

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA



TESIS DONADA POR
D. G. B. - UNAM

ALIMENTADORES PARA PIEZAS COLADAS EN
ACEROS: PRINCIPIOS Y CALCULOS PRACTICOS.
BASE CHVORINOV-WLODAWER-BEELEY.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A:

Manuel Jesús Álvarez Díaz

MEXICO, D. F.

1983



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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 General de Capítulos:

	PAG.
INTRODUCCION	1
GENERALIDADES	3
APLICACIONES	32
CASO PARTICULAR	52
CONCLUSIONES	66
APENDICE	71
TABLAS	72
GRAFICAS	74
BIBLIOGRAFIA	85

CAPITULO PRIMERO. INTRODUCCION

Este trabajo pretende orientar a las personas que lo deseen respecto a los "Principios y Cálculos Prácticos de los Alimentadores de las Piezas Coladas en Acero", sentando las bases que considero suficientes para que un Lego en la materia, o bien un amateur de la misma, pueda enterarse del mecanismo que sigue la Solidificación Direccional Controlada. En ningún momento esta tesis pretende ser un tratado del tema aquí presentado, pues el mismo es muy extenso.

Varios compañeros nuestros han necesitado encarar la necesidad de vaciar aceros de alta calidad de forma cada vez más económica y segura. Las coladas experimentales de corridas cortas de piezas coladas en acero basadas en las pruebas de error y acierto han demostrado ser costosas, por lo cual se desarrollan métodos de cálculo y análisis de los fenómenos que ocurren durante la solidificación de las piezas coladas para aplicar entonces el criterio adecuado.

Muchos investigadores han trabajado sobre el cálculo de la alimentación de las piezas de acero, entre los más destacados y conocidos están: Caine, Hewers, Bishop, Pellini, Briggs, Chvorinov, Wlodawer y muchos más; escogí sin embargo a Wlodawer, por ser a mi juicio el tratado más comprensivo, metódico y práctico para encarar el problema. Basado en la aproximación original de Chvorinov se extiende a considerar sobre sistematizaciones, engrosamientos, enfriadores, exotérmicos y galletas de corte en su bien llamado libro.-

"Solidificación Direccional Controlada"

Wlodawer tiene además el acierto de simplificar el cálculo del Módulo o razón del enfriamiento de las piezas complicadas sustituyendo éstas por formas sencillas que se les aproximen en forma e igual módulo.

CAPITULO SEGUNDO: GENERALIDADES.

Para explicar numerosos e importantes fenómenos fisicoquímicos ha sido indispensable plantear hipótesis, suponiendo y certificando experimentalmente después, que el átomo está constituido por un núcleo central compuesto de varias partículas íntimamente ligadas entre sí, que poseen una carga eléctrica positiva, neutralizada por cierto número de partículas negativas llamadas electrones que giran a una velocidad grandísima siguiendo órbitas especiales alrededor del núcleo central. Estas últimas partículas se hallan menos rígidamente ligadas al conjunto, de modo que en determinadas circunstancias el átomo puede perder o absorber uno o más electrones.

En el primer caso poseería una carga positiva y en el segundo, negativa. Poniendo en contacto átomos de la misma especie o de especie distinta, por sus acciones mútuas pueden concurrir tales condiciones que algunos pierdan uno o más electrones y otros los adquieran y los átomos primeros alcanzarán una carga eléctrica, mientras que en los otros su carga será negativa, existiendo entonces una acción electromagnética, que con relación a sus respectivos movimientos dará origen a un sistema de equilibrio, que en su conjunto será neutro eléctricamente, moviéndose según una trayectoria determinada.

Es preciso recordar aquí que los átomos pueden ceder o adquirir más de un electrón; así pues, un átomo puede asociar

se con otros de especie distinta, pudiendo ceder de sus electrones a átomos distintos. Ello explica las diversas agrupaciones que pueden presentarse en las reacciones químicas entre átomos de la misma especie o de especies distintas.

Así, por ejemplo, el hidrógeno se combina con el oxígeno formando el vapor de agua, en la proporción de 2 gr., del primero con 16 gr., del segundo o en cantidades exactamente proporcionales; si una aumenta, ha de aumentar la cantidad del otro elemento, pues de lo contrario quedaría sin combinar el elemento en exceso, es decir que la proporción según la que se combinan dos elementos no puede variar siguiendo una ley continua (ley de Proust).

Es evidente que puede asociarse el hidrógeno con el oxígeno en otras proporciones, pero el nuevo compuesto es absolutamente distinto del primero y la cantidad de los componentes guarda una relación distinta, como por ejemplo, 2 gr., de hidrógeno se unen con 32 gr., de oxígeno, resultando agua oxigenada.

Estas agrupaciones de átomos ligados entre sí, eléctricamente neutros, dotados de movimientos según una trayectoria adecuada, constituyen las moléculas.

Los cuerpos contituídos por moléculas iguales formadas por átomos de distinta naturaleza son cuerpos compuestos; cuando por el contrario, sus moléculas están constituidas por átomos de la misma especie se llaman elementos.

La energía de una molécula depende, como todos los cuerpos -

en movimiento, de su masa y velocidad. Cuando un cuerpo aumenta de temperatura, almacena energía, aumentando pues su energía molecular y, como la masa permanece invariable, crece la velocidad de las moléculas.

El concepto de molécula que se acaba de exponer, se halla en completa armonía con la existencia de los cuerpos en estado gaseoso, en ellos las velocidades moleculares son tan elevadas que al chocar las moléculas entre sí, son rechazadas a distancias considerables con relación a sus dimensiones. Por ello, en los gases la distancia entre las moléculas es considerable y muy superior al radio de la esfera de atracción recíproca, de modo que una molécula se desplaza a lo largo de su trayectoria hasta chocar con otra o con las paredes del recipiente que lo contiene, por cuya razón un gas llena siempre por completo el recipiente en que se encuentra.

Cuando un gas aumenta de temperatura, crece también la velocidad molecular, así como la intensidad de los choques entre molécula y molécula y las paredes, aumentando la presión. Si dos gases se hallan separados por un tabique poroso, se comprende que tenderán a atravesar los poros del tabique difundiéndose entre sí, con una velocidad que dependerá de sus características físicas propias.

El concepto de molécula que hemos expuesto, también satisface y explica la existencia de los cuerpos líquidos.

El movimiento molecular también se revela por la difusión entre dos líquidos; si sobre una cantidad de agua contenida en un recipiente se vierte una capa de alcohol teñido con

cuidado para que no se mezclen, los dos líquidos no quedarán separados, aunque el agua es de mayor densidad, pues moléculas de este líquido ascenderán y moléculas del superior descenderán, penetrando en las capas inferiores.

Fenómenos semejantes de difusión han sido observados en los metales; en efecto, situando pequeños cilindros metálicos de algunos centímetros de altura, superpuestos, de modo que sus bases planas de contacto y superposición se hayan ajustado con esmero, al calentarlos hasta alcanzar una temperatura inferior a la de fusión, misma que se mantendrá durante unas horas, se observará que los cilindros superpuestos se han soldado íntimamente, lo mismo si se trata de dos cilindros superpuestos de un mismo metal que si se trata de metales distintos.

En este último caso los dos cilindros constituyen una aleación en las dos zonas de contacto (una aleación puede ser: una combinación, una solución o una mezcla de metales). Así por ejemplo, las piezas cilíndricas superpuestas de estaño y plomo calentadas entre 200 y 300°C. formarán una aleación en su zona de contacto de 6 a 7 mm de espesor.

La agitación molecular explica la expandibilidad y difusión de los fluidos con la tendencia característica de ocupar un volumen mayor que el disponible ejerciendo presión sobre las paredes de los recipientes en que se hallan aprisionados.

Cuando la temperatura de un cuerpo gaseoso disminuye, también se reduce la velocidad propia de las moléculas que lo constituyen: los choques entre las moléculas se producen -

con energía menor cada vez, de modo que la distancia molecular, a igualdad que la presión, disminuye hasta el punto que las moléculas difícilmente pueden desplazarse de su zona de atracción mútua, quedando restringido el espacio que una molécula puede recorrer normalmente para separarse de las demás que constituyen el cuerpo, con independencia de su cantidad resultando entonces el estado líquido de un cuerpo.

Las distancias moleculares dependen de la fuerza de atracción intermolecular relativa a la materia considerada, de la velocidad de las moléculas o sea de la energía molecular y finalmente de la temperatura, por lo que a igualdad de ésta, el volumen de un cuerpo líquido es invariable, pero por la movilidad molecular todavía sensiblemente elevada, si bien no puede alejarse de las demás que constituyen el cuerpo líquido es capaz de cierto deslizamiento relativo, es decir que esta sustancia carece de rigidez y sometida a la ley de la gravitación universal, se sitúa en la zona más baja del recipiente donde se almacena, adaptándose a su forma.

Los cuerpos líquidos son casi incompresibles, consecuencia de la propiedad de que las distancias intermoleculares para un mismo líquido dependen únicamente de la temperatura a que se hallan sometidas y que cada molécula se halla en la zona de atracción de la molécula más próxima.

Ha de considerarse además, que cada molécula situada en el interior de un líquido está en condiciones distintas de las de la superficie libre del líquido. En efecto, la molécula del interior se halla rodeada de las esferas de atracción de

Las moléculas que la circundan, hallándose en equilibrio, por que estas fuerzas son iguales, de sentido contrario y se contrarrestan.

Por el contrario, las moléculas superficiales sólo están sometidas a las atracciones laterales e inferiores, no hallándose en equilibrio, porque éstas carecen de grupos de moléculas superiores y por lo tanto, toda la capa superficial se conduce como si fuera una película elástica en tensión, de un grueso igual sensiblemente al diámetro de la esfera de acción molecular. Esta fuerza se designa por Tensión Superficial del líquido.

Cuando la temperatura de un cuerpo líquido va disminuyendo, su movimiento molecular va reduciéndose, oponiéndose con menor energía a las acciones intermoleculares de atracción, disminuyendo la movilidad molecular y el líquido modifica su forma con menor velocidad bajo la influencia de las fuerzas exteriores aplicadas sobre el mismo como, por ejemplo, la gravedad; lo que se expresa diciendo que su fluidez disminuye o que aumenta su viscosidad.

Continuando la disminución de temperatura, la velocidad molecular puede llegar a anularse, aumentando tanto la viscosidad que la substancia adquiere gradualmente mayor rigidez hasta adoptar una forma definitiva propia. El líquido se ha transformado en un Cuerpo Sólido, si bien conserva muchas de sus propiedades características propias y principalmente de constituir un medio homogéneo de transmisión de las acciones físicas y de poseer cierta deformabilidad, pero no posee todavía

un punto de solidificación ni un punto de fusión, pues como hemos visto, las variaciones de la movilidad molecular se producen gradualmente y un sólido en estas condiciones posee una estructura amorfa.

El sólido geométrico engendrado por crecimiento libre y uniforme en la sustancia líquida homogénea se llama cristal (es un grupo de celdas o enrejado espacial de la misma orientación y que muestra simetría por el desarrollo de caras regulares) y su núcleo inicial es el núcleo cristalino.

A la agrupación ordenada de átomos formando patrones espaciales simétricos se denomina celda.

Cuando una materia fundida capaz de formar núcleos cristalinos se va enfriando con suficiente lentitud, todos los núcleos no se generan simultáneamente porque todos los puntos de aquella materia no se encuentran en condiciones absolutamente idéntica, pero si el enfriamiento es suficientemente uniforme, la distribución de los núcleos elementales será también relativamente homogénea y el número que se formará en un período de tiempo determinado será proporcional a la velocidad del enfriamiento.

Cada núcleo va acrecentándose, como ya se mencionó, y se generarán así en el seno del líquido en período de solidificación numerosos cristales diversamente orientados que van creciendo hasta hallarse en contacto entre sí, desde cuyo instante el aumento ya no será completamente libre y entonces la estructura cristalina se presentará el forma poliédrica llamada grano. El modo de formación de los granos es-

bastante más complejo de lo aquí expuesto, pero para nuestros fines basta con esto.

Pero los átomos que se encuentran en los bordes de los granos obedecen a dos núcleos de cristalizaciones distintas y no pueden por tanto participar en ninguno de los engradecimientos y por ello se unen a agrupaciones moleculares minúsculas dispuestas irregularmente.

Mezcla Eutéctica. Si los metales son solubles al estado líquido y parcialmente solubles o totalmente insolubles al estado sólido. Cuando la temperatura de una solución disminuye hasta llegar al punto de solidificación del solvente, las moléculas y agrupaciones de átomos del cuerpo disuelto no pudiendo participar en la estratificación cristalina, lo perturban, de modo que la solidificación tiene lugar a una temperatura más baja que la normal, es decir, que la todavía reducida movilidad molecular aumenta la capacidad productora de las agrupaciones estructurales cristalinas de equilibrio características del solvente.

El descenso del punto de solidificación será tanto mayor cuanto más alta sea la concentración de la solución, en principio.

A medida que se solidifica el solvente, la solución restante va concentrándose y su solidificación ulterior se produce a una temperatura cada vez más baja, habiéndose establecido la siguiente ley por Rault: EL DESCENSO DEL PUNTO DE CONGELACION DILUIDA ES PROPORCIONAL A LA CONCENTRACION Y ES EL MISMO PARA TODAS LAS SOLUCIONES QUE A IGUALDAD DE MASA DEL SOLVENTE CONTIENEN IGUAL NUMERO DE GRAMOS-MOLECULAS DE SOLIDO EN LA SOLUCION.

Esta ley es válida para las soluciones diluidas; cuando la concentración es más intensa, un descenso notable de la temperatura hace más eficiente la capacidad de cristalización de las moléculas del solvente de modo que existe una temperatura límite (Punto Eutéctico), después de la cual, la acción perturbadora de las moléculas del sólido no es capaz de originar un descenso ulterior de la temperatura de solidificación.

A esta temperatura tiene lugar la solidificación de toda la solución restante. Inmediatamente por abajo del punto eutéctico, todos los grupos moleculares del líquido que no se encuentran perturbados por las moléculas del sólido, han obedecido a las fuerzas cristalográficas y se han solidificado y por ello la solución que cristaliza a la temperatura eutéctica es una solución saturada.

La substancia sólida resultante se llama eutéctico o mezcla eutéctica y su estructura se designa como estructura eutéctica.

En resumen, las características de una mezcla eutéctica son las siguientes:

- a).- Se genera siempre a una misma temperatura, a pesar de ser una mezcla.
- b).- Es constante la relación entre las masas de las substancias que la constituyen siguiendo la ley de las proporciones constantes, como las combinaciones químicas, pero en este caso, dependerá del hecho que es generado por la solución saturada a la temperatura fija de genera

ción del eutéctico. La relación entre las masas del solvente y del soluto (o de los elementos que lo constituyen), es siempre constante. Es evidente que se trata de una mezcla porque los caracteres del eutéctico participan de las de sus componentes, al contrario de lo que ocurre con las combinaciones, además del examen microscópico que demuestra que el eutéctico ha sido constituido generalmente por estratos cristalinos alternados del solvente y de la materia disuelta respectivamente.

Soluciones Sólidas. Cuando dos materias en condiciones físicas idénticas, cristalizan según formas compatibles, puede existir un retículo cristalino en el cual ciertos átomos de una de las dos sustancias han sido substituídos por átomos de la otra sustancia, siguiendo un orden determinado; entonces se dispone de cristales mixtos o Soluciones Sólidas constituidas por cristales de forma geométrica intermedia en los que los ángulos y las relaciones entre sus ejes principales presentan valores intermedios entre aquellos de los cristales de las dos sustancias puras y que dependen de la relación de las masas respectivas que comprende la solución.

Según las características moleculares de las dos sustancias (velocidad, masa, carga eléctrica, etc.) la substitución puede realizarse en cualquier proporción hasta un límite definido que representa la saturación.

