA VEZ PARA EL CÁL-  
 CULO DE ALIMENTADORES EL USO DEL FACTOR  $f = 1.3$  EL CUAL  
 FACILITA LOS CÁLCULOS TEÓRICOS EXACTOS. EL CAMBIO EN EL  
 ÁREA SUPERFICIAL ES TOMADO EN CUENTA EN EL ALIMENTADOR,  
 EL MÉTODO ES MÁS EXACTO QUE EL PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO  
 DE NAMUR, REF. 6 EL CUAL SÓLO PERMITE CAMBIOS EN EL VO-  
 LUMEN.

LA FIGURA 20 MUESTRA LA INFLUENCIA DE LA CONTRACCIÓN "S" EN LA PROFUNDIDAD DEL RECHUPE "d":



RELACION DEL RECHUPE, CAVIDAD DEL RECHUPE EN EL CILINDRO

FIGURA 20

REF. 6

DONDE TENEMOS:

$$v_{\text{rechupe cónico}} = \left( \frac{S}{100(v_{\text{pieza}} + v_{\text{alimentador}})} \right)$$

$$v_{\text{pieza}} = \left( \frac{100 v_{\text{sc}} - S v_{\text{F}}}{S} \right)$$

(32)  
Ref. 6

DEACUERDO A LAS FIGURAS 17, 18 Y 19 TENEMOS QUE PARA UN ALIMENTADOR CILÍNDRICO:  $v_{\text{sc}} = 0.14 v_{\text{F}}$  (3) Ref. 2

AL SUSTITUIR 33 EN 32 OBTENEMOS LA ECUACIÓN 24:

$$v_{\text{max}} = v_{\text{F}} \left( \frac{14 - S}{S} \right)$$

PARA UN ALIMENTADOR SEMIESFERICO TENEMOS:

$$v = 0.20 v_F \quad (34)$$

Ref. 6

Y AL SUSTITUIR EN LA ECUACION 32 OBTENEMOS LA ECUACION 25

$$v_{\max} = v_F \left( \frac{20 - s}{s} \right)$$

POR LO TANTO EL VOLUMEN MÁXIMO DE LA PIEZA ( $v_{\max}$ ) EL CUAL PUEDE SER ALIMENTADO, ESTÁ RELACIONADO CON LA CONTRACCIÓN "s", MOSTRADO EN LAS FIGURAS 21 Y 22

MAXIMO VOLUMEN DE LA PIEZA, EL CUAL PUEDE SER ALIMENTADO SATISFACTORIAMENTE COMO UNA FUNCIÓN DEL VOLUMEN DEL ALIMENTADOR Y EL RECHUPE.

VALIDO PARA ALIMENTADORES CILINDRICOS ABIERTOS, CERRADOS Y PRESURIZADOS.

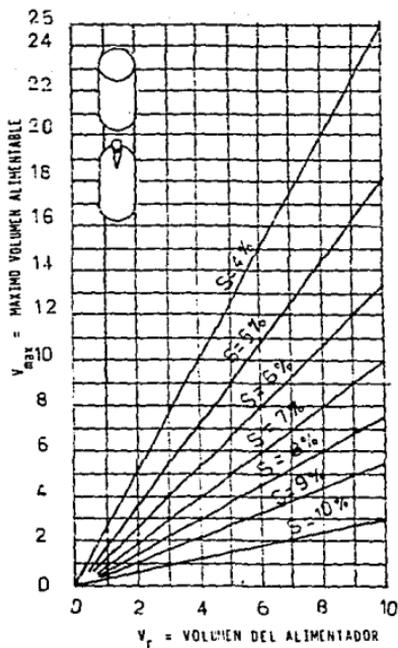


FIGURA 21

REF. 6

MAXIMO VOLUMEN DE LA PIEZA, EL CUAL PUEDE SER ALIMENTADO SATISFACTORIAMENTE COMO UNA FUNCION DEL VOLUMEN DEL ALIMENTADOR Y EL RECHUPE

VALIDO PARA ALIMENTADORES SEMI-ESFERICO Y ESFERICOS.

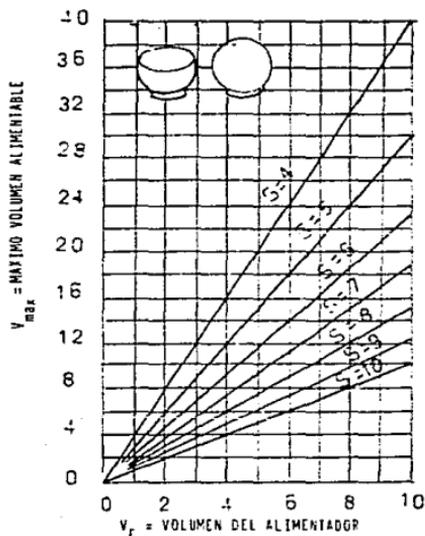


FIGURA 22 REF. 6

LA IMPORTANCIA DE SER ALIMENTADO ES FUNCIÓN DE LA FORMA DE LA PIEZA, ASÍ COMO DEL RECHUPE.

LOS VALORES CARACTERÍSTICOS DE LAS PIEZAS, ESTÁN LIGADOS CON LOS ALIMENTADORES.

OBTENEMOS DE LA FIGURA 16 PARA EL CASO DE UN ALIMENTADOR CILÍNDRICO CON ALTURA  $H =$  DIAMETRO "D" LA RELACIÓN:

$$V_F = 99 (M_F)^3 \quad (35) \quad \text{Ref. 6}$$

EL VALOR DE  $q = 99$  SIENDO LA FORMA Y EL MÓDULO DE CARACTERÍSTICAS DEPENDIENTES.

ADEMÁS:

$$M_F = f M_{\text{pieza}}, \quad \text{SIENDO } f \text{ EL FACTOR DE COMPENSACIÓN.}$$

ASÍ EL MÁXIMO VOLUMEN DE UNA PIEZA, EL CUAL PUEDE SER ALIMENTADO POR UN ALIMENTADOR CILÍNDRICO QUE TIENE  $H=D$  PUEDE SER CALCULADO CON LA ECUACIÓN 24 Y 25.

$$V_c \leq \frac{100V_{sc} - SV_F}{S}$$

$$V_F = \frac{14 - S}{S}$$

$$V_F = 99(M_c)^3 f^3 \left( \frac{14 - S}{S} \right)$$

Ref. 6

PARA UN ALIMENTADOR CILÍNDRICO CON  $H=1.5D$ :

$$V_c \leq 122(M_c)^3 f^3 \left( \frac{14 - S}{S} \right)$$

(36)  
Ref. 6

PARA ALIMENTADORES SEMIESFÉRICOS:

$$V_c = 156(M_c)^3 f^3 \left( \frac{20 - S}{S} \right)$$

(37)

PERO COMO LOS CÁLCULOS PARA EL ALIMENTADOR DEBERÁN SER INICIADOS DESDE LA PIEZA Y NO DESDE EL ALIMENTADOR, EL FACTOR  $f$ , CON REFERENCIA A LAS CONDICIONES DE ALIMENTACIÓN DE ALIMENTADORES CILÍNDRICOS QUE TIENEN  $H=D$  ESTÁ DADO POR:

$$f = \sqrt[3]{\frac{v_c}{99(M_c)^3} \frac{s}{14-s}}$$

$$f = \sqrt[3]{\frac{s}{99(14-s)}} \sqrt[3]{\frac{v_c}{M_c}}$$

$$f = \frac{k}{M_c} - \sqrt[3]{v_c}$$

REF. 6

EN ESTA EXPRESIÓN "K" ES UNA CONSTANTE, LA CUAL ES DEPENDIENTE SÓLO DEL TIPO DE ALIMENTADOR Y DEL RECHUPE.

### 2.3 TÉCNICA GEOMÉTRICA

OTROS AUTORES COMO HEINE (REF. 7), SE BASAN EN LA ALIMENTACIÓN GEOMÉTRICA, DONDE EL METAL DE ALIMENTACIÓN REQUERIDO POR LA PIEZA ES EL QUE PRINCIPALMENTE COMPENSARÁ LA DILATACIÓN EN LA IMPRESIÓN DEL MOLDE DE ARENA EN VERDE, TAL DILATACIÓN ES DE 2 A 8% EN VOLUMEN, DEPENDIENDO DEL ESPESOR DE LA PIEZA Y DE LA DENSIDAD DE LA ARENA DE MOLDEO.