En este caso son soluciones diluídas, concentradas o saturadas, y al disminuir la temperatura se pasará sucesivamente de la solución diluída a la solución saturada, a la segrega-

ción y finalmente a la mezcla eutéctica, la cual conservará la estructuración de mezcla de estratos alternos de los dos componentes de la mezcla.

Esta disposición alternada se explica pensando que en el preciso momento en que la solución tiende a transformarse en el eutéctico está saturada de los dos componentes.

Tan pronto como una pequeña cantidad de uno de los dos componentes ha sido segregada, en un período de tiempo determinado, la zona contigua queda sobresaturada por el segundo componente; por lo que en el siguiente período de tiempo, será éste que sufrirá la segregación y así sucesivamente. Pero si el enfriamiento se realiza con lentitud, los fenómenos de difusión y el efecto menor de enfriamiento ulterior hacen más lenta la alternación de las segregaciones sucesivas, y por ello, será mayor el espesor de los estratos resultantes.

El punto de solidificación del solvente, como hemos visto, baja a medida que aumenta la concentración de la solución líquida y ello explica que bajando la temperatura de una solución sólida constituida por dos componentes, el contenido en exceso se separará en la forma cristalina propia, a una temperatura cada vez menor cuanto mayor vaya siendo la concentración del otro elemento.

El mismo criterio que se aplica para explicar el eutéctico se emplea para explicar el eutectoide, sólo que en el caso de éste último se parte de una solución sólida.

Acero se denominan a las aleaciones del sistema hierro-car

bóno con un contenido máximo de un 2% de éste último aunque comercialmente se les encuentra generalmente abajo del 1% de dicho elemento y, también por lo general, se le encuentra más aleado o con más aleantes de los comunes (silicio y manganeso no superiores al 1% también) cuando se encuentra entre los intervalos del 1 al 2%. También se encuentran en el mercado aceros con bajo carbóno altos o medianos porcentajes de otros aleantes, mismos que le confieren otras propiedades además de las inherentes al mismo.

En el acero, la solución sólida hierro-carburo de hierro se designa con el nombre de austenita y el entectoide que se forma abajo de la temperatura de 723°C y a la concentración de cerca de 12.83% de cementita, correspondiente al 0.86% de carbono (otros lo consideran 0.8%), se llama Perlita.

SOLIDIFICACIÓN. CRISTALIZACIÓN Y DESARROLLO DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA. COLADO DE METAL DENTRO DE UN MOLDE RELATIVAMENTE FRIO.

El colado de metal dentro de un molde relativamente frío inicia el proceso de solidificación, durante el cual se adquieren las características estructurales por las fuerzas de cohesión.

El modo o forma de enfriamiento ejerce una influencia doble sobre las propiedades finales de la pieza fundida (obtenida por colada y no por forja o maquinado de un trozo-

de metal). La estructura, tamaño de grano, forma, orientación y distribución de los elementos de aleación, tanto como la estructura cristalina fundamental y sus imperfecciones, está definida marcadamente durante la solidificación del metal fundido. Incluso en aquellos casos donde la estructura de fundición es modificada por tratamientos térmicos subsecuentes, aún ejerce una influencia residual sobre la estructura final.

Las propiedades y comportamiento en servicio de una pieza fundida son también una función de su sanidad o grado de auténtica continuidad metálica. Esto también queda establecido durante la solidificación, puesto que la contracción de volumen que acompaña al cambio de estado debe ser compensado completamente por alimentación líquida, si se han de prevenir huecos internos.

Estructura y Sanidad, estando dependiendo del mecanismo de solidificación, son influenciados por muchos factores. Aceros y Hierros Grises, por ejemplo, exhiben características de alimentación completamente diferentes. Otros factores importantes son las condiciones del colado y moldeo, y la manipulación de estas condiciones con la ejecución de un control total del enfriamiento y los modelos es lo que abarca la técnica de la fundición.

La fundición comprende la producción de piezas coladas en moldes, desde la fusión del metal, el moldeo al colado, el desmoldeo y el acabado de las piezas.

La cristalización de un metal fundido posee las etapas sucesivas de Nucleación y Crecimiento. La ubicación y promedios relativos de estos dos fenómenos en el líquido determinan la estructura final del sólido y establecen cómo avanza y ocurre la dirección del enfriamiento a través del líquido.

a).- NUCLEACION:

Es la aparición de centros o puntos del líquido donde más átomos pueden depositarse para el crecimiento de cristales sólidos. Este núcleo puede producirse de dos maneras:

i).- Nucleación Homogénea: Grupos ordenados de átomos forman pequeñas zonas de densidad promedio mayor. Estos cristales embrionarios son efímeros e inestables, pero algunos alcanzan un tamaño crítico en el cual se vuelven estables y crecen.

La teoría general explica esto en términos de cambios de Energía Libre resultante de la precipitación de una partícula. Este cambio está compuesto por cambios en las energías libres de volumen e interfaciales a la vez.

La formación de sólido a partir del líquido resulta de un cambio negativo en la energía libre directamente proporcional al volumen transformado. Así, para una partícula esférica.

$$\Delta G_{(VOL.)} = -\frac{4}{3} \pi r^3 \Delta G_V$$

donde r es el radio de la partícula y G_V es el cambio de energía libre por unidad de volumen.

La creación de una nueva intercara requiere, sin embargo, de una ganancia local de energía libre proporcional al área superficial de la partícula. Así tenemos en este caso para la partícula esférica:

$$\Delta G(\text{intercara}) = 4\pi r^2 \gamma$$

donde γ es la energía libre superficial por unidad de área - para una superficie esférica.

La suma de los respectivos cambios de energía libre es positiva según se encuentra, para valores de r muy pequeños, pero se vuelve negativa con valores de r más grandes, según la figura:

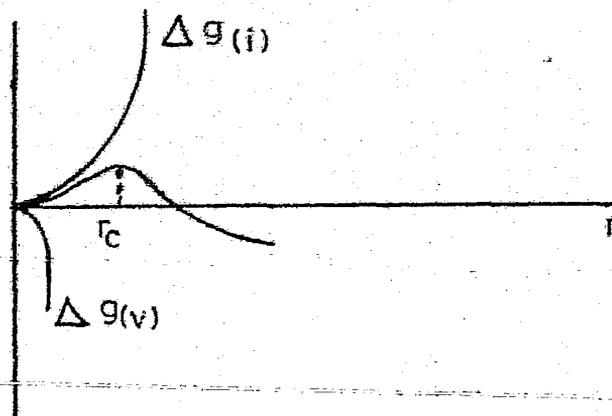
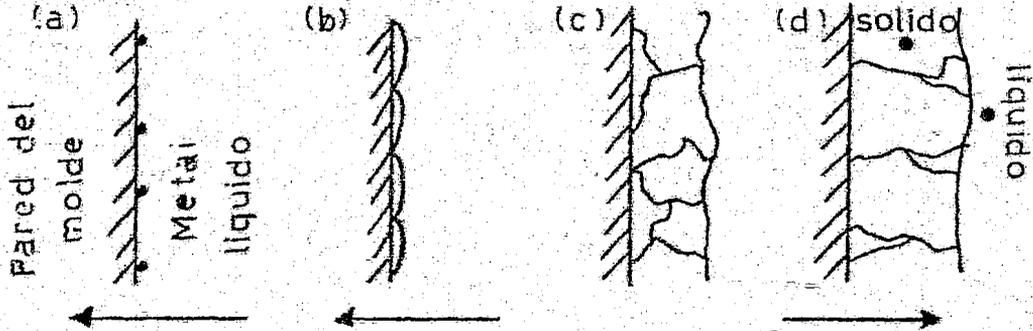


Figura- Cambio de Energía Libre en la Nucleación Homogénea. El valor del pico positivo de ΔG corresponde al radio crítico sobre el cual el crecimiento puede ocurrir con un descenso en la energía libre. Estas condiciones constituyen una barrera de energía que inhibe la nucleación, sin embargo, el tamaño crítico del núcleo disminuye con el descenso de temperatura y aumenta la probabilidad de nucleación homogénea.

En la Nucleación Heterogénea, la intercara inicial de crecimiento es provista por una partícula extraña incluida o for

gradientes térmicos producen una nucleación inicial en la superficie del molde, relativamente fría, continuando el crecimiento direccionalmente hacia el centro de la fundición o sección dada,

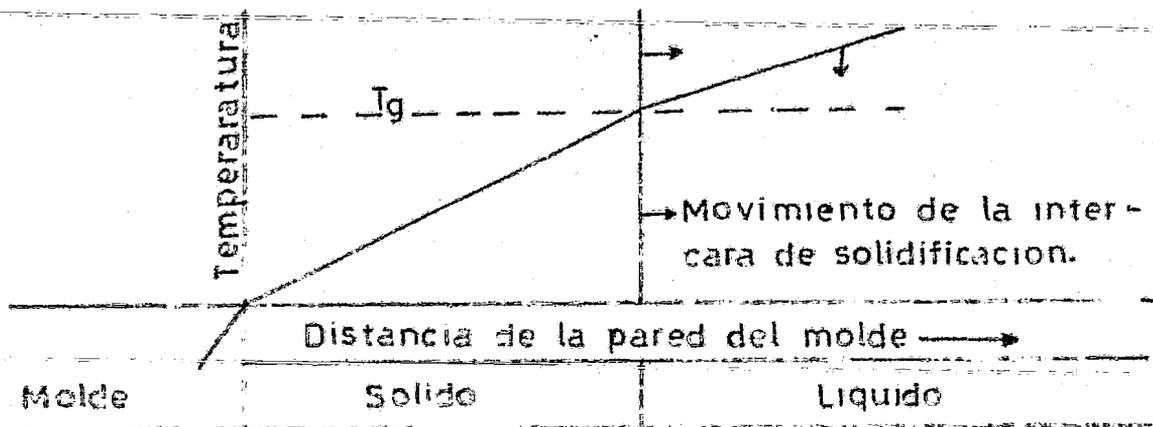


Dirección del flujo macroscópico de calor. Dirección del crecimiento.

Fig.- Desarrollo de la Estructura de Grano Columnar.

Tal crecimiento tiende a estar asociado a una dirección cristalográfica preferente; favorablemente orientado, el crecimiento de los cristales se efectúa más rápido que sus vecindades, en un gradiente de temperatura dado. Una intercara, aproximadamente plana, avanza con la deposición progresiva de átomos hacia su estado de máxima estabilidad -- con mínima energía: El estado sólido cristalino.

Un conjunto de condiciones térmicas de tal estructura, se ilustra en la siguiente figura:



mada en el líquido fundido. Esta partícula en la fase siguiente actúa como foco de nucleación, para lo cual será necesario que posea cierta afinidad estructural con el sólido cristalino.

La nucleación y crecimiento de los cristales ocurre abajo de la temperatura de equilibrio. Debido a que inicialmente las condiciones son desfavorables a la existencia de núcleos pequeños, es necesario un considerable subenfriamiento para producir la nucleación homogénea.

En la práctica, sin embargo, siempre están presentes núcleos extraños, como impurezas de metal, de la atmósfera, de las paredes del molde; incluso se pueden adicionar intencionalmente núcleos extraños para procurar un modo particular de cristalización. De esta manera, la solidificación en la fundición se da con un poco de subenfriamiento.

b). CRECIMIENTO.

El proceso de crecimiento que sigue a la nucleación, determina la estructura cristalográfica final del sólido. El modo de crecimiento depende de las condiciones térmicas en la zona de solidificación y de la constitución de la aleación.

El enfriamiento de un metal puro, representa el caso de una recta progresivamente hacia el frente. Si se pudiera disminuir la temperatura de forma completamente uniforme, la nucleación libre habría de esperarse en el líquido. Sin embargo, bajo condiciones prácticas de flujo de calor, los

Fig.- Representación esquemática de la distribución de temperatura en el frente plano de solidificación.

Este caso asume la existencia de un gradiente positivo de temperatura en la intercara sólido-líquido, que la intercara avanza progresivamente, así como la temperatura de crecimiento T_g es alcanzada en puntos más profundos dentro de la fundición o sección fundida. El enfriamiento puede ocurrir en esta forma cuando el calor latente de cristalización es suficiente para invertir la dirección del flujo de calor en el líquido adyacente a la intercara. Es sólo bajo estas condiciones que se aproxima a una cara plana una forma de crecimiento promovida por un enfriamiento lento y un rango de gradiente térmico.

Sin embargo, en muchas condiciones, aunque el calor se transfiera de la fundición al molde más frío, produce un gradiente positivo en escala macroscópica; la evolución de calor latente es suficiente para invertir el gradiente de temperatura de la intercara; la condición térmica en este caso está representada por la siguiente figura:

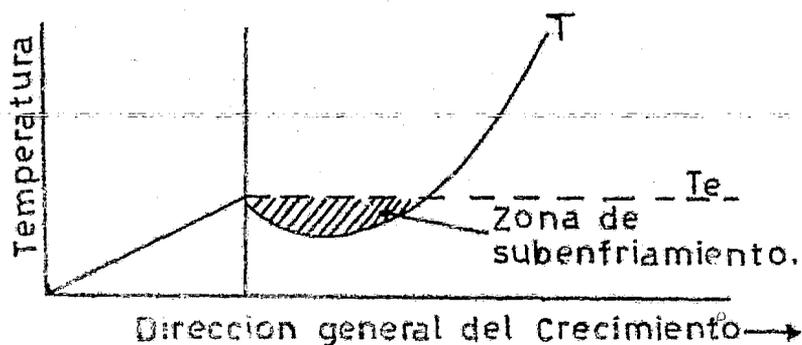


Fig.- Condición térmica con inversión del gradiente de tempe

ratura en el líquido adyacente a la intercara.

Mientras la temperatura mínima en el líquido no está ya más adyacente a la intercara, el crecimiento ofrece otros caminos a otros modos de crecimiento, por el frente de avance de solidificación suave donde el depósito puede ocurrir en regiones de mayor subenfriamiento. El flujo microscópico de calor puede ser así un factor en la formación de estructuras de colado.

Antes de proceder a examinar estos modos alternativos de crecimiento, será dada una breve consideración a las aleaciones que solidifican formando soluciones sólidas. Estas exhiben un enfriamiento diferente, que también promueve crecimiento de un modo diferente al avance de una intercara suave.

En el sistema binario de aleación ilustrado, el sólido inicial depositado de la aleación C_0 es de composición C_1 , de modo que el líquido residual se torna lentamente enriquecido del elemento B. El sólido formado durante el enfriamiento subsiguiente será igualmente deficiente en el elemento B, relativo a su propio pariente líquido. Este elemento es rechazado continuamente a la fase líquida durante el enfriamiento.

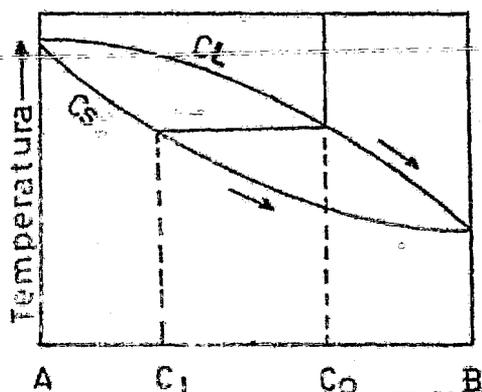
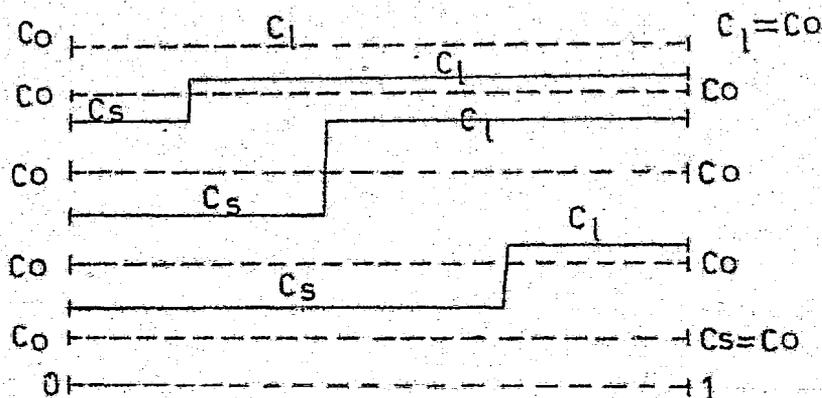


Fig.- Diagrama del Equilibrio Térmico de dos metales formando una solución sólida.

El enfriamiento unidireccional de un elemento pequeño de una aleación puede ser considerado ahora. Donde el sistema permitió alcanzar el equilibrio en cualquier etapa intermedia, la situación podría ser definida por un diagrama del siguiente tipo, con completa homogeneidad de las fases sólido y líquido.



Fracción solidificada

Fig.- Distribución de equilibrio de soluto entre fases sólido y líquido en etapas sucesivas de enfriamiento unidireccional: C_0 = composición original. C_s y C_l : Fracciones de composición de la intercara.

Bajo condiciones dinámicas, empero, prevalece una situación de no equilibrio. El cambio de composición de todo el líquido es producido por la repulsión del soluto en la intercara de modo que un gradiente de composición debe existir en el líquido, siendo determinado su perfil por el promedio de --

transporte de soluto relativo al promedio de cristalización.

Si la curva de temperatura es relacionada al gradiente actual de temperatura existente en el líquido, puede apreciarse que, antes que la temperatura en su nivel general caiga suficientemente, para producir nueva deposición de sólido en la intercara, considerable subenfriamiento puede existir en varios puntos del líquido, esto es, pueden existir bandas en el líquido donde las condiciones son más favorables a la solidificación que en la intercara. Esta condición es frecuentemente nombrada: "Subenfriamiento Constitucional". Su importancia fue apreciada varios años atrás por Hultgren, Genders y Bailey, Northcott y otros, y su influencia sobre el modo de cristalización ha sido sujeta a ulteriores exámenes en los años recientes.

La interacción de la temperatura y los gradientes de composición en el líquido pueden verse así, como el factor singular más importante que influencia la estructura del vaciado. Ambos, grano y subestructura dependen de este factor.

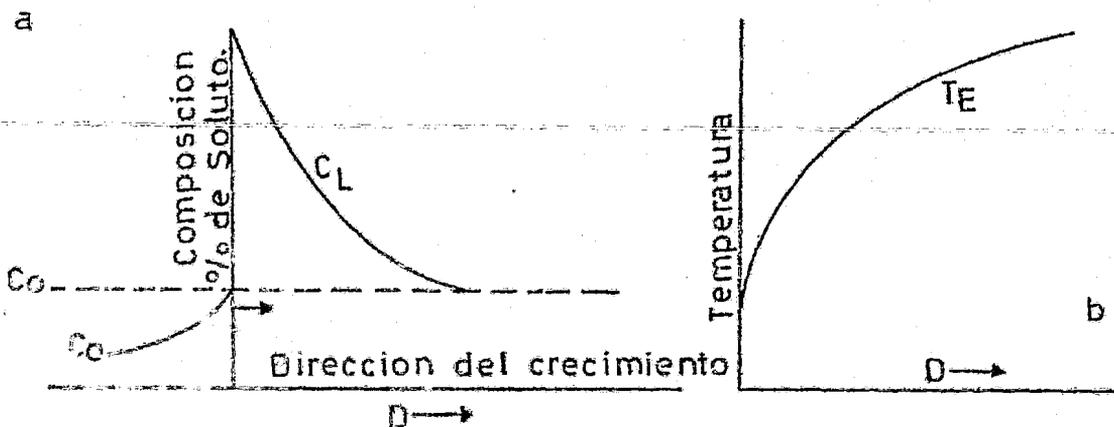


Fig.- Concentración de soluto en líquido delante de la intercara avanzante. Condiciones de no-equilibrio.

a) Distribución de soluto C_1 , b) Temperatura de equilibrio T_e correspondiente al contenido de soluto a la distancia D de la intercara de solidificación.

i).- CRECIMIENTO DENDRITICO:

Quando ocurre el subenfriamiento en la banda del líquido ad junto a la intercara, cualquier protuberancia existente sobre la cara del sólido tiende a volverse estable y a actuar como el centro preferencial de crecimiento. Mientras el avance general de la intercara es retardado por el calor latente o barrera de soluto; tales centros locales de crecimiento -- pueden penetrar más en la zona de subenfriamiento.

Estas son condiciones favorables para crecimiento dendrítico con su característica forma arbolar. Este tipo de crecimiento es encontrado comunmente en el enfriamiento de aleaciones de fundiciones comerciales que forman soluciones sólidas. La axial primaria de la dendrita es el resultado de crecimiento preferencial de una esquina o punta de un cristal existente. La proyección se convierte en una aguja y, subsecuentemente, en un plano que sigue la dirección general del flujo de calor esta dirección del crecimiento está asociada usualmente con la dirección cristalográfica particular.

El crecimiento lateral de la aguja primaria o laminilla, está restringida por el mismo calor latente o acumulación de solu-

to como inhibidor del crecimiento general en la intercara original, pero ramas secundarias y terciarias pueden desarrollarse por un mecanismo similar a aquél que condujo al crecimiento del primer tallo.

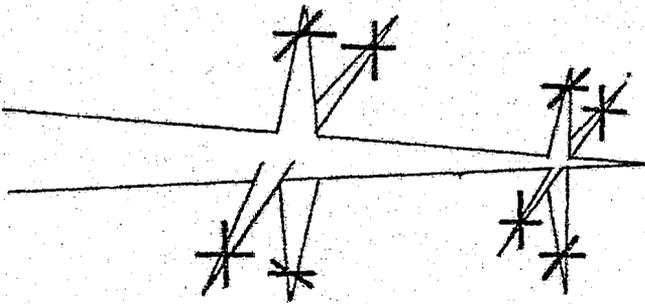


Fig.- Dirección del crecimiento del primer tallo o ramal dendrítico. Los factores que determinan la estructura de una dendrita, incluyendo el espacio de los brazos, han sido determinados y discutidos por: Alexander y Rhines, Flemings y otros. Son más importantes los rasgos de la subestructura dendrítica que su tamaño de grano, en relación a las propiedades de muchas aleaciones coladas, aunque algunos tratamientos refinadores producen copiosa nucleación de pequeños granos sin rasgos dendríticos.

Mientras este cuadro de desarrollo dendrítico ha sido presentado en términos unidireccionales de crecimiento, desde una intercara mayor, esto produciría granos dendríticos columnares. El crecimiento dendrítico puede ser asociado a un cristal que crece independientemente en el colado. En este caso, el crecimiento de la intercara es el conjunto periférico del cristal y, el desarrollo completo del grano, es aproximadamente equiaxial.

El crecimiento dendrítico en un metal puro puede ser detectado solamente por enfriamiento interrumpido y decantación, pero es evidente en aleaciones, donde prevalecen diferencias composicionales que revelaron en el ataque, la característica de estructura con núcleo o centro.

El Centrado o Nucleado resulta del proceso diferencial de enfriamiento previamente mencionado, que deja el centro de las dendritas deficientes en soluto con relación a las zonas interdendríticas. El gradiente composicional resultante puede ser eliminado sólo por difusión a alta temperatura en el estado sólido, que no es logrado normalmente durante el enfriamiento de la temperatura de colada.

Recocidos u homogenizaciones prolongados pueden producir completa difusión de soluto, pero incluso en este caso, pueden persistir evidencias visibles del núcleo central, como un patrón de impurezas segregadas. El tiempo de homogenización es menor cuando el grano y el espaciado dendrítico son pequeños pues las distancias de difusión son cortas.

El crecimiento dendrítico en las aleaciones, está precedido por la formación de una estructura celular altamente distintiva, con menos marcado subenfriamiento, cuya evidencia directa se ha obtenido por el examen de intercaras a las que se ha decantado el líquido.

Esta estructura es producida como un racimo de barras hexagonales que crecen dentro del líquido y repelen soluto a sus alrededores, llegando a cierto grado de subenfriamiento.

El tipo de crecimiento celular da lugar al dendrítico, por el desarrollo preferencial limitado a cierto número de células.

Estructuras intermedias cuasibarras han sido descritas por Flemings como "Dendritas Fibrosas". Las etapas sucesivas en la evolución de la estructura, a partir de una intercara plana, a la condición completamente dendrítica, han sido examinadas en detalle por Biloni y Chalmers.

ii).-NUCLEACION INDEPENDIENTE:

Cuando ocurre el enfriamiento bajo un gradiente de temperatura pequeño, o a un rango muy rápido, el enfriamiento puede ser suficiente para promover fresca nucleación en puntos distantes a la intercara principal. Bajo estas condiciones, mayor solidificación produce granos de ambos: lingotes y piezas coladas. El grado de subenfriamiento en el cual ocurrirá esto, dependerá de la potencia del núcleo presente y, se verá después que se afecta por otras condiciones. La figura siguiente resume el efecto del subenfriamiento producido por la variación del gradiente de temperatura sobre el modo de crecimiento. En coladas sobre arena, la tendencia es hacia un gradiente extremadamente alto de temperatura respecto al molde. El gradiente térmico en la colada es comparativamente chico; consecuentemente, la estructura es, con frecuencia, equiaxial enteramente. Este es especialmente el caso de aleaciones con alta conductividad térmica, en las cuales, un alto grado de uniformidad de temperatura es mantenida durante el enfriamiento. Esta ha sido la explicación meramente tér-

mica. Existen, sin embargo, otros mecanismos, donde tales granos con estructura equiaxial son originados en nucleación heterogénea "in situ" y que serán vistos en la sección siguiente.

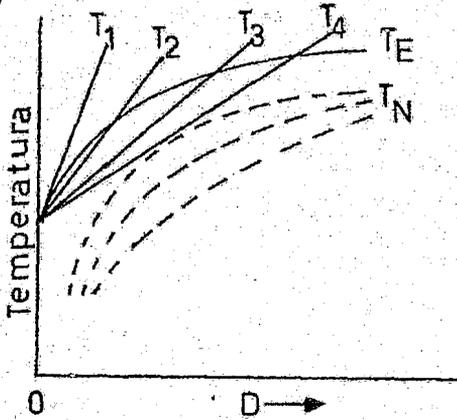


Fig.- Influencia del gradiente térmico en el líquido de cristalización $T_e = T_l$ de equilibrio. $T_n = T$ de nucleación, depende de la naturaleza del núcleo heterogéneo. T_1 a T_4 = Gradientes térmicos produciendo un aumento en el subenfriamiento, asociado con cambios morfológicos: Planar --- Celular --- Dendrítico --- Nucleado independiente.

iii).- LA ESTRUCTURA DE PIEZAS COLADAS:

En la sección precedente han sido considerados los procesos de nucleación y crecimiento, en relación a las principales características alternas de la estructura del cristal en el metal colado. De este modo, esta estructura puede ser vista como resultado de las tres influencias mayores:

- 1.- Constitución de Aleación
- 2.- Condiciones Térmicas y
- 3.- Condiciones inherentes a la nucleación y crecimiento en el líquido.

1.- CONSTITUCION DE LA ALEACION. La composición del metal gobierna el modo básico de cristalización y determina si la estructura consistirá de una fase, o granos eutécticos, o ambos. La composición de la aleación está caracterizada también por una distribución y coeficientes de difusión para fases de soluto en líquido y sólido, y así establece la tendencia relativa al subenfriamiento constitucional. (Nota: cada grano eutéctico está formado por el crecimiento simultáneo de dos o más fases separadas y en contigua asociación. La estructura resultante puede consistir de: láminas alternas de las dos fases, o elementos cuasibarras, o globulares de una fase aparentemente discontinua en una matriz de la segunda.

2.- CONDICIONES TERMICAS. La distribución de temperatura y rango de enfriamiento en una pieza colada, son derivaciones de las condiciones iniciales de temperatura y propiedades térmicas del metal y el molde.

3.- CONDICIONES INHERENTES A LA NUCLEACION Y CRECIMIENTO. - las posibilidades relativas a la nucleación y crecimiento dependen de partículas extrañas o solutos presentes en el líquido, ya bien como impurezas, ya bien como adiciones de liberadas.

iv.- El Significado y Control Práctico de la Estructura de Colada. Los factores que gobiernan principalmente la estructura metalográfica de una pieza colada, son:

1.- Constitución y Propiedades Térmicas de la Aleación.

2.- Diseño y Dimensiones de la Pieza Colada.

3.- Propiedades Térmicas del Molde

4.- Sobrecalentamiento del metal y Temperatura de Colada.

5.- Condiciones para Nucleación Heterogénea.

6.- Condiciones Afectantes del Movimiento durante la Solidificación.

7.- Tratamiento Térmico Subsecuente.

De este modo se ve que la estructura de una pieza colada es, en primera instancia, función de la composición de la aleación y de la geometría de la pieza; esto incluye la variación del rango de enfriamiento del metal líquido dentro del molde, aunque es más cierto, que la manipulación del enfriamiento de piezas coladas, usualmente está encaminada a resolver los problemas de alimentación, más bien que de estructuras.

Al examinar las características críticas de las estructuras de coladas (piezas), será conveniente considerar dos tipos de rasgos metalográficos: La Estructura del Grano y la Subestructura.

a).- Estructura del Grano (Tamaño, Forma y Orientación).

Los contornos de los granos primarios formados durante el enfriamiento, son normalmente visibles en el examen macroscópico o microscópico. En una estructura consistente en su mayoría de granos eutécticos, los contornos pueden ser más difíciles de distinguir, a no ser, que sean aclarados por la segregación de impurezas.

b).- Subestructura: Son los rasgos importantes que incluyen la distribución y estado de división de los componentes de aleación y microconstituyentes, incluyendo solutos y fases separadas en el grano eutéctico. La subestructura dendrítica cae en esta categoría también.

CAPITULO TERCERO: APLICACIONES1.- Ecuación de Chvorinov:

Las demandas de calidad de las fundiciones de acero, se han incrementado fuertemente en los años recientes, volviéndose cada vez más exigentes. Las fundiciones han necesitado encarar la necesidad de producir aceros de alta calidad, pero económicamente. Para realizar esta demanda, los vaciados experimentales, especialmente para pequeñas cantidades de producción, han demostrado ser ineconómicos, sobre todo con pruebas de error-acierto.

De esta forma se desarrollaron métodos de análisis de los procesos físicos que ocurren durante la solidificación de las piezas vaciadas, y aplicar, de esta manera, las medidas prácticas adecuadas.

Estas medidas se originaron con CHVORINOV, quien fue el primero en responder a la pregunta básica:

¿Cuánto tiempo necesita una pieza, o parte de ella, para solidificarse? Chvorinov, por el término MODULO encontró la medida de solidificación, basado en la siguiente razón:

$$\text{Módulo} = \text{Volumen} / \text{Area}$$

Aunque mucha gente batallaba al principio para hacer los cálculos, en la actualidad hay métodos sencillos para simplificar la obtención de los módulos, incluso de piezas complicadas, como haciendo uso de gráficas y suposiciones sencillas de superficies de enfriamiento.

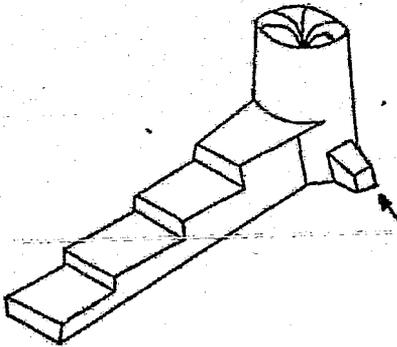
1.- Influencia de la forma y dimensiones en el tiempo de so

olidificación.