POR LO TANTO EL METAL DE ALIMENTACIÓN REQUERIDO ES CONSIDERADO POR ALGUNOS INVESTIGADORES QUE TIENE QUE MOSTRAR Poca CONTRACCIÓN AL OCURRIR LA SOLIDIFICACIÓN EN HIERRO DÚCTIL DE ALTO CARBÓN EQUIVALENTE.

LA TÉCNICA GEOMÉTRICA ASUME QUE LA DILATACIÓN EN LA IMPRESIÓN DEL MOLDE OCURRIRÁ Y DE ESTA MANERA EL METAL DE ALIMENTACIÓN ES REQUERIDO Y ES DE 2 A 8% EN VOLUMEN.

LA TÉCNICA SERÁ ILUSTRADA EN UN ALIMENTADOR LATERAL:

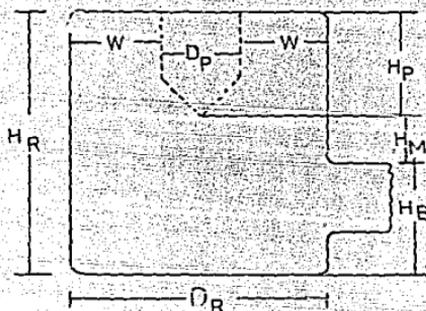


FIGURA 23

REF. 7

EL ALIMENTADOR ESTÁ DIVIDIDO VERTICALMENTE EN TRES SECCIONES:

- LA SECCIÓN DE ALIMENTACIÓN DE ALTURA  $H_P$
- LA SECCIÓN PRESURIZADA DE ALTURA  $H_M$
- LA BASE DE ALTURA  $H_B$

LA SECCIÓN DE ALIMENTACIÓN ESTÁ DESTINADA A PROPORCIONAR EL METAL A ALIMENTAR DESDE LA CAVIDAD DEL RECHUPE, TENIENDO UN VOLUMEN IGUAL A EL PORCENTAJE DE EL VOLUMEN DE LA PIEZA, USUALMENTE DE 2 A 8 % .

LA CAVIDAD DEL RECHUPE FUE INICIALMENTE SELECCIONADA PARA TENER UNA RELACIÓN ALTURA/DIÁMETRO  $H_p/D_p$  DE 2.5 A 1.0 PORQUE LA EXPERIENCIA EN LA FUNDICIÓN HA DADO BUENOS RESULTADOS.

EL VOLUMEN DE ALIMENTACIÓN  $V_F$  ES:

$$V_F = \frac{(D_p)^2}{2^2} \pi H_p = \frac{(D_p)^3 (2.5)}{4} \quad (38)$$

REF. 7

DONDE  $H_p = 2.5 D_p$

TAMBIÉN  $V_F = V_C \cdot \%$  DE METAL DE ALIMENTACIÓN REQUERIDO, DONDE  $V_C$  ES EL VOLUMEN DE LA PIEZA.

$D_p$ , EL DIÁMETRO DEL RECHUPE DE LA ECUACIÓN 38 ES:

$$D_p = \sqrt[3]{\frac{V_C \cdot F}{1.9635}} \quad (39)$$

REF. 7

DONDE F ES EL PORCIENTO DE METAL DE ALIMENTACIÓN REQUERIDO.

EL PESO DEL METAL DE ALIMENTACIÓN REQUERIDO ES MÁS TOMADO EN CUENTA SU USO EN LUGAR QUE EL VOLUMEN, YA QUE EL PESO DE LA PIEZA SE CONOCE.

EL DIÁMETRO DEL ALIMENTADOR,  $D_R$  DE LA SECCIÓN DE ALIMENTACIÓN SE OBTIENE CON LA SIGUIENTE ECUACIÓN:

$$D_R = D_p + 2W \quad (40)$$

REF. 7

DONDE  $d_p$  ES EL DIÁMETRO DEL RECHUPE Y 'w' ES EL ESPESOR DE LA SECCIÓN DE LA TRAYECTORIA DE ALIMENTACIÓN DE LA PIEZA O ALIMENTADOR.

'w', ESPESOR EFECTIVO DE LA SECCIÓN DE LA PIEZA, ES FRECUENTEMENTE LA PARTE MÁS DIFÍCIL DE OBTENER EN EL DIÁMETRO DEL ALIMENTADOR  $d_R$  ECUACIÓN 40.

EN LA FIGURA 23 EN EL DIÁMETRO DE UN ALIMENTADOR CILÍNDRICO  $2w$  ES NECESARIO PARA PERMITIR QUE EL METAL LÍQUIDO ALIMENTE LA PIEZA Y SE PRESENTE EL DIÁMETRO DEL RECHUPE  $d_R$ .

PARA DETERMINAR 'w', EL ESPESOR EFECTIVO DE LA SECCIÓN DE ALIMENTACIÓN, PARA LA CUAL EL ALIMENTADOR ESTÁ RELACIONADO, DEBIENDOSE DE CONOCER TAMBIÉN QUE :

'w' = ESPESOR DE LA PLACA, T, DONDE EL ALIMENTADOR LATERAL ESTÁ CONECTADO A LA PLACA.

'w' =  $0.5d$ , DONDE  $d$  ES EL DIÁMETRO DE UNA BARRA, DONDE EL ALIMENTADOR ESTÁ CONECTADO AL FINAL DE UNA BARRA CILÍNDRICA, Ó  $0.5e$ , DONDE 'e' ES LA DIMENSIÓN DEL BORDE DE UNA BARRA CUADRADA.

$w = 2(v/a)$ , DONDE  $(v/a)$  ES EL MÓDULO DE LA SECCIÓN EFECTIVA DE ALIMENTACIÓN. DENUEVO  $(v/a) = t/2$  PARA PLACAS INFINITAS O,  $w = t$  Y  $v/a$  PARA BARRAS INFINITAS =  $d/4$  Ó, 'w' =  $2d/4 = 0.5d$ .

ASÍ W ESTÁ SIEMPRE EXPRESADO COMO EL ESPESOR EFECTIVO DE LA SECCION, DIGAMOS EN UNA PLACA EQUIVALE A EL MÓDULO DE LA SECCIÓN DE ALIMENTACIÓN.

EL DIÁMETRO DE LA SECCIÓN DE ALIMENTACIÓN DEL ALIMENTADOR SE OBTIENE DE LA ECUACIÓN 40 Y SU ALTURA DE  $H_p = 2.5D_p$ , - COMO EL VALOR DE LA RELACIÓN  $H_p/D_p$  ES ACEPTADA AL SER 2.5, LOS CÁLCULOS PUEDEN SER SIMPLIFICADOS POR LA GRÁFICA DE LA FIGURA 24 .

EL VALOR DE EL DIÁMETRO DEL RECHUPE  $D_p$  Y LA ALTURA DEL RECHUPE  $H_p$  NECESARIOS PARA PROPORCIONAR 6% DEL VOLUMEN DEL METAL A ALIMENTAR, BASADO EN EL PESO DE LA PIEZA QUE TIENE UNA DENSIDAD DE 0.25 lb/pul<sup>3</sup> SE MUESTRA PARA RELACIONES DE  $H_p/D_p$  DE 1.0 A 4.0 PARA HIERRO DÚCTIL.