Si 20 kg. de acero son vaciados, primero como una esfera y después como una placa delgada, es obvio que enfriará primero la placa, por que el calor contenido en los 20 kg., se disipa más rápido en un área mayor, por tener mayor superficie emisora o dispersora de calor, por lo cual, la solidificación de la placa se da primero.

Chvorinov fue el primero en introducir la razón volumen / - área en el cálculo de la solidificación, y le dio el nombre de "Módulo", o factor de forma.

Una pieza escalonada solidifica primero en el escalón más delgado, porque su módulo es menor al módulo del siguiente escalón, y así sucesivamente.



Es interesante hacer notar aquí, que el segundo escalón no solamente solidifica después del primero y más delgado, sino que además, lo alimenta de metal, y así trabaja también el tercero respecto del segundo, etc., hasta llegar a la cabeza de alimentación, responsable de alimentar al conjunto y

proveerlo de metal que compense las faltas de éste, debido a los rechupes.

Para hacer el cálculo del módulo de la pieza, la dividimos mentalmente en partes separadas, y encontramos la razón a decuada.

Esta es la ciencia del cálculo de sistemas de alimentación: subdividir partes complejas en componentes básicos y simples, calculando así el módulo de cada componente.

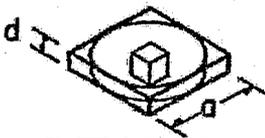
Dos cuerpos con un mismo módulo solidifican al mismo tiempo.

1b.- La importancia Práctica del Cálculo del Módulo Simplificado.

El módulo representa una longitud, y puede ser calculado directamente a partir de sus componentes básicos, como se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla I.- Módulo de solidificación de formas geométricas simples.

Base- 1 cm^2



Disco con $a = 5D$

Placas con $a = 5D$

Cubo Imaginario:

$V = 1 \text{ cm}^2 (2); A = 2 \text{ cm}^2$ (Sup. arriba y abajo) $M = V/A = d/2$ (cm).

Así pues, el módulo de la placa es : $M = d/2$

Barras largas (corte imaginario)

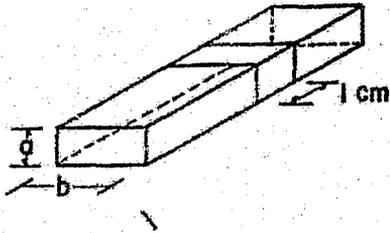
$$V = a \times b \times 1 \text{ cm};$$

$$A = 2(a + b) \cdot 1 \text{ cm}$$

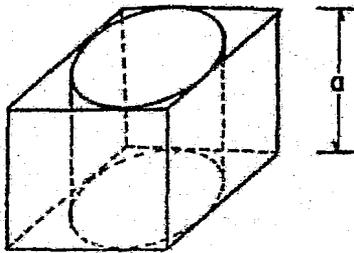
$$M = V/A = (a \cdot b) / 2(a + b)$$

La barra puede considerarse hecha de cualquier número deseado de tales piezas, de modo que su módulo será siempre el mismo.

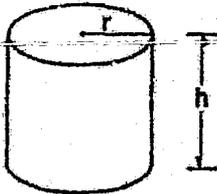
$$M = \frac{1}{2} (a \cdot b)$$



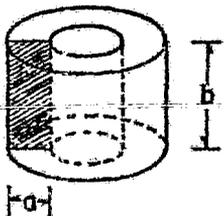
Cubo o Cilindro Inscrito o Esfera



CUBO	CILINDRO	ESFERA
$V = a^3$	$3.14(a^3)/4$	$3.14(a^3)/6$
$A = 6a^2$	$(3.14)(a^2)/2 + 3.14a^2$	$3.14a^2$
$M = a/6$	$a/6$	$a/6$



$$M = \frac{r \cdot h / 2}{(r + h)}$$

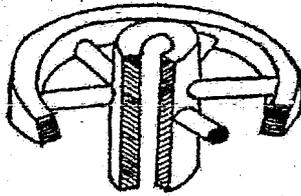


$$M = \frac{a \cdot b / 2}{(a + b) - c}$$

Es interesante notar que el módulo para el cubo y su esfera o cilindro inscritos, es el mismo, esto es: $a/6$, donde "a" es la longitud del lado o diámetro.

Esto significa que cada uno de estos cuerpos toma el mismo tiempo en solidificar. Se puede así imaginar que las esquinas de un cubo solidifican rápidamente, dejando un cuerpo esférico líquido.

Muchas fundiciones como la que se muestra están hechas de barras, las cuales forman un anillo cerrado o incluso no tienen superficies de enfriamiento al final, como sucede - cuando terminan en otras partes de la fundición que tienen paredes más pesadas.



CUERPOS SEMI-INFINITOS.

Los anillos etc, se consideran cuerpos "Semi-infinitos" , porque aunque su espesor puede ser medido , no tienen, como principio, origen y fin. Una sección de cualquier tamaño - dado (por ejemplo: 1 cm de longitud) de esta barra, tomado imaginariamente, que tenga lados de longitud a y b, tiene un volumen: $V=a.b.l$, y su superficie de enfriamiento es: $2.l(a+b)$ (sin incluir en el cálculo las superficies imagi

narias de separación), y su módulo es:

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

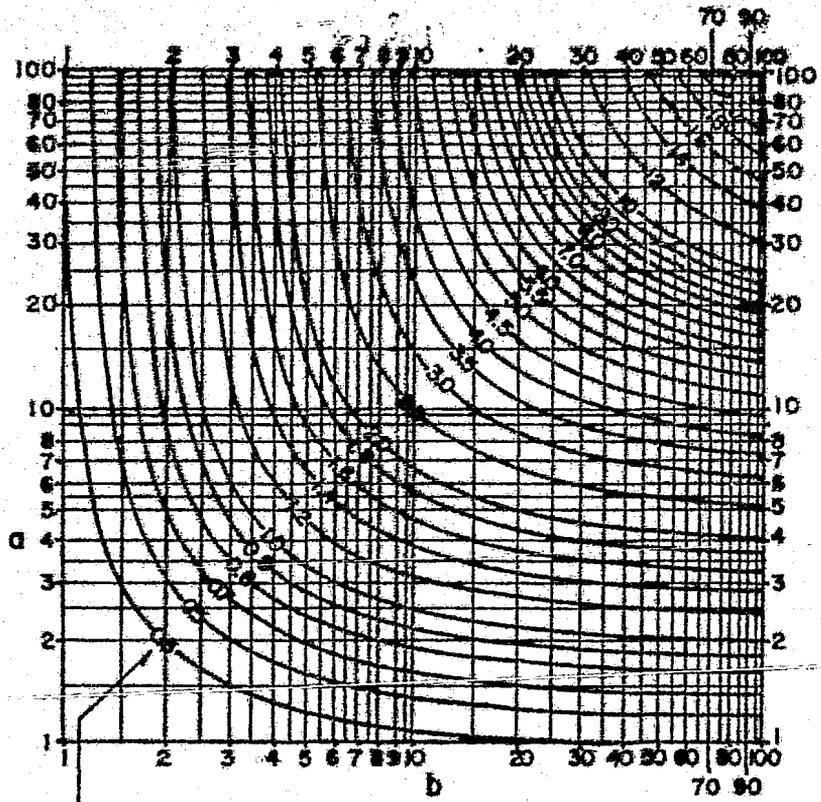
M= Area de la Sección/Perímetro de sección.

Simples determinaciones de un área y perímetro sustituyen así muchos cálculos de volúmenes y áreas superficiales. Este principio es válido para barras de cualquier sección dada.

El módulo de barras de sección rectangular puede obtenerse de la siguiente gráfica sin cálculo alguno.

Si una barra se hace anillo, al unir sus extremos, la superficie y volúmenes totales permanecen iguales en ambos casos porque así como la parte interior se contrae, en la misma proporción se incrementa la exterior. Todos los tipos de -- anillos pueden calcularse usando la ecuación del módulo vista anteriormente.

El uso de la gráfica ayuda también a este fin, como también en el caso de cubos, paralelepípedos, etc., que tienen el mismo módulo que sus cilindros inscritos, platos circulares e incluso esferas.

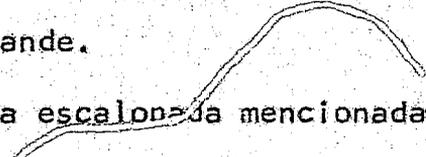


Módulo $f = 1.0$



1c.- El Gradiente Térmico y las Fundiciones:

Para que una sección transversal permanezca líquida más tiempo que su vecina, debe tener más calor. Una sección, con un tiempo de solidificación más grande, tiene también un Módulo más grande.



La cuña escalonada mencionada anteriormente, solidifica primero en la parte más delgada. El metal se conserva aún líquido en las secciones más gruesas en este momento, por tanto, está más caliente y solidifica al último. Esto es debido a la diferencia de calor que se disipa y, por tanto, al módulo. Debido a que la temperatura decrece hacia la extremidad solidificada, existe un gradiente de temperatura; por tanto, el gradiente de temperatura se desarrolla cuando la solidificación progresa hacia la mazarota.

De acuerdo a Pellini, el gradiente de temperatura en una placa debe ser al menos $0.5^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ de longitud mayor que su vecina para obtener una pieza sana; por ejemplo, con este gradiente (calórico-másivo) cada cm. de la pieza que esté solidificando puede ser alimentado desde otra parte de la pieza que esté 0.5°C más caliente.

Experimentos han enseñado que, para que una sección alimente a otra contigua, su módulo ha de ser mayor. Las cabezas de alimentación son secciones abastecedoras de metal; para esto, el módulo de la cabeza debe ser mayor 1.2 veces respecto al módulo de la sección o pieza alimentada. Cuando la cabeza alimentadora tiene conexión lateral o cuello de unión con la pieza, la sección de éste o módulo debe ser mayor que la --

sección por alimentar por un factor de 1,1 y es así inferior al de la cabeza, mazarota o tiradero; de esta forma se establece la solidificación direccional controlada de Wlodawer.

Como se puede apreciar, el frente de alimentación avanza menos o alimenta menos mientras más delgada es la sección; dicho de otra forma, mientras más gruesa es mayor, su frente de alimentación es mayor. Por ejemplo, si tenemos una placa de una pulgada de sección tendrá un frente máximo de alimentación teórico de 2 veces la sección, o sean 2 pulgadas, si no se trata del extremo de la placa, y 4.5 pulgadas si es éste caso, pues por efecto de extremo alimentará otras 2.5 veces dicha sección.

Se han obtenido sin embargo valores experimentales por la Firma Foseco, la que obtuvo valores experimentales ligeramente diferentes de los teóricos apenas citados; estos valores obtenidos son:

TABLA DE FRENTES DE ALIMENTACION DE BARRAS Y PLACAS:

<u>Espesor (pulg.)</u>	<u>Longitud (pulg.)</u>	<u>Calidad obtenida</u>	<u>Sección</u>
1/2	3	rechupe r	barra b
	2	sana s	"
3/4	4	r	b
	3	s	b
1	5	r	b
	4	s	b
1 1/2	8	r	b
	7	s	b
2	9	r	b
	8	s	b
4	14	r	b
	12	s	b
6	16	r	b
	14	s	b
8	17	r	b
	16	s	b

1/2	1 3/4	s	placa p
5/8	2	s	p
1	4	s	p
1 1/2	5	s	p
2	8	s	p

Ahora bien, con esta tabla se pueden obtener resultados satisfactorios, pues ha sido obtenida en la práctica y se trabaja con ella. Así sabremos cuántas cabezas se requieren para obte

ner una pieza 100% sana. Sucede que comercialmente no se quiere siempre una pieza de esta sanidad por el costo que ello implica y, entonces el técnico o ingeniero en fundición envía el rechupe artificialmente a donde desee y no afecta al funcionamiento o funcionalidad de la pieza, o bien, se ayudan de la técnica de los enfriadores internos o externos - mismos que no están dentro de el objetivo de esta tesis, pero baste mencionar que provocan un efecto de extremo cuando son externos y de sección una a una y media vez mayor que la sección a enfriar; su empleo puede ser motivo de otra tesis.

Otro mecanismo que emplean los técnicos e ingenieros en fundición es el de mantener líquido el metal de la cabeza alimentadora hasta el último en solidificación, y para ello se ayudan de exotérmicos o sustancias cuya ignición o reacción desprendan calor.

1d. - Cálculo o Determinación del Cuello de Alimentación o conector entre la Pieza y la Cabeza de Alimentación.

La solidificación direccional debe llevarse a cabo, de la pieza hacia la cabeza de alimentación, a travez de una entrada que los una, o cuello, con un aumento del 10% en el módulo por etapa:

$$M_{\text{pieza}} : M_{\text{cuello}} : M_{\text{cabeza}} = 1:1.1:1.2$$

Si se satizface esta condición, las cavidades de rechupe no se encontrarán cerca del cuello del alimentador.

Esta regla se rompe con demasiada frecuencia, al permitir que el cuello cierre antes que solidifique la zona por alimentar, misma que tendrá de este modo un rechupe, aunque el tamaño de la cabeza alimentadora y su distribución (de las cabezas) hubieren sido correctas.

Cada cuello alimentador es una barra semi-infinita, debido a la desaparición de la superficie enfriante, por unir en este punto la cabeza alimentadora con la pieza. El módulo del cuello se calcula pues directamente de la fórmula de la barra o ayudados por la gráfica de ella.

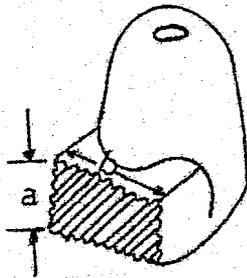


Fig.- Representación del cuello como una barra semi-infinita.

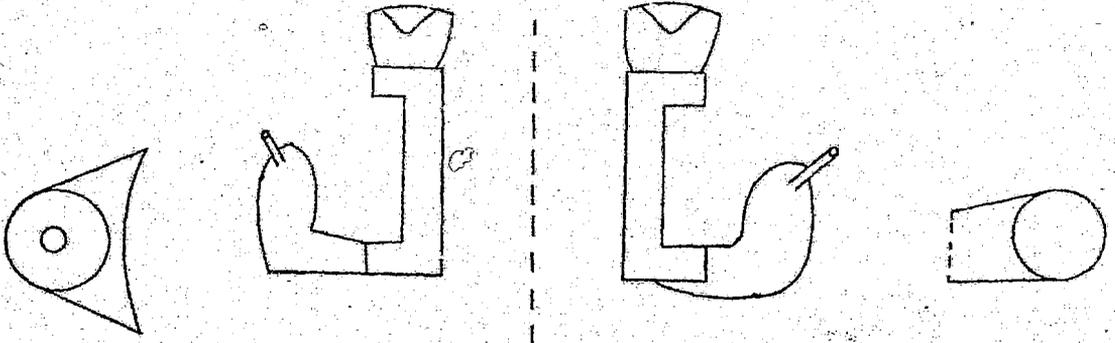
Debido a que las piezas tienen con frecuencia formas irregulares, debe tenerse mucho cuidado en asegurarse que el cuello tiene el módulo constante en su relación 1.1 respecto a la pieza o sección. El módulo no se obtiene meramente con el ensanchamiento del cuello, en especial en las fundiciones cuasiplaca.

Las bridas, etc., forman con frecuencia este tipo de uniones o formas. Los cuellos alargados son absolutamente necesarios

en este caso,

$$M_p = 3.8; M_c = 3.6$$

$$M_p = 3.8; M_c = 4.18$$

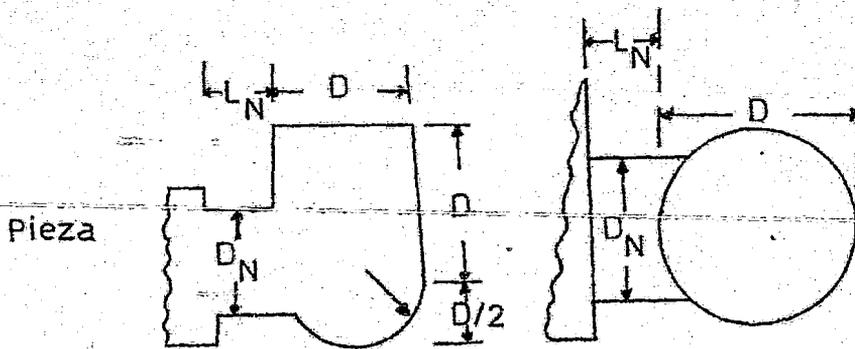


Incorrecto

Correcto

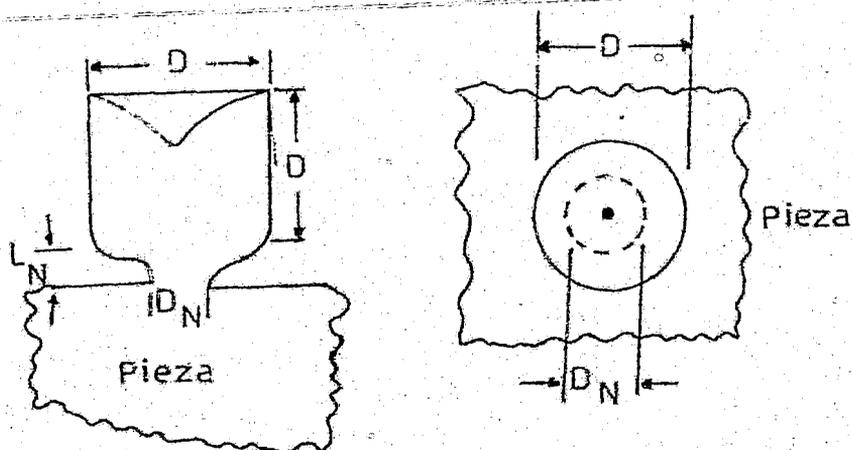
$$M_p = a, b / 2(a + b) - c$$

Otra práctica para determinar el cuello son los dos casos siguientes aportados por Heine, Loper & Rosenthal. Para ambos basta conocer el diámetro de la cabeza alimentadora o mazarota en su determinación.



$$D_n = 1.2 L_n + 0.1D; L_n = D/2 \text{ Máx.}$$

Fig. Forma de establecer el cuello o contacto de alimentación lateral conociendo el diámetro del alimentador o mazarota.



$$L_n = D/2 \text{ máx.}$$

$$D_n = L_n + 0.2D$$

Fig. Forma de establecer el cuello o contacto de alimentación superior conociendo el diámetro del alimentador o mazarota.

1 e.- Cabezas Alimentadoras.

Las cabezas de alimentación, Alimentadores, Tiraderos, Mazarotas, o como se les denomine en cada fundición, tienen la función de proveer el material requerido por la pieza en el momento de su solidificación. Estas pueden considerarse o calcularse bajo dos aspectos fundamentales:

Con camisas aislantes o sin ellas, con polvo poco o altamente exotérmico; las camisas aislantes o aislante-exotérmicas se emplean para ahorrar metal y mantenerlo más caliente que el resto. El polvo exotérmico sirve para evitar la pérdida de calor de radiación en la parte superior de las cabezas abiertas; es lento cuando se trata de piezas grandes donde

la cabeza trabajará durante más tiempo; es rápido en piezas con solidificación rápida (15 minutos máximo), por ende, - de módulo pequeño, ya que el módulo y el tiempo de solidificación están relacionados, de acuerdo a Chuorínov, por la ecuación:

$$T_{\min} = M^2 \times 2.1 \quad \text{o bien,}$$

$$T_{\sec} = M^2 \times 126$$

(Nota: tanto 2.1 como 126 son constantes que se aplican con suficiente aproximación en la mayoría de los cuerpos). Ya - que:

T=Tiempo y M= Módulo.

Durante la solidificación se forma un rechupe en una pieza sin alimentador o cabeza. El rechupe es un tipo de vacío generado por falta de metal. La presión atmosférica dirige el metal líquido de una cabeza próxima hasta esta cavidad, y la energía en forma de presión es necesaria para vencer la resistencia al flujo que se vuelve muy grande al fin de la solidificación y determina los rangos de alimentación. Una columna de acero líquido de 1.45 mts. de alto, con una gravedad específica de 7, ejerce una presión de una atmósfera. La inmensa mayoría de cabezas alimentadoras tienen, con mucho, menos altura que la columna mencionada, por lo cual, su presión o fuerza de empuje es relativamente chica. El término "Cabeza Alimentadora por Gravedad" resulta pues una aberración casi siempre. Una vez que se interrumpe el flujo a la pieza prematuramente (debido a un mal cálculo de cabeza o cuello), cien atmósferas de presión no pueden entonces -

forzar al metal pase a través de la sección ya solidificada. Enfriamientos prematuros de la superficie de la cabeza conducen a la formación de rechupes secundarios (debido a la interrupción de la acción de la atmósfera) que pueden localizarse así, incluso profundamente dentro de la pieza. El gradiente de temperatura de la cabeza debe, por tanto, incrementarse hacia la parte de arriba (con exotérmico).

1 f.- Cabezas Ciegas y su Operación.

La esfera tiene la más pequeña superficie radiante de cualquier cuerpo con igual volumen, y representa la forma de cabeza de alimentación perfecta, por lo que respecta a las condiciones térmicas. Desde el punto de vista de la técnica de moldeo es costoso. Las formas que se aproximen a la esfera son más baratas en moldeo; sin embargo, como una película de metal solidifica alrededor de la cabeza rápidamente, se deben abrir un camino o dos a la atmósfera en el interior líquido, mediante corazones permeables y de forma puntiaguda; habrá que hacer notar que estos corazones no trabajan si no se llena la cabeza o está demasiado frío el metal, o el metal, o el corazón de punta no tiene la longitud y posición pertinente.

Las dos más grandes ventajas de las cabezas ciegas, son: ---
Economía de metal, mayor conservación de calor (al no perderse por radiación).

Las cabezas cilíndricas abiertas tienen un rechupe primario con forma de un cono de superficie curvada, casi parábola. Su

módulo es de aproximadamente 17% respecto al módulo original según los experimentos, por esta razón, el módulo de la cabeza debe ser mayor 1.2 veces respecto al de la pieza.

Por seguridad, el cono del rechupe no debe alcanzar la orilla de la pieza. Por ello se emplea una profundidad permisible de rechupe del orden de $D=0.8H$ (donde H =altura de la cabeza). Así el cono parabólico, con esta profundidad tendrá siempre el 14% del volumen original de la cabeza cilíndrica.

Benedicks, Ericsson, Kothny y otros, investigaron la dependencia del cambio de volumen con la temperatura del hierro-carbón, y encontraron que su volumen cambiaba del 14% al 14.7% a 1600°C , con contenidos de C de 0 a 1.5%.

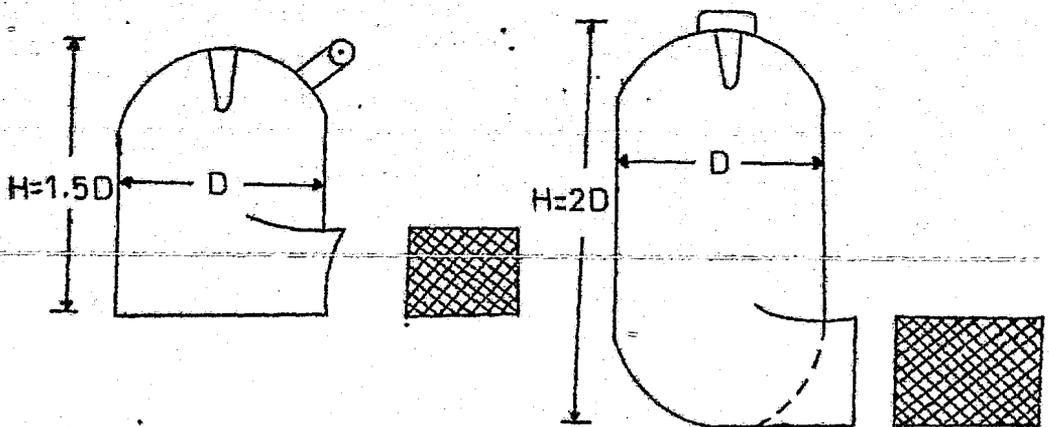


Fig.- Cabezas Ciegas (Williams) con una y dos cúpulas esféricas o domos.

1 g.- Cálculo de cabezas:

De acuerdo con la secuencia seguida, el cálculo de cabezas se debe calcular como sigue:

- 1.- Dividir la pieza en formas básicas y áreas por alimentar,
- 2.- Encontrar el módulo de cada área.
- 3.- Calcular el cuello de la cabeza, de manera que no exista riesgo de una solidificación prematura de éste y
- 4.- Chequeo del comportamiento de la cabeza en la solidificación.

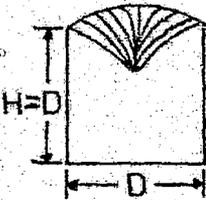
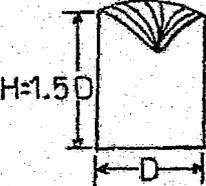
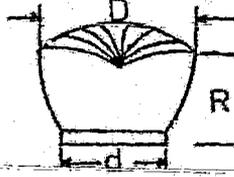
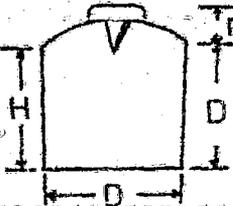
Las discusiones en la tesis están conformadas casi en su totalidad a cabezas cilíndricas (o secciones circulares); pero éstas no pueden servir para todas las necesidades de la práctica. Piezas alargadas de varios tipos (como anillos, cañales, bujes, etc.) requieren cabezas ovaladas. Los datos para el cálculo de cabezas de varias formas están dados en la tabla siguiente, y de ella se han obtenido los valores de las tablas sobre alimentadores de varias formas.

Si un módulo de la pieza ha sido encontrado, éste es multiplicado por el factor 1.2, para darnos el módulo de la cabeza requerida. Los datos y formas de las cabezas más usuales se encuentran en el apéndice de tablas.

Con piezas pequeñas y medianas, es suficiente con hacer una estimación basados en el peso total, sin hacer uso de un cálculo preliminar del módulo de la pieza. Para este propósito, la gráfica del módulo de las barras ha sido redibujada, pero ahora con los factores 1.1 y 1.2 integrados, con

objeto de obtener directamente el módulo de las cabezas y/o cuellos.

Tabla.- VALORES CARACTERISTICOS EN RELACION AL MODULO DEL ALIMENTADOR.

Forma del Alimentador	Valores-Cálculo de Cabezas
	$V_c = 2r^3(3.14) = 99 (M_c)^3$ $A_c = 5r^2(3.14) =$ $r = 2.5 M_c$ $M_c = D/5 = 0.2D$
	$V_c = 3r^3(3.14) = 122 (M_c)^3$ $A_c = 7r^2(3.14)$ $r = 2.33 M_c$ $M_c = D/4.7 = 0.2145D$
	$M_{cuello} = M_c/1.1$ $M_{cuello} = 0.91 (M_c)^3$ $M_c = 0.237R = 0.1185D = D/8.44$
	$V_c = 8.34r^3 = 96 (M_c)^3$ $A_c = 6r^2(3.14)$ $r = 2.25 M_c$ $M_c = 0.444r = 0.222D = D/4.5$

Para camisa o mazarota aislante

(Foseco):

$$M_c = 0.8 M_p$$

donde:

M_c = Módulo de la cabeza o alimentador,

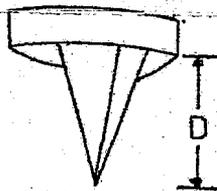
M_p = Módulo de la pieza,

r = Radio

A_c = Area de la cabeza,

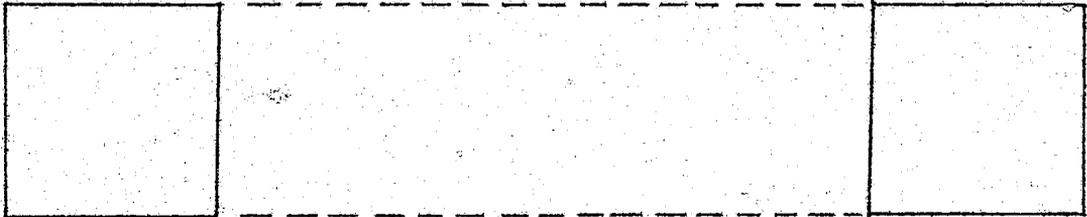
D = Diámetro.

Nota: El corazón de penetración de las cabezas ciegas debe alcanzar una profundidad adentro de las cabezas de $D/4$ hasta $D/3$, para que pueda actuar la presión atmosférica en ella, y de preferencia será de forma de pirámide (triangular en su base).



CAPITULO CUARTO: CASO PARTICULAR

A guisa de ejemplo, pondremos en esta tesis un caso sencillo de alimentación de una pieza para Casa de Moneda; un anillo de 18.125" de diámetro exterior, 14.0" de diámetro interior y 3.0625" de altura.



1er Caso: Cálculo empleando el Módulo:

$$\begin{aligned}
 M_p &= V_p/A_p = \frac{0.7854(D^2-d^2)h}{2(3.14)h(R+r)+2(3.14)(R^2-r^2)} \\
 &= \frac{0.7854(328.52-196)}{309.02+208.1} \\
 &= \frac{318.69}{517.12} \\
 &= 0.62''
 \end{aligned}$$

Peso de la Pieza = $W_p = \text{Volumen} \times \text{densidad}$

$$\begin{aligned}
 W_p &= 318.69 \times 0.13 \text{ kg/in}^3 \\
 &= 41.43 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

Alimentador en arena sílica:

$$\begin{aligned}
 M_c &= 1.2 \times M_p \\
 &= 1.2 \times 0.62'' = 0.74''
 \end{aligned}$$

entonces, si $D = H$

$$= D/5$$

$$0.74 = D/5$$

$$D = 0.74 \times 5$$

$$D = 3.72''; \text{ aproximadamente } 4'',$$

2do caso: Cálculo de los Módulos empleando las Gráficas Co_rrespondientes: En este caso sólo tenemos que consultar las Gráficas de las barras y obtendremos los módulos para la pieza y para el alimentador, y tomando el módulo del alimen_tador despejamos D de la expresión:

$$M_c = D/5, \text{ para } D = H$$

(En este caso de que $1.5H = D$, se aplican las ecuaciones co_rrespondientes como también en el caso que las cabezas a_limentadoras no fuesen cilíndricas).

3er Caso: Cálculo empleando camisa aislante.

En este caso lo incluimos por su uso muy conveniente, además emplear un factor menor que el de la pieza que podría crear_dudas en los legos de esta meteria.

$$\begin{aligned} M_c &= 0.87 \times M_p \\ &= 0.87 \times 0.62'' \text{ (continuando con el ejemplo en cuestión)} \\ &= 0.54'' \end{aligned}$$

Así, si tenemos nuevamente $H=D$:

$$M_c = D/5$$

$$D = 5 \times 0.54''$$

$$D = 2.8''\varnothing, \text{ aproximadamente } 3''; \text{ entonces}$$

$$D = 3'' \text{ con } H = 3'' \text{ también.}$$

Una vez que tenemos este dato, calculamos las distancias de a_limentación ayudados de la tabla experimentalmente obtenida por Fonseca, o bien, podemos emplear los siguientes datos teó_ricos:

Sin efecto de extremo:

Distancia de Alimentación $L = 3.6 (T)^{1/2}$

Con efecto de extremo:

$$L = 6 (T)^{1/2}$$

Con enfriador:

$$L = 6 (T)^{1/2} + T ; \text{ donde } T = \text{espesor.}$$

Volviendo entonces a nuestro ejemplo del anillo de Casa de Moneda; tenemos como distancias de alimentación D.A. y como desarrollo J:

$$\begin{aligned} J &= (3.14)(14'' + 18.125'')/2 \\ &= 50.46'' \end{aligned}$$

Entonces, para la barra de 2" de espesor vemos en las tablas aludidas que tiene un frente de alimentación de 8" por lado de la cabeza alimentadora, más la distancia del diámetro de la cabeza, que es de 3" si se emplea camisa aislante, según ya vimos, entonces:

$$D.A. = 8 + 8 + 3 = 19''$$

Así nos resulta por número de cabezas:

$$\begin{aligned} \# \text{ de cabezas} &= \frac{50.46}{19} \\ &= 2.65 \end{aligned}$$

O sea, que colocando 3 cabezas aislantes de 3" \emptyset y altura, deberá quedar bien alimentada la pieza aquí tratada. (Cosa que resultó de hecho al vaciar la pieza).