A CONTINUACIÓN SE MUESTRA LA GRÁFICA:

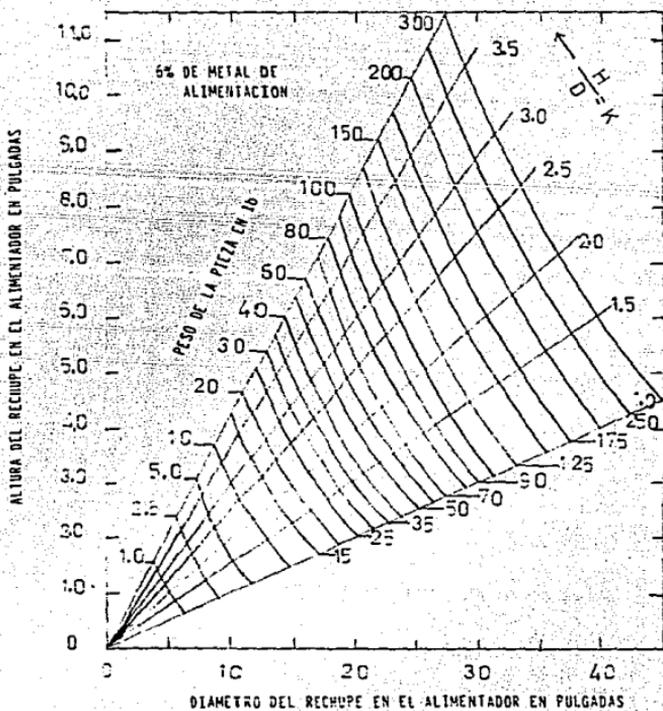


FIGURA 24

## CAPITULO 3

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 3.1 PANORAMA GENERAL

PARA EL DESARROLLO DEL EXPERIMENTO SE SELECCIONARON 2 - PIEZAS EN FORMA DE PLACAS, CON UN PESO DE 0.483 Kg Y -- 1.49 Kg RESPECTIVAMENTE, A CADA PLACA PRIMERO SE LE COLOCÓ UN ALIMENTADOR CALIENTE ABIERTO CILÍNDRICO, DE FONDO PLANO DE DIMENSIONES CALCULADAS PARA CADA PLACA, LUEGO SE REMOVIERON Y SE COLOCARON ALIMENTADORES CALIENTES ABIERTOS CILÍNDRICOS, DE FONDO SEMIESFÉRICO, TODOS DE - RELACIÓN  $H/D = 2$ .

CADA PIEZA SE COLÓ A 3 DIFERENTES TEMPERATURAS (710, -- 760 Y 810 °C) PARA LOS DOS TIPOS DE ALIMENTADORES, DESPUÉS SE CORTÓ Y SE LIMPIÓ EL ALIMENTADOR DE CADA PIEZA COLADA, SE EVALUÓ EL RECHUPE PARA VALORAR EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA ( $\eta$ )

### 3.2 EQUIPO

EL EQUIPO QUE SE USÓ EN EL DESARROLLO DEL EXPERIMENTO FUE EL SIGUIENTE:

- 1 HORNO DE CRISOL DE GRAFITO CON QUEMADOR DE GAS DE 12 KG. DE CU DE CAPACIDAD
- 1 TERMOPAR CROMEL-ALUMEL TIPO K
- 1 MULTÍMETRO DIGITAL MARCA SOAR MODELO ME-550
- 3 CAJAS DE ALUMINIO PARA MOLDEAR, CON LAS DIMENSIONES DE 45 x 35 x  $\frac{10.2}{12.7}$  cm
- 2 PLACAS MODELO

### 3.3 MATERIALES USADOS

LOS MATERIALES USADOS EN EL DESARROLLO DEL EXPERIMENTO FUERON:

ALUMINIO PURO GRADO COMERCIAL CON EL SIGUIENTE ANÁLISIS:  
0.076 Cu, 0.12 Mn, 0.002 Mg, 0.68 Fe, 0.03 Pb, 1.68 Zn,  
0.026 Si, 0.01 Ti, Al, Balance

DESGASIFICADOR, PASTILLAS A BASE DE HEXACLOROETANO, NOMBRE COMERCIAL: DESGASER 200

ARENA SÍLICA CON GRANULOMETRÍA AFS 80-90 Y 40-45

BENTONITA Na y Ca, AGUA

### 3.4 MOLDEO

PARA EL MOLDEO DE LAS PIEZAS, PRIMERO SE COLOCÓ LA PLACA MODELO ENTRE LA BASE Y TAPÁ DE LA CAJA PARA MOLDEAR, CON SUS RESPECTIVOS ACCESORIOS, EL MODELO SE ESPOLVOREÓ DE TALCO COMO SEPARADOR, ENSEGUIDA EL MODELO SE CUBRIÓ DE ARENA DE CAREO HASTA ALCANZAR POR LO MENOS 1 PULGADA DE ESPESOR, PARA POSTERIORMENTE LLENAR CON ARENA DE RECICLACIÓN, REALIZÁNDOSE TAL OPERACIÓN EN LA BASE Y EN LA TAPA, EL APISONAMIENTO SE HIZO CON UNA MÁQUINA OPERADA MANUALMENTE Y CON PISONETA NEUMÁTICA, PARA YA DESPUÉS DE RETIRADA LA PLACA MODELO Y LOS ACCESORIOS QUEDARA LA IMPRESIÓN DE LA PIEZA.

### 3.5 PIEZAS DE PRUEBA Y ALIMENTADORES

LAS PIEZAS DE PRUEBA FUERON 2 PLACAS, PARA LA PIEZA 1 SE ILUSTRAN LAS DIMENSIONES DE LA PIEZA Y LAS DIMENSIONES DE LOS ALIMENTADORES CON LA RELACIÓN  $H/D = 2$  EN LA SIGUIENTE PÁGINA.

PIEZA I ESQUEMA DE LA PIEZA Y DE LOS ALIMENTADORES CON RELACION H/D = 2

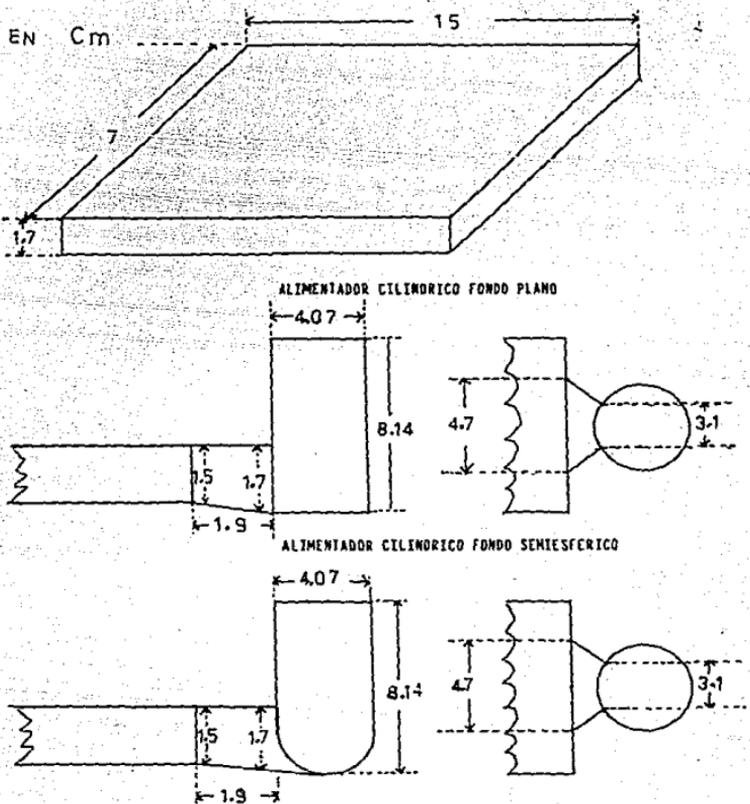


FIGURA 25

ESQUEMA DE LA PIEZA 1 CON EL SISTEMA DE COLADA Y ALIMENTADOR

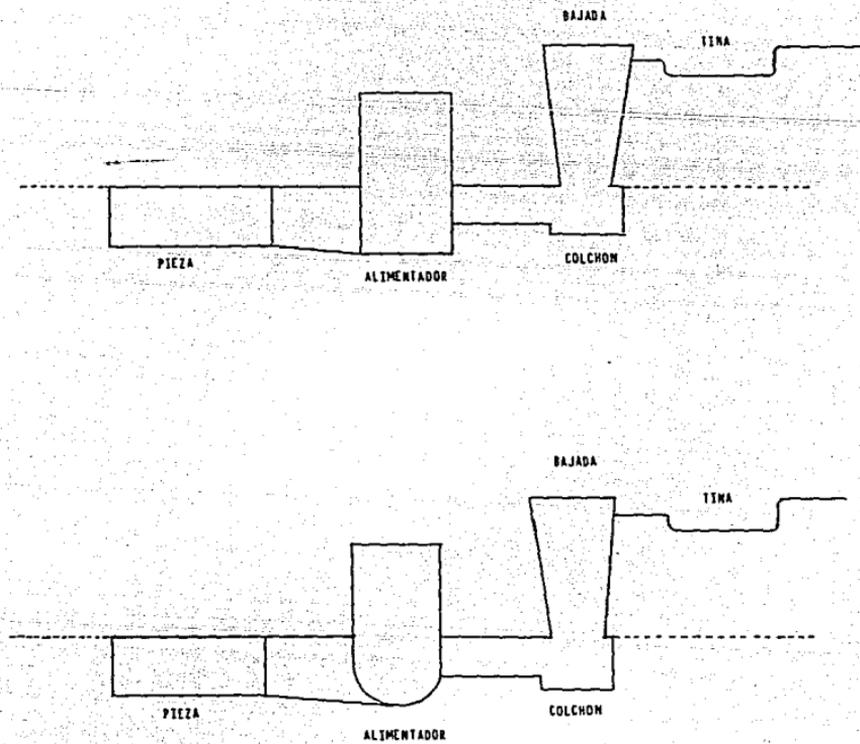


FIGURA 26

PARA EL CASO DE LA PIEZA II, EL ESQUEMA DE LA PIEZA Y DE LOS ALIMENTADORES CON RELACIÓN  $H/D = 2$  SE ILUSTRAN A CONTINUACIÓN:

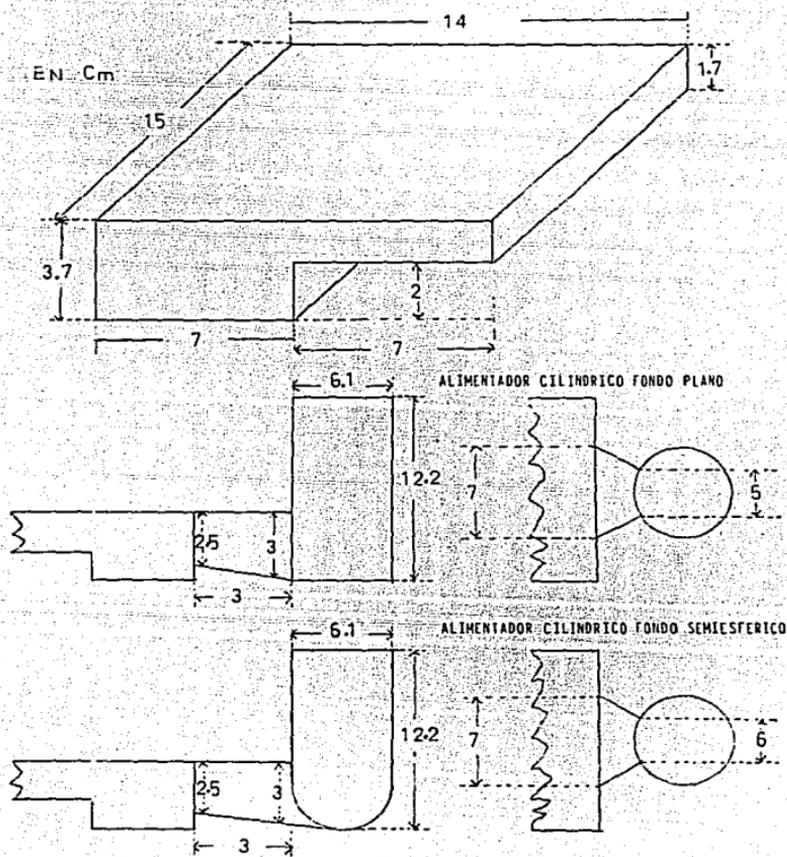


FIGURA 27

ESQUEMA DE LA PIEZA II CON EL SISTEMA DE COLADA Y ALIMENTADOR

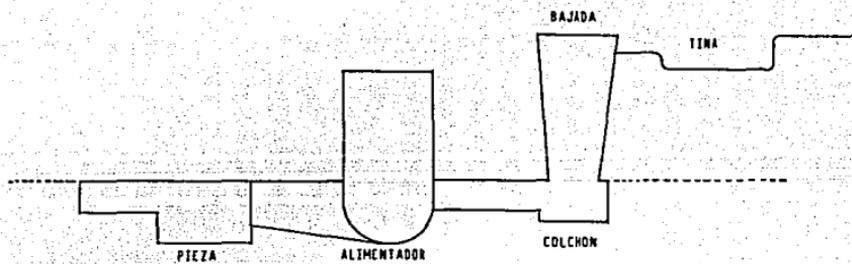
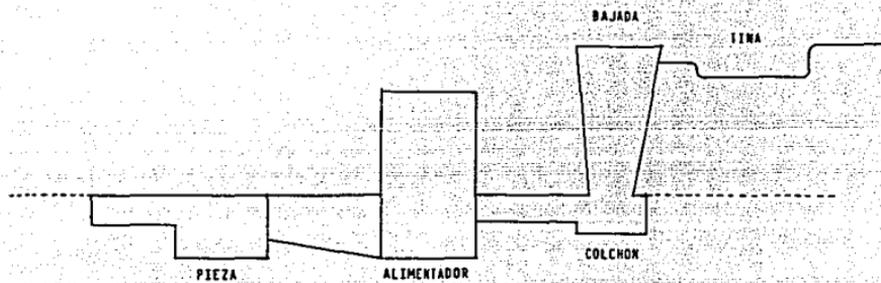


FIGURA 28

### 3.6 TECNICA DE FUSION :

PARA FUNDIR EL METAL PRIMERO SE CORTÓ PEDACERÍA DE  $Al$ , DE MANERA QUE CUPIERA EN EL CRISOL, SE LIMPIÓ, SE PRECALENTÓ EL CRISOL Y LA CARGA, YA PRECALENTADO EL CRISOL SE CARGÓ, YA FUNDIDA LA CARGA SE SIGUIÓ COLOCANDO MÁS METAL HASTA - FUNDIR TOTALMENTE LA CARGA, DESPUÉS CON EL TERMOPAR Y EL MULTÍMETRO DIGITAL SE MIDió EL MILIVOLTAJE PARA SER CON- VERTIDO A TEMPERATURA, YA ESTANDO LIGERAMENTE ARRIBA DE LA TEMPERATURA DE COLADA SE RETIRÓ LA ESCORIA PARA PODER DEGASIFICAR, ADICIONÁNDOSE 2.5 GR. DE DEGASIFICADOR DESGA SER 200 POR KG. DE METAL POR MEDIO DE UNA CAMPANA PREVIA-- MENTE CALENTADA.

SE SUMERGIÓ LA CAMPANA CON EL DEGASIFICADOR EN EL BAÑO - METÁLICO, YA TERMINADA LA REACCIÓN SE DEJÓ PASAR 5 MINUTOS PARA QUE SALTIERAN TOTALMENTE LOS GASES DEL METAL LÍQUIDO, - MUDIÉNDOSE DE NUEVO LA TEMPERATURA PARA QUE AL ALCANZAR LA TEMPERATURA DE COLADA SE RETIRARA LA ESCORIA Y SE PROCEDIE RA A LA COLADA.

### 3.7 EVALUACION DEL RECHUPE GENERADO

YA DESMOLDEADA LA PIEZA, SE CORTÓ EL ALIMENTADOR, SE LIMPIÓ Y SE PESÓ; PARA OBTENER EL VOLUMEN EXPERIMENTAL DEL ALIMEN- TADOR, USÁNDOSE LA DENSIDAD DEL  $Al$ , LA CUAL SE TOMÓ DE TA- BLAS Y CUYO VALOR ES DE  $2.7 \text{ G./CM}^3$

A CONTINUACIÓN SE MUESTRA UN EJEMPLO DE CÓMO SE OBTUVO EL VOLUMEN EXPERIMENTAL DE CADA ALIMENTADOR:

PESO DEL ALIMENTADOR = 232.9 GRAMOS

$$\rho = \frac{M}{V} \quad \rho_{Al} = 2.7 \text{ GRAMOS/CM}^3 \quad \text{DE TABLAS}$$

$$V = \frac{M}{\rho}$$

$$V = \frac{232.9 \text{ G}}{2.7 \text{ G/CM}^3} = 86.25 \text{ CM}^3$$

CON EL VOLUMEN EXPERIMENTAL DE CADA ALIMENTADOR Y EL VOLUMEN NOMINAL CORRESPONDIENTE, SE EVALUÓ EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA, Y PARA TAL CASO SE USÓ LA SIGUIENTE EXPRESIÓN:

$$\eta = \left( \frac{V_N - V_{ei}}{V_N} \right) \times 100 \quad (41) \quad \text{REF. 4}$$

DONDE:

$V_N$  = VOLUMEN NOMINAL DEL ALIMENTADOR

$V_{ei}$  = VOLUMEN EXPERIMENTAL DEL ALIMENTADOR

$\eta$  = COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA

AL RESULTADO OBTENIDO, SE LE RESTA LA CONTRACCIÓN DEL ALUMINIO, EN ESTADO SÓLIDO DE 5.7, PARA ÚNICAMENTE EVALUAR LA CONTRACCIÓN LÍQUIDA Y LA TRANSICIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO O DE SOLIDIFICACIÓN.

LOS RESULTADOS OBTENIDOS, SE PRESENTAN EN EL SIGUIENTE CAPÍTULO EN FORMA DE TABLAS Y GRÁFICAS.

CAPITULO 4

## RESULTADOS Y DISCUSION

A CONTINUACIÓN SE PRESENTAN TABULADOS LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO, QUE COMPRENDEN VOLÚMENES EXPERIMENTALES DE LOS ALIMENTADORES, LOS COEFICIENTES DE REPARTO O DEMANDA Y, OBTENIÉNDOSE POR ÚLTIMO UN COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA ( $\bar{\eta}$ ) PROMEDIO.

PIEZA I TABLA No. 6

ALIMENTADOR LATERAL CALIENTE CILÍNDRICO FONDO PLANO  
 $H/D = 2$

$T_c$ (°C)	$V_{ei}$	$\eta$	$V_{ei}$	$\eta$	$V_{ei}$	$\eta$	$\bar{\eta}$
$T_1$ 710	86.25	13.07	93.35	6.4	88.88	10.59	9.996
$T_2$ 760	85.74	13.55	81.81	17.25	85.18	14.07	14.95
$T_3$ 810	82.59	16.51	82.18	16.9	79.25	19.66	17.69

DONDE:

$V_N$  = VOLUMEN NOMINAL DEL ALIMENTADOR Y ES CONSTANTE E IGUAL A  $106.18 \text{ cm}^3$  PARA ESTE ALIMENTADOR. LOS VOLÚMENES EXPERIMENTALES ESTÁN EN UNIDADES DE  $\text{cm}^3$

$T_c$  = TEMPERATURA DE COLADA

$\eta$  = COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA

PIEZA I

TABLA No. 7

ALIMENTADOR LATERAL CALIENTE CILÍNDRICO FONDO SEMIESFÉRICO

 $H/D = 2$ 

$$V_N = 97.53 \text{ cm}^3$$

$T_c$ (°C)	$v_{ei}$	$\eta$	$v_{ei}$	$\eta$	$\bar{\eta}$
$T_1$ 710	80.22	12.04	80.40	11.86	11.95
$T_2$ 760	77.22	15.12	78.85	13.45	14.28
$T_3$ 810	78.07	14.25	79.29	13	13.62

PIEZA II

TABLA No. 8

ALIMENTADOR LATERAL CALIENTE CILÍNDRICO FONDO PLANO

 $H/D = 2$ 

$$V_N = 356.5 \text{ cm}^3$$

$T_c$ (°C)	$v_{ei}$	$\eta$	$v_{ei}$	$\eta$	$v_{ei}$	$\eta$	$\bar{\eta}$
$T_1$ 710	281.48	15.34	303.70	9.11	295.22	11.48	11.97
$T_2$ 760	291	12.67	296.48	11.13	272.18	17.95	13.91
$T_3$ 810	293.14	12.07	300.60	17.95	289.14	13.19	14.40

PIEZA II

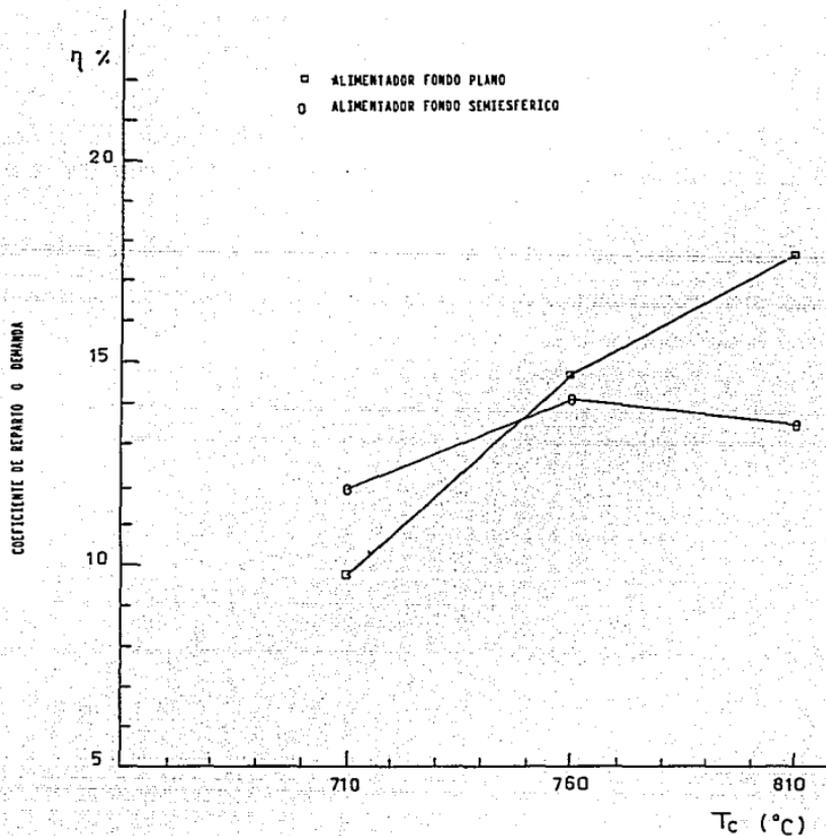
TABLA No. 9

ALIMENTADOR LATERAL CALIENTE CILÍNDRICO FONDO SEMIESFÉRICO  
 $H/D = 2$

$V_N = 337.05 \text{ cm}^3$

$T_c$ (°C)	$v_{ei}$	$\eta$	$v_{ei}$	$\eta$	$\bar{\eta}$
$T_1$ 710	291.59	7.78	286.85	9.19	8.48
$T_2$ 760	287.70	8.94	281.48	10.78	9.86
$T_3$ 810	264.70	15.76	290.62	8.07	11.95

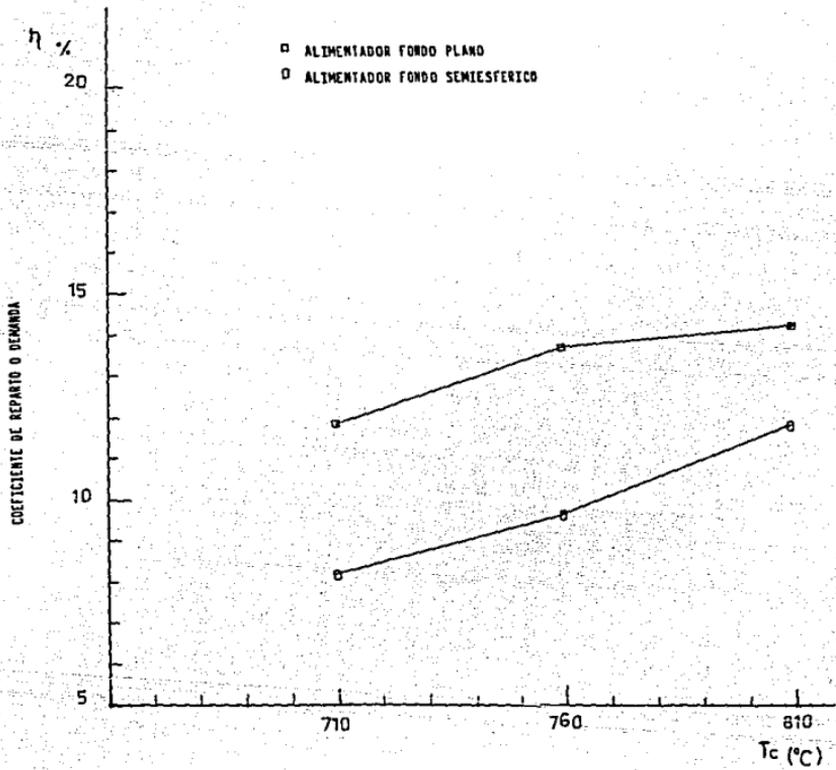
PIEZA 1



COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA

GRAFICA I

## PIEZA II



COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA

GRAFICA II

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

- A) EN LA GRÁFICA I, OBSERVAMOS QUE EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA PARA EL ALIMENTADOR CON FONDO PLANO A MAYOR TEMPERATURA DE COLADA AUMENTA SU VALOR.