Chequeo de Cabezas por Volumen.

Si consideramos el acero ASTM. A 236 grado WCB, como un acero poco aleado, tenemos una contracción volumétrica del 6% para un sobrecalentamiento de 150°C.

Según la fórmula de volúmenes considerando lo anteriormente dicho, tenemos:

$$V_c = N C V_p / 100$$

donde $N = 6$ como factor para camisa de arena,

$N = 3$ como factor para camisa aislante.

$C = \%$ de contratación

$V_p =$ volumen de la pieza.

a).- Así tenemos para el caso de camisa de arena:

$V_c = 6 \times 0.06 \times 106.22$ (porque se usan 3 alimentadores: $318.7/3$).

$$\text{Si } H = D$$

$$V_c = 0.7854 D^3$$

$$D^3 = 38.24 / 0.7854$$

$$= 48.69$$

$$D = \sqrt[3]{48.69}$$

$$= 3.65'' \text{ aproximadamente } 4''$$

$$\text{Así: } D = 4''$$

$$H = 4''$$

b).- Para camisa aislante:

$$V_c = 3 \times 0.06 \times 106.22 \text{ (porque } 6/100 = 0.06)$$

Efectuando las operaciones como en el caso de arena tenemos:

$$D = 2.898''; \text{ aproximadamente } 3''$$

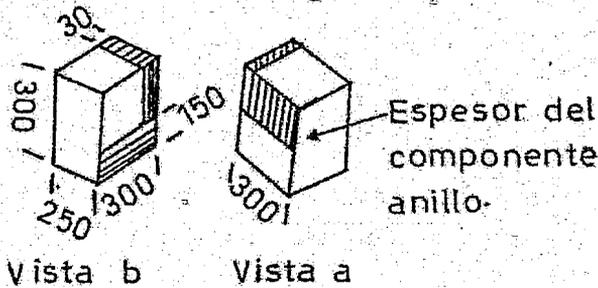
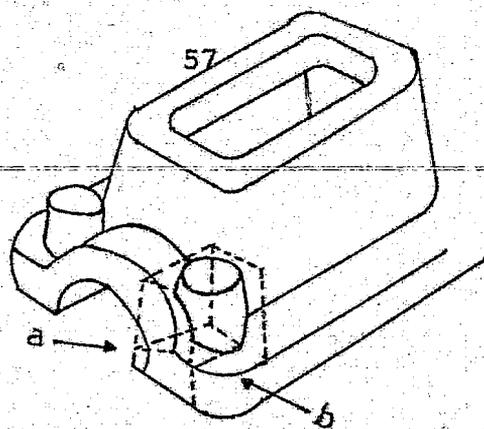
$$D = 3''$$

De este modo checamos que estos valores concuerdan con los obtenidos previamente.

EJEMPLOS PRACTICOS DE CALCULOS DE MODULOS.

El uso de la gráfica del cálculo del módulo de barras o piezas cuasibarras, o secciones de esta forma no puede darnos el valor del módulo directamente cuando estas formas tienen "superficies no enfriadas", significando con esto que su módulo se incrementa un cierto porcentaje dependiente de la proporción de dicha área no enfriada, porque contigua y unida a esta forma geométrica se encuentra otra forma geométrica. En otras palabras, es lo que definimos anteriormente como cuerpos semi-infinitos. En estos casos el incremento en el módulo se establece con la ayuda de un nomograma, en el cual se parte del módulo original y se traza una línea que cruce el valor del porcentaje de la superficie no enfriada y en el otro extremo de la línea se leerá el valor del módulo incrementado.

Como ejemplo, los cuerpos angulares y las figuras redondas en ellos inscritas tienen el mismo módulo (también ya se vio anteriormente). Así en el caso de la carcaza de una chumacera como la que aquí se muestra, se puede circunscribir, como simulación, un paralelepípedo. Las dimensiones pueden determinarse fácilmente del dibujo o plano y el modelo y determinar así fácilmente el módulo. Una vez que se obtuvo éste ayudados con la gráfica de las barras y sus módulos, se hace uso del nomograma que se encuentra en el apéndice de tablas y se corrige el primer módulo cuando el paralelepípedo se una a otras secciones.



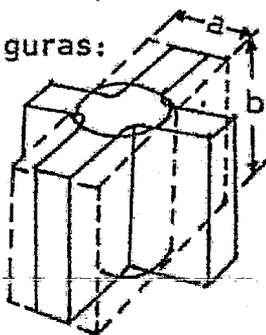
Ahora bien, si se desean hacer los cálculos del módulo, el módulo de un paralelepípedo es muy simple. El método usando formas equivalentes simples es una forma técnica práctica de gran importancia que permite resolver problemas sin la necesidad de usar el método costoso de "prueba y error", o tener que responder a preguntas tales como:

¿ Es necesario colocar un enfriador en una sección delgada, o este aumento de sección es sólo aparente?

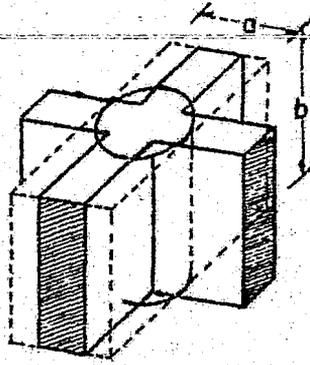
¿ Es una pared lo suficientemente gruesa como para alimentar una zona masiva sin que se forme rechupe?

Este método no sólo representa una ayuda para el fundidor, sino también para el diseñador.

Las formas irregulares de uniones en cruz pueden reemplazarse aproximadamente por un rectángulo como se muestra en las siguientes figuras:



a = dimensión del paralelepípedo de sustitución (espesor) con b de altura.



a - dimensión del paralelepípedo de sustitución (espesor) con b de altura.

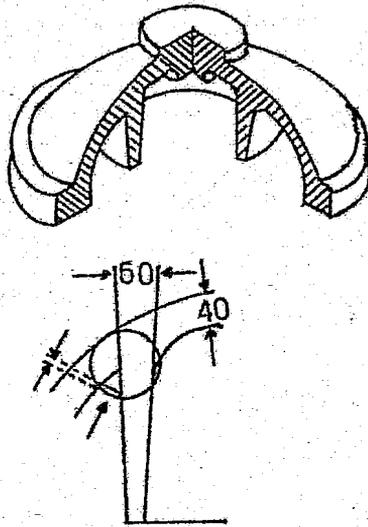
Solamente es necesario determinarlas por separado cuando varían mucho la una de la otra.

El primer paso para determinar el módulo de una unión es inscribir un círculo como el que se muestra en la figura; en uniones de dos paralelepípedos, este círculo nos da el espesor de una placa (o barra) con el mismo tiempo de solidificación que la intersección. El radio del círculo es entonces el módulo requerido. Cuando el paralelepípedo se asemeja más a una barra, el cilindro inscrito de este paralelepípedo de simulación nos da el módulo obtenido de la gráfica log-log de barras. Este módulo no es teóricamente preciso, pero es suficiente para propósitos prácticos.

La acumulación de calor en los filetes de arena (ángulos o entrantes), aumenta proporcionalmente al aumento de temperatura de la pieza. En la práctica es necesario hacer una estimación de esta influencia; el procedimiento para hacerlo es el siguiente: Dibuje la intersección en escala 1:1. Estime el efecto del fileteo re-entrante de arena, basado en la temperatura de la pieza. Cuando esto se ha hecho y sólo hasta en

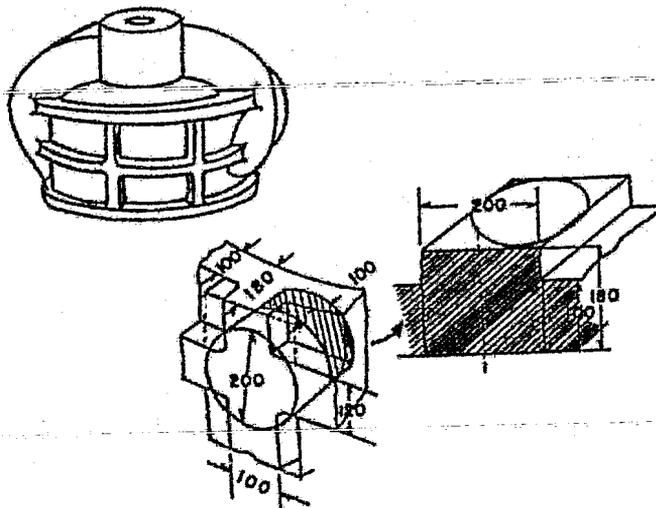
tonces, dibuje el círculo inscrito, el cual determina el módulo lo.

En la mayoría de los casos es suficiente dibujar el radio del filete con un radio $r = w/3$ (otros autores dan como valor $r = w/2$), e inscribir el círculo sobre dicho radio, ejemplo:



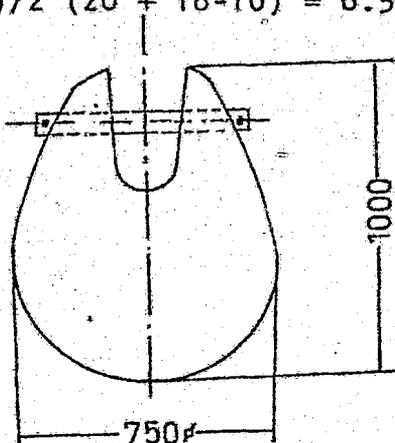
Tomando en consideración el módulo del filete de arena, el círculo inscrito se dibuja un poco mayor. El módulo se calcula como si fuera la intersección de dos placas, por tanto és te es:

$$M = 8.5/2 = 4.25 \text{ cm.}$$

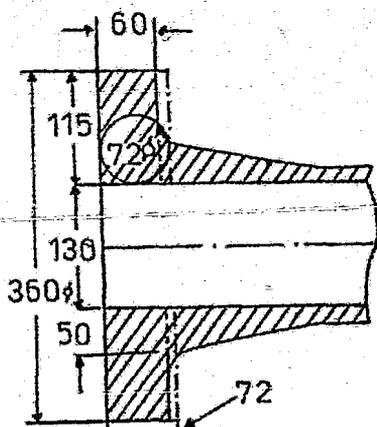


Este módulo se calcula como la intersección de dos barras con una placa. Tiene aproximadamente el mismo módulo sustitucional de una barra de 200 x 180 mm, pero tiene dos superficies no enfriadas.

$$M = (20)(18)/2 (20 + 18 - 10) = 6.5 \text{ cm.}$$



Esta pieza tiene una enorme aproximación a una esfera, por tanto su módulo es: $M = D/6$. Entonces $M = 76/6 = 12.5 \text{ cm.}$



En esta figura, la unión tiene el mismo módulo como si se sustituyera por una barra de 72 x 115, con una superficie no enfriada de 50.

$$M = (7.2) (11.5)/2(7.5+11.5) - 5 = 82.8/32.8 = 2.55 \text{ cm.}$$

En el caso de una sección parecida, dibuje la unión en esca-
la 1:1 e inscriba un círculo de 240 mm de diámetro. Calcule-
el flange como si fuera una barra de 240 x 550 mm y una su-
perficie no enfriada de 220 mm.

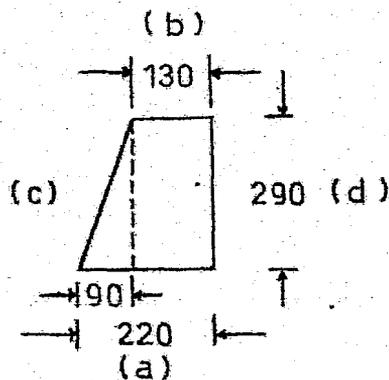
$$M = (55) (24) / 2(55) + 24) - .22 = 9.65 \text{ cm.}$$

Para el cálculo de la porción central se hace la considera-
ción de barras trapezoidales cuyos límites de unión con los
flanges y con el centro son superficies no enfriadas.

Por este método podemos utilizar otra forma de calcular el
módulo que es:

$$M = \text{área de la sección} / \text{perímetro de la sección.}$$

De esta manera el cálculo del módulo central resulta:



Perímetro = suma de los lados, pero "a" y "b" son superficies
no enfriadas. Así, perímetro = "c" + "d"

$$\text{Tang} = 9/29 = 0.310$$

$$= \text{Angulo cuya tangente } 0.310$$

$$= 17.24^\circ$$

$$= 9/h$$

$$\text{Sen } 17.24^\circ = 9/h$$

$$h = 9/\text{Sen } 17.24^\circ$$

$$= 9 / 0.296$$

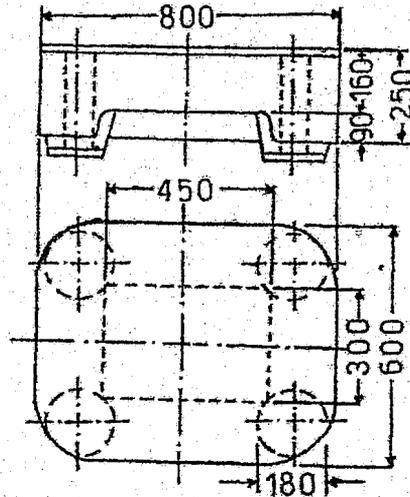
$$= 30 \text{ cm}$$

$$\text{Perímetro} = 30 + 29$$

$$= 59 \text{ cm.}$$

$$\text{Módulo} = 508 / 59$$

$$M = 8.6 \text{ cm.}$$



Cálculo rápido (aproximado): Imagínese la placa como un cuadrado de 700 x 700 mm y un espesor de 180 mm (estimado).

Se puede calcular ayudado del monograma para barras, o bien como si fuera un cilindro de simulación con $r = 35$ y $h = 18$

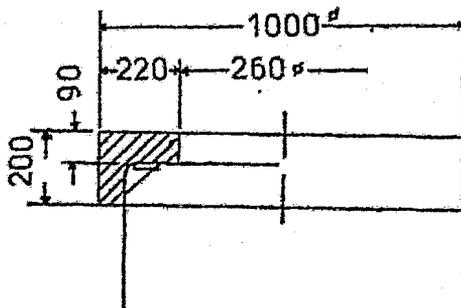
$$M = (r) (h) / 2(r+h) = (35) (18) / 2 (35+18) = 6.1 \text{ cm.}$$

Cálculo exacto (las ranuras I no se consideran por su pequeño módulo).

$$V = (80) (60) (25) - (45) (30) (90) = 107800 \text{ cm}^3$$

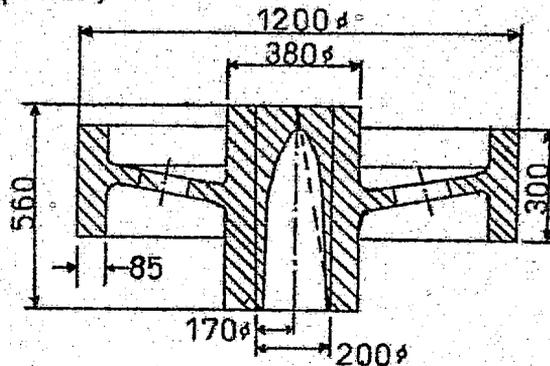
$$A = 2(80) (60) + 2(80+60) (25) + 2(45 + 30) (90) = 17950 \text{ cm}^2$$

$$\bar{M} = 107800 / 17950 = 6.0 \text{ cm.}$$



Esta figura representa un anillo, el cual puede calcularse rápidamente ayudados del nomograma para barras supuniendo que tiene por medidas 220 x 100 (por el círculo inscrito en esa sección).