CON LO QUE RESPECTA AL MISMO TIPO DE ALIMENTADOR EN LA PIEZA II GRÁFICA II, SE OBSERVA QUE EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA TAMBIÉN AUMENTA, -- CONFORME AUMENTA LA TEMPERATURA DE COLADA.

- B) PARA EL CASO DE ALIMENTADORES CON FONDO SEMIESFÉRICO PARA LA PIEZA I GRÁFICA I, EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA AUMENTA Y SE MANTIENE CONFORME LA TEMPERATURA DE COLADA AUMENTA. PARA EL MISMO TIPO DE ALIMENTADOR DE LA PIEZA II GRÁFICA II, - SE OBSERVA QUE EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA AUMENTA CONFORME LA TEMPERATURA DE COLADA AUMENTA.
- C) COMPARANDO LOS COEFICIENTES DE REPARTO O DEMANDA DE LOS ALIMENTADORES DE FONDO SEMIESFÉRICO Y FONDO PLANO, DE LA PIEZA I GRÁFICA I, OBSERVAMOS -- QUE LOS COEFICIENTES DE REPARTO O DEMANDA DE LOS ALIMENTADORES CON FONDO PLANO, SON MAYORES QUE - LOS COEFICIENTES DE REPARTO O DEMANDA DE LOS ALIMENTADORES CON FONDO SEMIESFÉRICO DESPUÉS DE CIERTA TEMPERATURA (750 °C).

- D) AL COMPARAR LOS COEFICIENTES DE REPARTO O DEMANDA ENTRE LOS ALIMENTADORES DE LA PIEZA II GRÁFICA II, OBSERVAMOS QUE LOS COEFICIENTES DE REPARTO O DEMANDA DE LOS ALIMENTADORES CON FONDO PLANO SON MAYORES QUE LOS COEFICIENTES DE REPARTO O DEMANDA DE LOS ALIMENTADORES CON FONDO SEMIESFÉRICO.

## DISCUSION

DE ACUERDO A LA LITERATURA, MIENTRAS MAYOR ES LA TEMPERATURA DE COLADA, EL % DE CONTRACCIÓN ES MAYOR, POR LO TANTO SE ESPERA QUE EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA -- ( $\eta$ ) SEA MAYOR, DEBIDO A QUE LA PIEZA DEMANDA MAYOR CANTIDAD DE MATERIAL Y ÉSTO CONCUERDA CON EL COMPORTAMIENTO DE LOS ALIMENTADORES DE LA PIEZA II Y EL ALIMENTADOR CON FONDO PLANO DE LA PIEZA I.

COMPORTAMIENTO NO ESPERADO SE DETERMINA PARA LOS ALIMENTADORES CON FONDO SEMIESFÉRICO DE LA PIEZA I GRÁFICA I, EN DONDE EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA SE MANTIENE -- APROXIMADAMENTE CONSTANTE A PARTIR DE 760 °C.

SE REALIZÓ UN ANÁLISIS POR REGRESIÓN LINEAL PARA LOS DATOS OBTENIDOS EN LOS CUATRO CASOS:

PARA LA PIEZA I

ALIMENTADOR LATERAL CALIENTE CILÍNDRICO FONDO PLANO  
SE OBTUVÓ LA ECUACIÓN:

$$\eta = 0.77 T_c - 44.31 \quad \text{CORRELACION } 0.9864$$

DONDE:

$$\eta = \text{COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA EN } (\%)$$

$$T_c = \text{TEMPERATURA DE COLADA } (^\circ\text{C})$$

PARA LA PIEZA I

ALIMENTADOR LATERAL CALIENTE CILÍNDRICO FONDO SEMIESFÉRICO

$$\eta = 0.0167 T_c + 0.5913 \quad \text{CORRELACION } 0.6952$$

PARA LA PIEZA II

ALIMENTADOR LATERAL CALIENTE CILÍNDRICO FONDO PLANO

$$\eta = 0.0243 T_c - 5.0413 \quad \text{CORRELACION } 0.9454$$

PARA LA PIEZA II

ALIMENTADOR LATERAL CALIENTE CILÍNDRICO FONDO SEMIESFÉRICO

$$\eta = 0.0347 T_c - 16.2753 \quad \text{CORRELACION } 0.9930$$

COMO SE OBTUVIERON MAGNITUDES SEMEJANTES ENTRE LAS PENDIENTES, ORDENADAS AL ORIGEN Y COEFICIENTE DE CORRELACIÓN, SE EFECTUÓ UN PROMEDIO PARA LOS COEFICIENTES DE REPARTO O DEMANDA PARA UN MISMO TIPO DE GEOMETRÍA DE ALIMENTADOR, PARA OBTENER POR REGRESIÓN LINEAL EXPRESIONES DE ACUERDO A LA GEOMETRÍA DEL ALIMENTADOR.

PARA ALIMENTADORES LATERALES CON FONDO PLANO

H/D = 2

$T_c$	$\bar{\eta}$
710	10.98
760	14.43
810	16.05

$$\eta = 0.05 T_c - 24.71$$

CORRELACION 0.98

PARA ALIMENTADORES LATERALES CON FONDO SEMIESFÉRICO

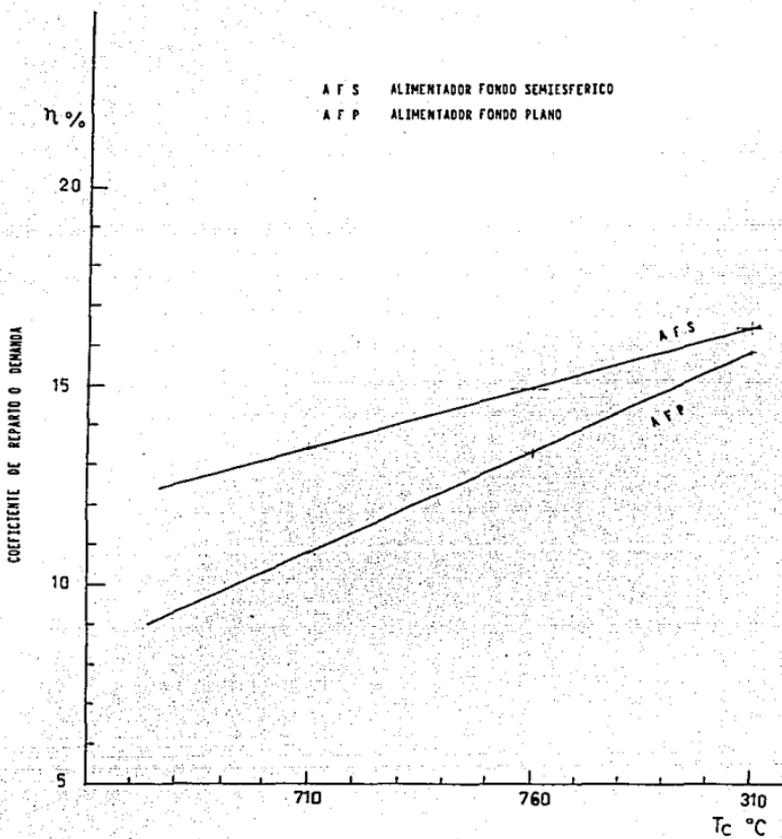
H/D = 2

$T_c$	$\bar{\eta}$
710	10.22
760	12.07
810	12.79

$$\eta = 0.03 T_c - 7.84$$

CORRELACION 0.97

A CONTINUACIÓN SE GRAFICAN LAS DOS RECTAS:



DE ESTA GRAFICA OBTENEMOS LOS VALORES DE LOS COEFICIENTES DE REPARTO O DEMANDA  
 EN FUNCION DE LA TEMPERATURA DE COLADA, PARA ALIMENTADORES CILINDRICOS LATERALES  
 CON RELACION  $H/D = 2$

GRAFICA III

DE LA GRÁFICA III, SE PUEDE OBSERVAR QUE LA MÁXIMA DIFERENCIA ENTRE LOS COEFICIENTES DE REPARTO O DE MANDA ( $\eta$ ) DE LAS DOS GEOMETRÍAS DE ALIMENTADORES SE OBTIENE A TEMPERATURAS DE COLADA BAJAS Y HAY UN PUNTO DE CONVERGENCIA A UNA TEMPERATURA DE COLADA DE 842 °C.