$M = 3.6$ (aprox.)



Cálculo de Engrane. Para ello dibuje la intersección llanta anillo 1-1 e inscriba un círculo de 100mm de ϕ . La barra con que puede compararse tiene una dimensión de (10) (30); - por lo tanto su módulo es:

$$M = (10) (30) / 2(10 + 30) = 300/80 = 3.75 \text{ cm.}$$

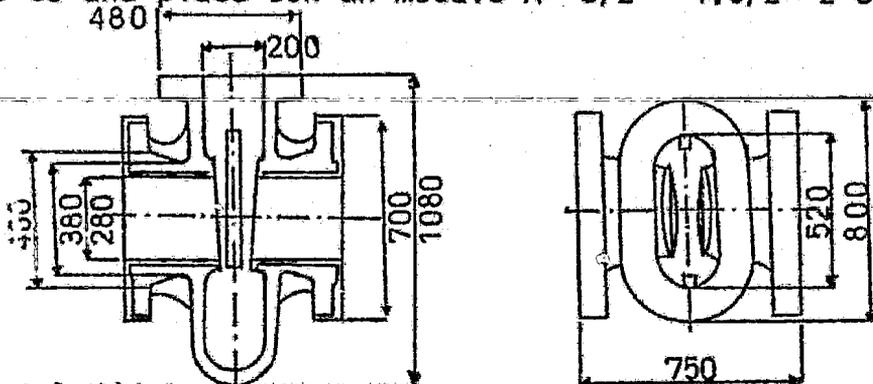
El cubo cilíndrico es generado por una superficie trapezoidal de revolución (línea punteada) y su módulo es:

$$M = \text{área} / \text{perímetro} = (56) (19+9/2) = (\text{área}) = 784 \text{ cm}^2$$

$$56 + 18 + 9 + \underline{N} 56 = 141 \text{ cm(periferia)}$$

$$M = 784/141 = 5.56 \text{ cm.}$$

El plato es una placa con un módulo $M = d/2 = 4.0/2 = 2 \text{ cm.}$



Cálculo del Módulo del cuerpo de una Válvula.

a).- Brida Circular: Es una barra de (10) (21) con una superficie no enfriada de 9 cm. Dibuje la intersección e inscriba un círculo de 13 cm, de diámetro; así nos queda una barra simulada de (13) (21). Así:

$$M = (13) (21) / 2(13+21) - 9 = 4.62 \text{ cm}$$

b).- Brida Ovalada. Círculo inscrito de intersección de 10 cm \emptyset .

Una superficie no enfriada de 5 cm, quedándonos una barra simulada de (10) (14):

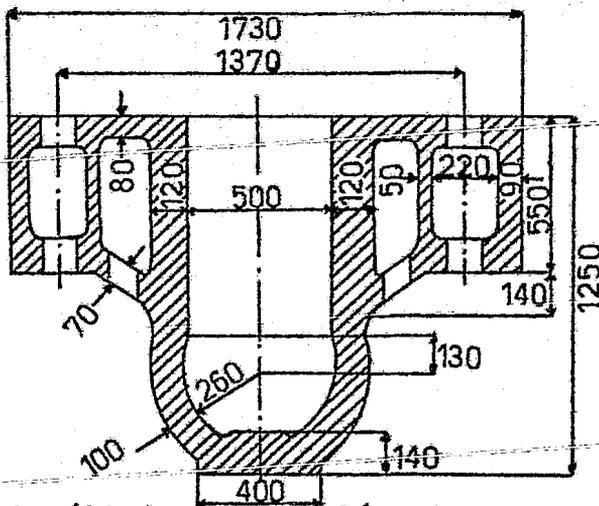
$$M = (10) (14) / 2 (10+ 14) - 5 + 3.25 \text{ cm.}$$

c).- Cuerpo de la Válvula. Placa de 5 cm de espesor:

$$M = d/2 = 5 / 2 = 2.5 \text{ cm}$$

d).- Intersección del Cuerpo de la Válvula con el Asiento. - Círculo de 7 cm de \emptyset . representado por la unión de 2 placas. Placa de simulación de 7 cm de espesor:

$$M = d/2 = 7/2 = 3.5 \text{ cm}$$



Cuerpo del Cilindro de Presión. Se trata perfectamente del cálculo de placas de sustitución con $M = d/2$ Cilindro Base: disco de 40 cm \emptyset $M = 14/2 = 7$ cm. Placa de la Cúpula: 10 cm -

de espesor; $M = 10/2 = 5$ cm. Cuerpo del Cilindro: Placa de 12 cm de espesor; $M = 12/2 = 6$ cm.

Placa Superior: 8 cm de espesor; $M = 8/2 = 4$ cm.

Intersección Cilindro/ pared Inclínada: Círculo inscrito de 18 cm \emptyset ; dos placas unidas, $M = 18/2 = 9$ cm.

CAPITULO QUINTO: CONCLUSION.

Como se dijo en el capítulo de introducción y generalidades, el problema de la alimentación afecta seriamente la economía de la fundición, ya que el producto empleado tiene el mismo costo de elaboración que el acero que va a formar parte del cuerpo moldeado. De esto se deduce que la elaboración del mismo, la elección adecuada del tipo de alimentación, así como sus dimensiones mínimas requeridas para el logro de una pieza, nos da directamente el rendimiento, el cual no es otra cosa que la cantidad de metal utilizado en la pieza contra el total de material empleado en el vaciado de dicha pieza, por ejemplo:

Si se dice que una pieza tuvo un rendimiento de 40%, se está diciendo que de cada 100 kg. de metal vaciado dentro del molde, únicamente se estarán aprovechando 40 kg. De aquí deducimos la fórmula de rendimiento:

$$R = \frac{\text{PESO NETO DE LA PIEZA} \times 100}{\text{PESO BRUTO}} = \frac{\text{PN} \times 100}{\text{PB}}$$

R= Rendimiento en%

De lo anterior se puede observar, que mientras la cantidad utilizada para la alimentación sea menor, mayor será su rendimiento; desde luego una misma pieza se puede alimentar de diferentes formas, dependiendo de quién está diseñando su alimentación, y por ende, se pueden obtener diferentes rendimientos, sin arriesgar la calidad de dicha pieza, pero claro, esto tiene sus limitaciones, dependiendo principalmente de la pieza que se está haciendo, o sea: cómo va a trabajar dicha

pieza, qué calidad se desea obtener (fundición, radiográfica, ultrasónica), si la pieza va a trabajar a presión, al esfuerzo cortante, a la tensión, etc. Pongamos un ejemplo: Se requiere vaciar un cuerpo de válvula donde el cliente está pidiendo un material que estará sujeto a 15000 # de presión de prueba, sin ser calidad radiográfica. Con estos datos, el Ingeniero en fundición deberá inclinarse a buscar la sanidad de la pieza, haciendo a un lado el rendimiento. Se ha llegado prácticamente a límites bastante exactos - como incluso hemos visto con las tablas de Foseco.

Por el otro lado, tenemos que hay piezas con un rendimiento mucho mayor, como son: yugos, bastidores, enlainados de molinos, etc., en donde se llegan a tener rendimientos del orden del 75 al 90%; claro que estas piezas tendrán defectos de alimentación en determinadas zonas, pero que se consideran no influirán en su uso.

Cada día se ha venido desarrollando mayor competencia en el diseño de alimentadores para tener piezas de calidad y poder competir en el mercado.

Supongamos que el promedio mensual en rendimiento fuera de un 50% y, con la aplicación inteligente y más técnica de alimentadores éste se llevara a un 60%; una compañía como Aceros y Autopartes tendría ahorros substanciales, a saber: Producción neta mensual de piezas fundidas = 800 tons.

$$R = 50 \%$$

Esto implica vaciar de los hornos: $800/0.50 = 1600$ toneladas
Si el promedio del costo por tonelada de acero fundido pues

to en tina fuera de \$ 2000.00, tendríamos:

Costo total de 1600 tons x \$ 2000.00= \$3'200,000.00

Por otro lado, tomando en cuenta que el rendimiento subió a un 60%, se tiene:

$800/0.60=1333$ tons. necesarias para obtener las 800 tons. de piezas netas.

$1600-1333=267$ tons. de producción que beneficiarán en la obtención de otras: $267 \times 0.60 = 160$ tons. adicionales netas de piezas, o sea: $800 + 160 = 960$ tons. de piezas netas.

Otra de las repercusiones sería en el departamento de acabado disminuyendo sus costos, porque para mejorar el rendimiento, - se entiende que las dimensiones generales del alimentador disminuyeron, además de eliminar cierto porcentaje de trabajo - por soldadura y la disminución de material rechazado, todo es to representado también en pesos.

CONCLUSIONES FINALES.

Después de meditar detenidamente lo expuesto en esta tesis, podemos resumir que el desempeño del técnico o ingeniero en fundición es en la actualidad de una importancia decisiva. Los años en que se procedió empíricamente en los talleres, - donde las acciones de los fundidores (generalmente hombres prácticos, de edad avanzada, con mucha experiencia y escasa preparación escolar) eran realizadas con gran misterio y celosamente ocultas a los demás, afortunadamente para beneficio de la industria y de quienes encaminan sus pasos hacia esta especialidad, se han superado dejándose atrás.

Los criterios han cambiado, los conceptos son menos precarios y los principios buscan fundamentarse, auxiliándose de las matemáticas, la química, la física, la fisicoquímica, - etc; ciencias exactas que han aportado a los estudiosos elementos que sus investigaciones requieren para la solución de los problemas.

Lo expuesto en los capítulos anteriores, no es otra cosa que el producto de la observación, cálculo y aplicación de muchos hombres, estudiado y probado por el autor de esta tesis, cuyas experiencias han sido resumidas en ella en sus aspectos fundamentales, ya que la especialidad es basta.

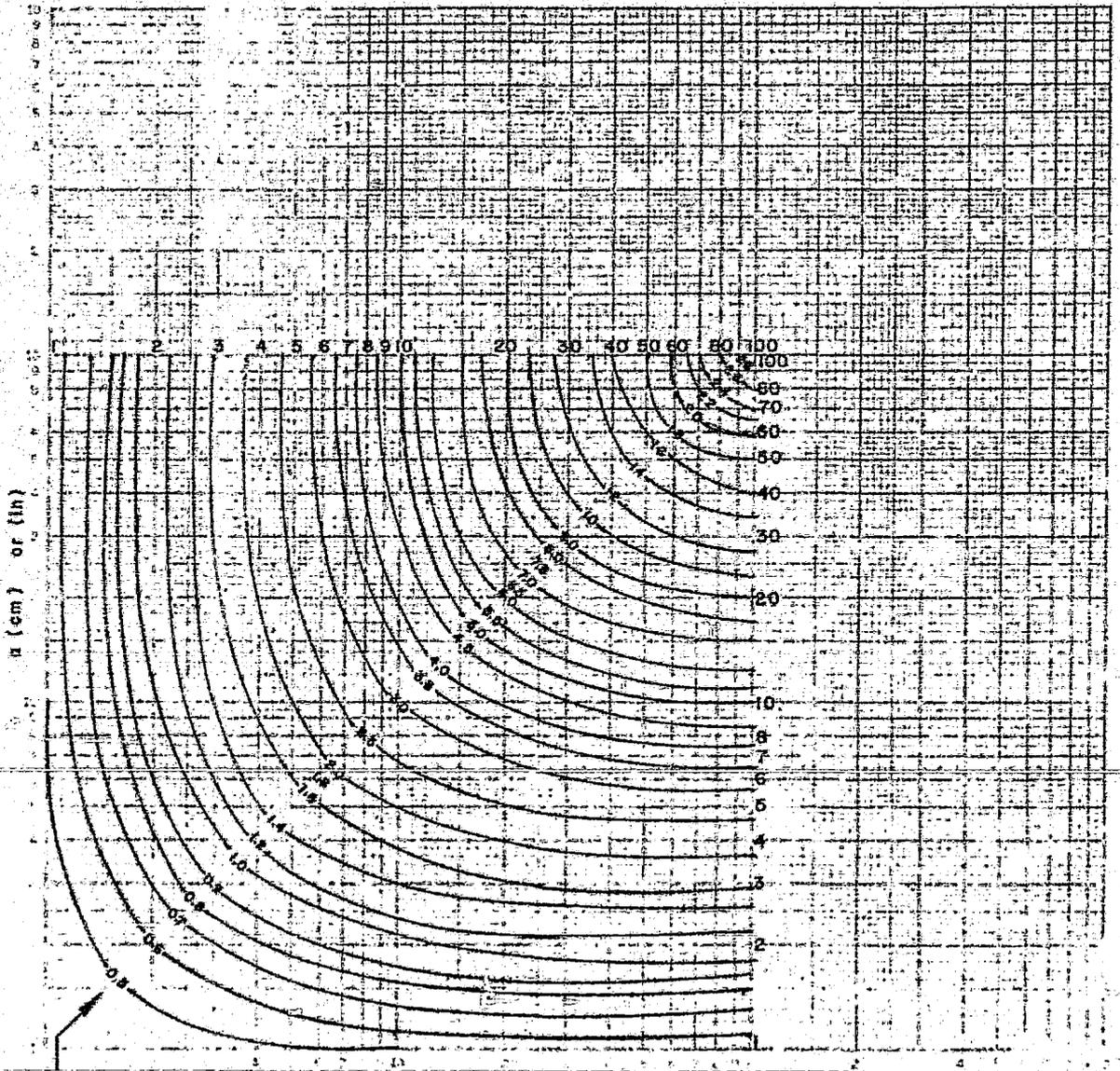
~~Concluir recomendando categóricamente y con preferencia la~~ bondad de un sistema a otro de los tratados en el desarrollo de la presente, no sería prudente ni correcto de mi parte, dado que yo mismo recorro a uno y a otro según lo indiquen las circunstancias. La razón es bien simple: conociendo los prin

cipios fundamentales que gobiernan los diferentes procedimientos de alimentación de las piezas, se aplican uno u otro o la combinación de ellos de acuerdo con las características del molde y de la pieza.

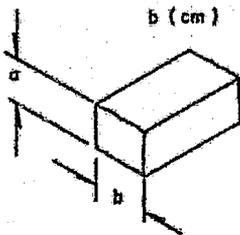
Para concretar y finalizar todo mi criterio al respecto, la recomendación que se me antoja más pertinente es: El técnico o Ingeniero en fundición debe asumir la postura de aprovechar todos los recursos que tenga a la mano, de acuerdo con las particularidades de cada pieza, según las necesidades de uso y diseño que se encuentren, cuidando que la pieza obtenida sea de la mejor calidad, al más bajo costo y con el mejor servicio posible al cliente, cosas que industrializarán más pronto al país que nos vio nacer y al cual (junto con nuestra U.N.A.M.) hay que levantar por bien de todos.

Espero que esta tesis incite a mis compañeros a profundizar más hondamente en esta hermosa y muy actual especialización.