UNA APLICACIÓN PARA EL DISEÑO DE ALIMENTADORES DE ALUMINIO BASÁNDOSE EN METODOS UTILIZADOS PARA HIERRO GRIS, A PARTIR DE LOS DATOS GENERADOS, SE REPORTA EN EL APÉNDICE, ANEXOS II Y III. REF. 8

## CAPITULO 5

## CONCLUSIONES

- EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA ( $\eta$ ) VA AUMENTANDO SU VALOR A MEDIDA QUE AUMENTA LA TEMPERATURA DE COLADA.
- EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA ( $\eta$ ) ES MENOR PARA LOS ALIMENTADORES DE FONDO PLANO, POR LO CUAL DEMANDARÁ MENOS CANTIDAD DE METAL QUE LOS ALIMENTADORES CON FONDO SEMIESFÉRICO.
- EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA ( $\eta$ ) ES FUNCIÓN LINEAL DE LA TEMPERATURA DE COLADA.
- DE ACUERDO AL ANEXO III LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS ALIMENTADORES CALCULADOS - CON EL MÉTODO EXPERIMENTAL EN ESTE TRABAJO, SON SIMILARES A LOS DATOS OBTENIDOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS ALIMENTADORES DE MÉTODOS YA COMPROBADOS.

- SI EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA  $\eta$  , ES MÁS GRANDE, LA EFICIENCIA DEL ALIMENTADOR ES MAYOR, ES DECIR TIENE UN VOLUMEN DE ALIMENTACIÓN DISPONIBLE - MAYOR.

POR LO TANTO LOS ALIMENTADORES CON FONDO PLANO SON DE MAYOR RENDIMIENTO QUE LOS ALIMENTADORES DE FONDO SEMIESFÉRICO, YA QUE:

$$V_{AFP} < V_{AFS}$$

DONDE:

$V_{AFP}$  = VOLUMEN DEL ALIMENTADOR CON FONDO PLANO.

$V_{AFS}$  = VOLUMEN DEL ALIMENTADOR CON FONDO SEMIESFÉRICO.

## RECOMENDACIONES

- UTILIZAR EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA OBTENIDO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS ALIMENTADORES Y HACER PRUEBAS.
- OBTENER OTROS COEFICIENTES DE REPARTO O DEMANDA PARA DIFERENTES GEOMETRÍAS DE ALIMENTADORES, POR EJEMPLO: CIEGOS, SUPERIORES, ETC., TAMBIÉN OBTENER EL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA PARA OTRAS ALEACIONES BA SE A1.

# APENDICE

## ANEXO I

CÁLCULO DEL DISEÑO DE ALIMENTADORES UTILIZADOS PARA EL -  
DESARROLLO EXPERIMENTAL:

POR TIEMPO DE SOLIDIFICACIÓN ( $T_s$ )

$$M_m = K M_p$$

$$K = 1.3$$

$$M_{sa} = 1.3 M_p$$

$$\frac{V_a}{A_a} = 1.3 M_p$$

CON  $H/D = 2$   $2D = H$  SUSTITUYENDO  $2D$  POR  $H$

$$\frac{\frac{\pi}{4} D^2 H}{DH + \frac{\pi}{2} D^2} = \frac{\frac{\pi}{4} (2D)^3}{2\pi D^2 + \frac{\pi}{2} D^2} = \frac{D}{5}$$

$$\frac{D_a}{5} = 1.3 M_p$$

$$D_a = 5(1.3) M_p$$

$$D_a = 6.5 M_p$$

## CÁLCULO DEL ALIMENTADOR PARA PIEZA I

POR  $T_s$

$$D_a = 6.5 \text{ Mp} \qquad M_p = 0.627$$

$$D_a = 6.5 (0.627)$$

$$D_a = 4.07 \text{ cm}$$

$$H_a = 8.14 \text{ cm}$$

$$V_a = 106.18 \text{ cm}^3$$

## CÁLCULO PARA EL CUELLO DEL ALIMENTADOR DE PIEZA I

$$M_{\text{cuello}} = 1.1 \text{ Mp}$$

$$M_c = 1.1 (0.627) = 0.6897 \approx 0.7$$

DE GRÁFICAS SE OBTIENE EL DIMENSIONAMIENTO DEL CUELLO  
REF. 2 PAG. 58

## CÁLCULO DEL ALIMENTADOR PARA PIEZA II

Por  $T_s$

$$D_a = 6.5 \text{ Mp} \qquad \text{Mp} = 0.928$$

$$D_a = 6.5 (0.928)$$

$$D_a = 6.1 \text{ cm}$$

$$H_a = 12.2 \text{ cm}$$

$$V_a = 356.54 \text{ cm}^3$$

## CÁLCULO PARA EL CUELLO DEL ALIMENTADOR DE PIEZA II

$$M_{\text{cuello}} = 1.1 (0.928)$$

$$M_c = 1.0$$

DE GRÁFICAS SE OBTIENE EL DIMENSIONAMIENTO DEL CUELLO  
REF. 2 PAG. 58

## ANEXO II

PARA LA APLICACIÓN DEL COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA OBTENIDO - EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DE COLADA Y LA GEOMETRÍA DEL ALIMENTADOR SE TOMÓ EN CUENTA EL MÉTODO SEGUIDO EN LA REFERENCIA 8.

PARA EL CÁLCULO DE LOS ALIMENTADORES ES NECESARIO PRIMERO OBTENER UNA CURVA DE TEMPERATURA DE COLADA ( $T_c$ ) VS ESPESOR DE COSTRA SOLIDIFICADA (S) EN EL ALIMENTADOR, PARA UN TIEMPO DE 2 MINUTOS, PARA EL CUAL SE UTILIZÓ LA EXPRESIÓN DE FLEMINGS (REF. 2), LA CUAL SE MENCIONA A CONTINUACIÓN:

$$s = \frac{2}{\pi} \left( \frac{T_m - T_o}{\rho_s H} \right) \sqrt{K_m \rho_m C_m} \sqrt{t}$$

DATOS PARA AL PURO

$$\rho_s = 2.7 \text{ gr/cm}^3$$

$$T_m = 660 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_o = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$H_o = 94.2 \text{ cal/gr}$$

$$H = H_o + C_p \Delta T$$

$$C_p = 0.25 \text{ cal/gr }^\circ\text{C}$$

Molde de arena

$$K_m = 0.0020 \text{ cal/cm }^\circ\text{C seg}$$

$$\rho_m = 1.5 \text{ gr/cm}^3$$

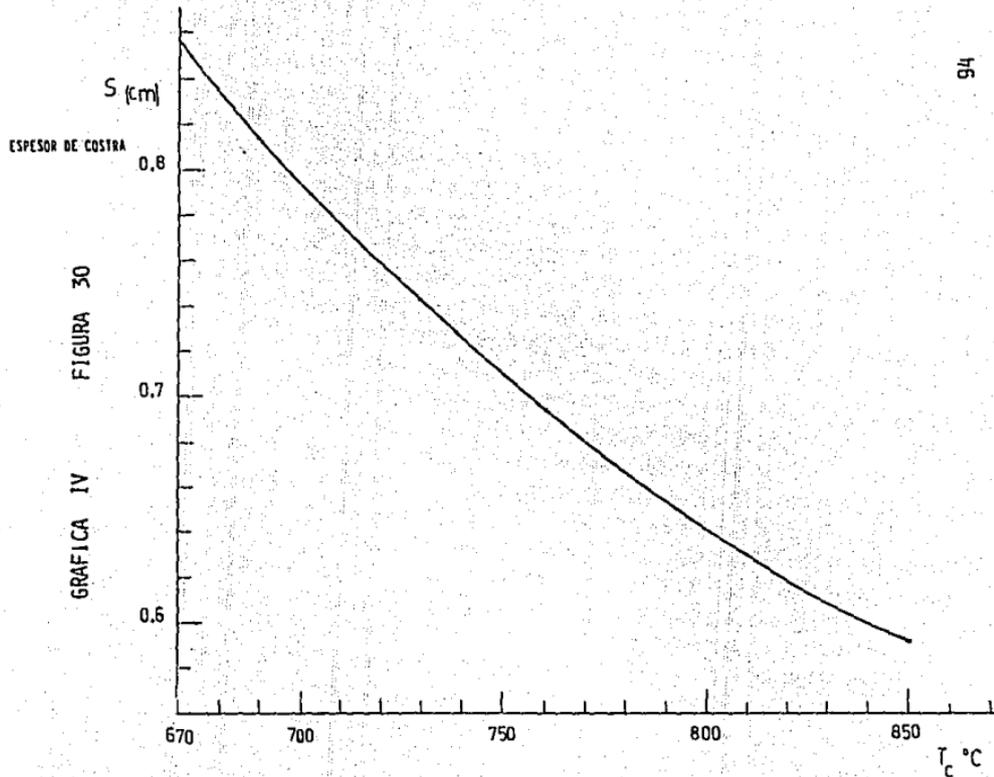
$$C_m = 0.267 \text{ cal/gr }^\circ\text{C}$$

$$t = \text{tiempo (seg)}$$

A CONTINUACIÓN SE MUESTRA LA TABLA DE LOS DATOS OBTENIDOS PARA LA -  
CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA:

T(°C)	S(cm)
670	0.8575
690	0.8153
710	0.7771
730	0.7423
760	0.6956
790	0.6544
810	0.6296
850	0.5852

LA GRÁFICA SE MUESTRA A CONTINUACIÓN EN LA SIGUIENTE PÁGINA:



GRAFICA IV FIGURA 30

### ANEXO III

#### APLICACIÓN AL DISEÑO DE ALIMENTADORES

PARA UNA PIEZA DE ALUMINIO DE 0.400 Kg (0.88 lb)  
ALIMENTANDO UN 10% MÁS COMO FACTOR DE SEGURIDAD  
PARA LA PIEZA:

$$W = (0.88 \text{ lb}) (1.1) = 0.968 \text{ lb}$$

Si  $T_c = 710 \text{ }^\circ\text{C}$  de la gráfica III para un alimentador  
con fondo plano el valor de  $\eta$  es:

$$\eta = 10.7 \text{ (COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA)}$$

Requerimientos de alimentación:

$$(0.968 \text{ lb}) (0.107) = 0.103 \text{ lb}$$

$$V_{\text{alimentación}} = (0.103 \text{ lb}) \left( \frac{1}{0.1 \text{ lb/pulg}^3} \right) = 1.03 \text{ pulg}^3$$

$\rho_{Al} = 0.1 \text{ lb/pulg}^3$

$$V_{\text{alimentador}} = \frac{\pi}{4} D^2 H \quad \text{Si } H = 2D$$

$$V_a = \frac{\pi}{4} D^2 (2D) = \frac{\pi}{2} D^3$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{2V_a}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{2(1.03 \text{ pulg}^3)}{\pi}} = 0.868 \text{ pulg}$$

D  
DIAMETRO DEL  
ALIMENTADOR

Espesor de costra sólida (S)

leyendo de gráfica IV a  $T_c = 710 \text{ }^\circ\text{C}$

$$S = 0.77 \text{ cm} = 0.30 \text{ pulg}$$

$$D_{\text{alimentador}} = D_R + 2S$$

$$D_a = 0.868 \text{ pulg} + 2(0.30 \text{ pulg})$$

$$D_a = 1.468 \text{ pulg} = 3.72 \text{ cm} \quad \text{para} \quad H/D = 2$$

$$H_a = 7.44 \text{ cm}$$

AHORA LOS CÁLCULOS SE REALIZAN PARA UN ALIMENTADOR CON FONDO SEMIESFÉRICO PARA LA MISMA PIEZA:

$$\text{SI } T_c = 710 \text{ }^\circ\text{C}$$

de gráfica III, para un alimentador con fondo semiesférico.

$$\eta = 13.46 \quad (\text{COEFICIENTE DE REPARTO O DEMANDA})$$

REQUERIMIENTOS DE ALIMENTACION:

$$(0.968 \text{ lb}) (0.134) = 0.13 \text{ lb}$$

$$V_{\text{alimentación}} = (0.13 \text{ lb}) \left( \frac{1}{0.1 \text{ lb/pulg}^3} \right) = 1.3 \text{ pulg}^3$$

$$D_{\text{Rechupe}} = \sqrt[3]{\frac{2V_A}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{2(1.3 \text{ pulg}^3)}{\pi}} = 0.938 \text{ pulg}$$

Espesor de costra sólida (S)

Leyendo de gráfica IV a  $T_c = 710 \text{ }^\circ\text{C}$

$$S = 0.77 \text{ cm} = 0.30 \text{ pulg}$$

$$D_{\text{alimentador}} = D_R + 2S$$

$$D_a = 0.938 \text{ pulg} + 2(0.30 \text{ pulg})$$

$$D_a = 1.538 \text{ pulg} = 3.9 \text{ cm.} \quad \text{para } H/D = 2$$

$$H_a = 7.8 \text{ cm.}$$

USO DEL MÉTODO C T I F PARA COMPARAR EL DIMENSIONAMIENTO DE ALIMENTADORES:

POR TIEMPO DE SOLIDIFICACIÓN:

$$M_{sp} = 0.675$$

$$M_{sa} = 1.2 M_{sp}$$

$$\text{PARA: } H/D = 2$$

$$D_a = 6 M_{sp} = 6(0.675) = 4.05 \text{ cm}$$

$$H_a = 2D_a = 8.1 \text{ cm.}$$

$$V_a = \frac{\pi}{4} D^2 H$$

$$V = 104.34 \text{ cm.}$$

POR CONTRACCIÓN:

$$V_a = K_r V_p = 8(0.06) 150 \text{ cm}^3 = 72 \text{ cm}^3$$

$V_a$  ( obtenido por  $T_s$  )  $\geq$   $V_a$  (obtenido por contracción),

las dimensiones son correctas.

## BIBLIOGRAFIA

1. P.R. BEELEY, FOUNDRY TECHNOLOGY, REIMPRESIÓN 1981, BUTTERWORTHS SOUTHAMTOR, REINO UNIDO, PÁGINAS 102-110.
2. FLEMINGS M.C. SOLIDIFICATION PROSESSING, MCGRAW-HILL, USA 1974, PAGINAS 9-11; 229-234.
3. JEANCOLAS M. CHEVRIOT R. VIROLLE C. MÉTODE GENERALE POUR DETERMINATION DES MASSELOTES, APPLICATION AU CAS DES ALLIAGES FERREUS, FONDERIE 215, JANVIER 1964 PÁGINAS 1 - 16.
4. DIAZ SÁNCHEZ J. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE COLADA, MEDIO DE MOLDEO Y COMPOSICIÓN DE LA ALEACIÓN EN LA CONTRACCIÓN, TESIS UNAM., MÉXICO, D.F., 1986, PÁGINAS 4 - 13.
5. CURSO UNAM., FACULTAD DE QUÍMICA, MÉXICO, D.F. 1986.
6. WLODAWER R. DIRECTIONAL SOLIDIFICATION OFF STEEL CASTINGS, TRASLATION L.D. HEWITT AND R.V. RILEY, PERGAMON PRESS, OXFORD 1966, PÁGINAS 32-35.
7. R.W. HEINE, RISERING PRINCIPLES APPLIED TO DUCTILE -- IRON MADE IN GREEN SAND, A.F.S., TRANSACTION, VOL. 87 PÁGINAS 65-75, 1974, PÁGINAS 9-11, 229-234.
8. KARSAY S.I. GATING AND RISERING AND DUCTILE IRON CASTING, FERROUS FOUNDRY CONSULTING Co, 1972, PÁGINAS -- 44, 56 Y 57.