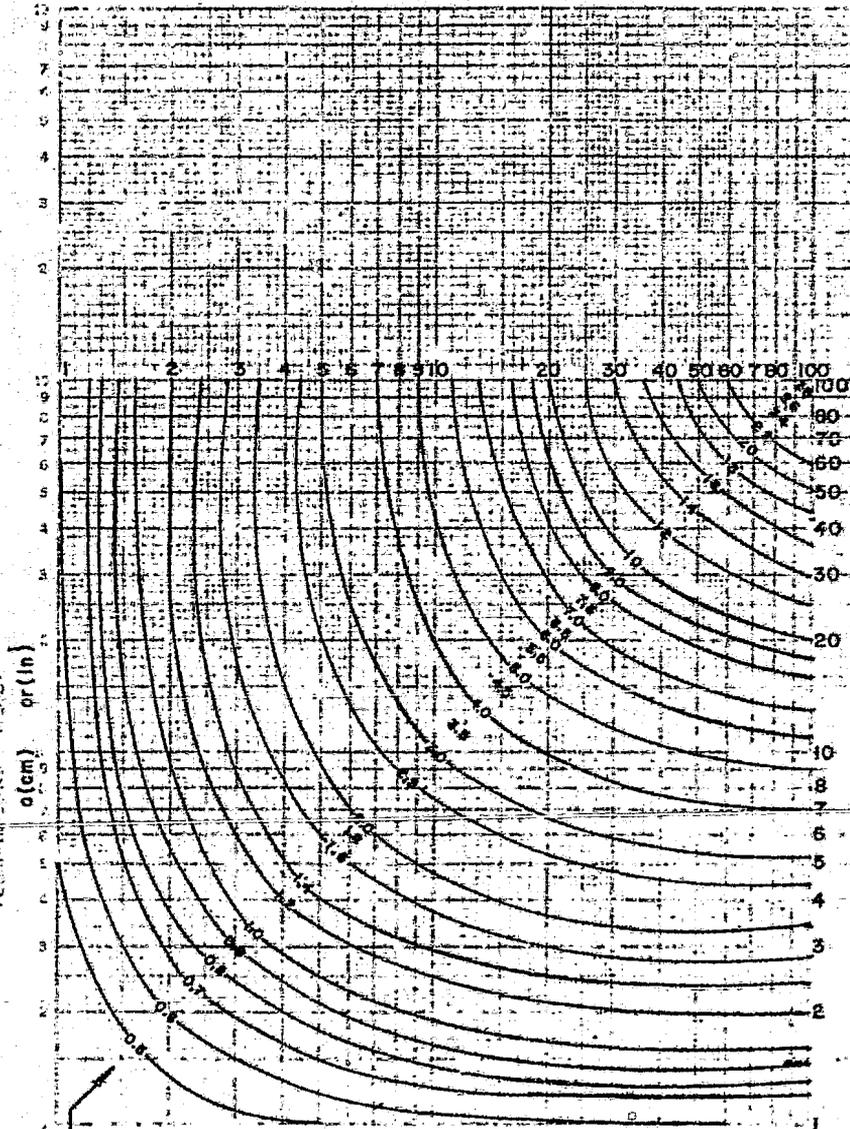
A P E N D I C E



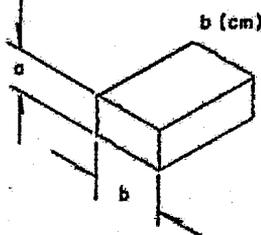
MODULO DEL
CUELLO DE
ALIMENTACION



$$f = 11$$

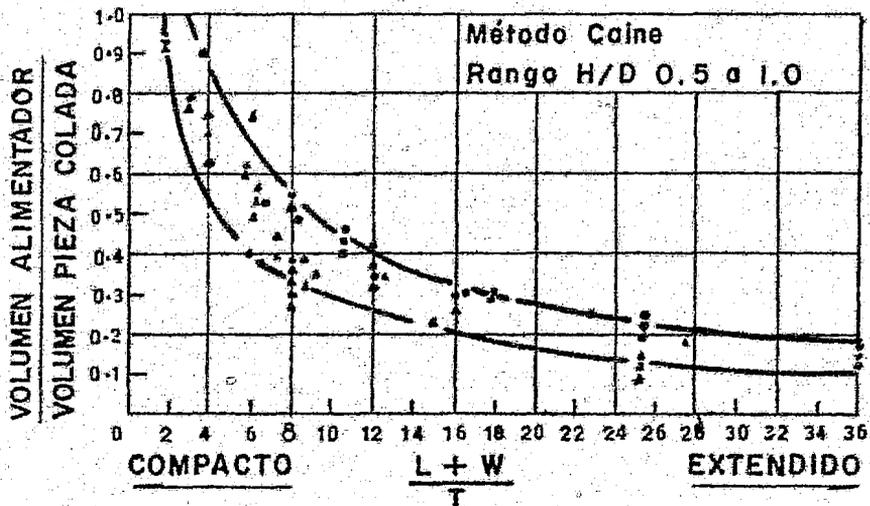


MODULO DEL ALIMENTADOR

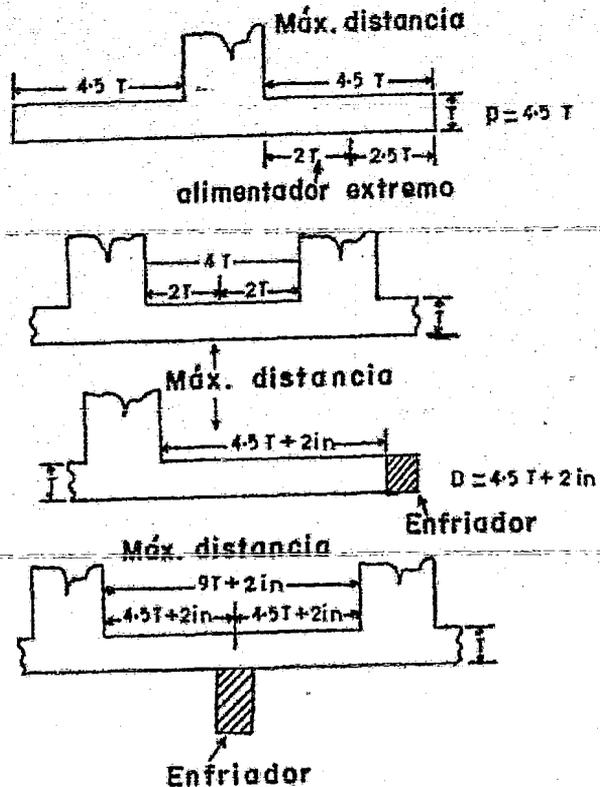


b (cm) or (in)

$f = 1.2$

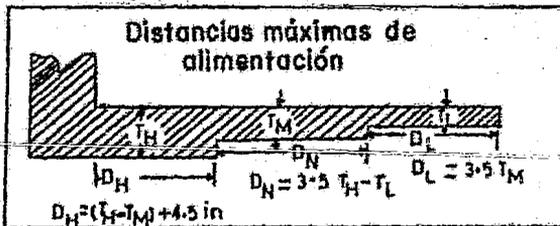
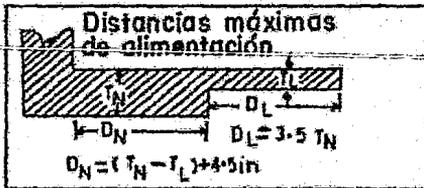
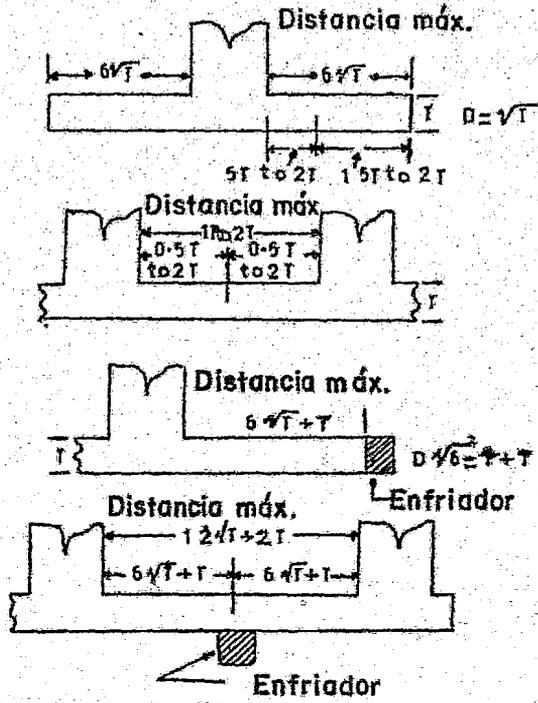


Relación del factor de forma de mínimo volumen efectivo de alimentador expresado como una fracción de volumen de la pieza colada. Para alimentadores cilíndricos con H/D en Ranges de 0.5 a 1.0.



Distancias de Alimentación
para platos (Bishop y Myskowski)

Relación de distancias de alimentación para barras (Bishop y Myskowski)



Relación de distancias de alimentación para secciones duales y múltiples (Pellini)

EXACTO	12	12	14	12	135
APROXIMADO	13	13	15	12	14

Solamente con zona de alimentador



En las zonas de extremo y alimentador

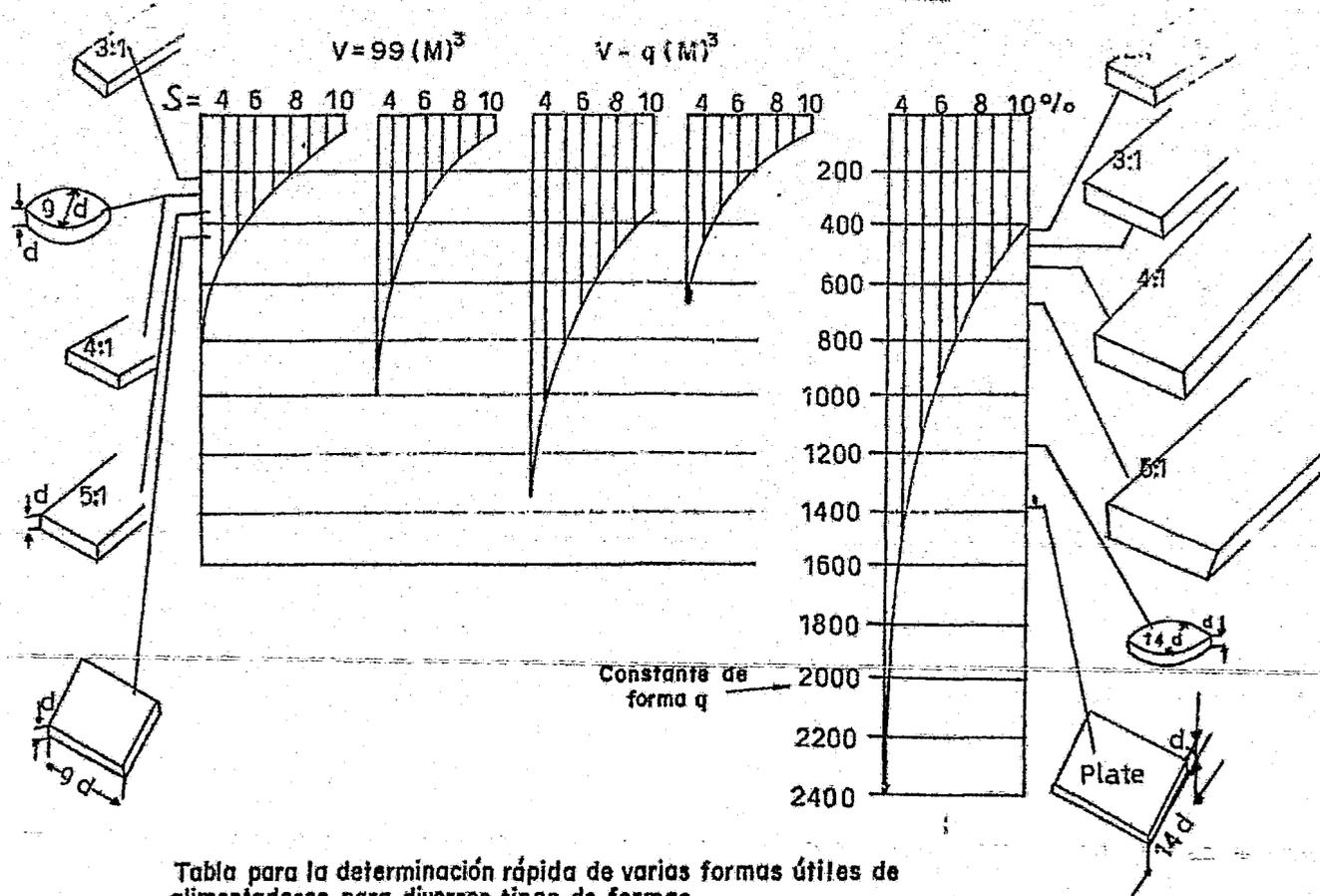
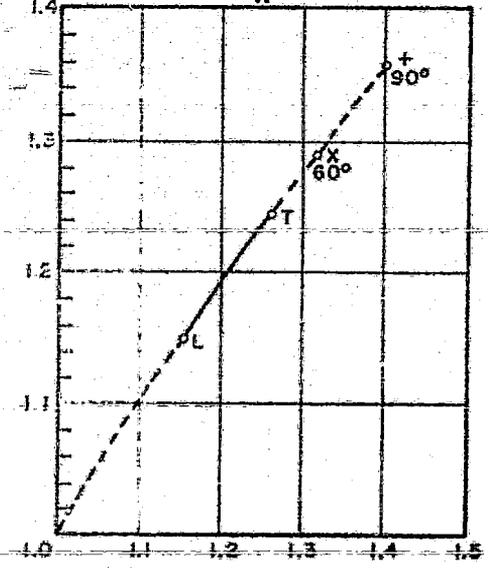
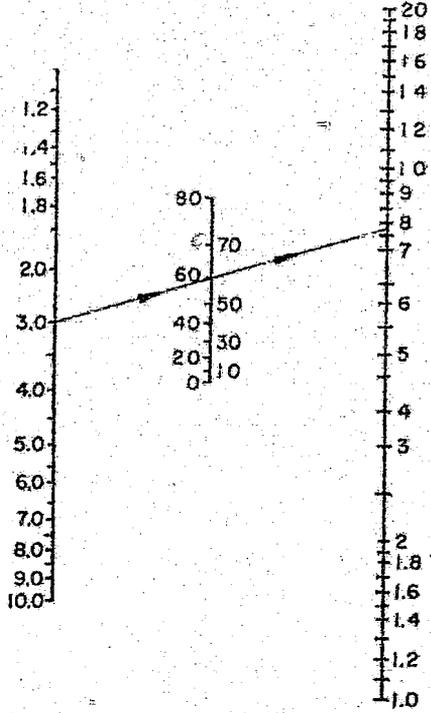
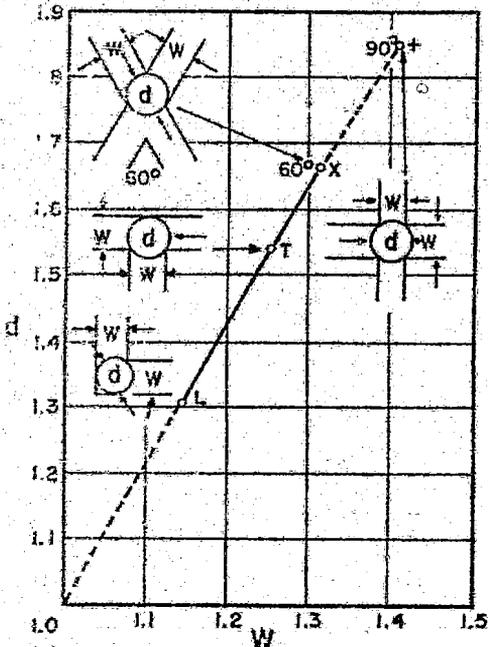
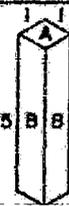


Tabla para la determinación rápida de varias formas útiles de alimentadores para diversos tipos de formas.

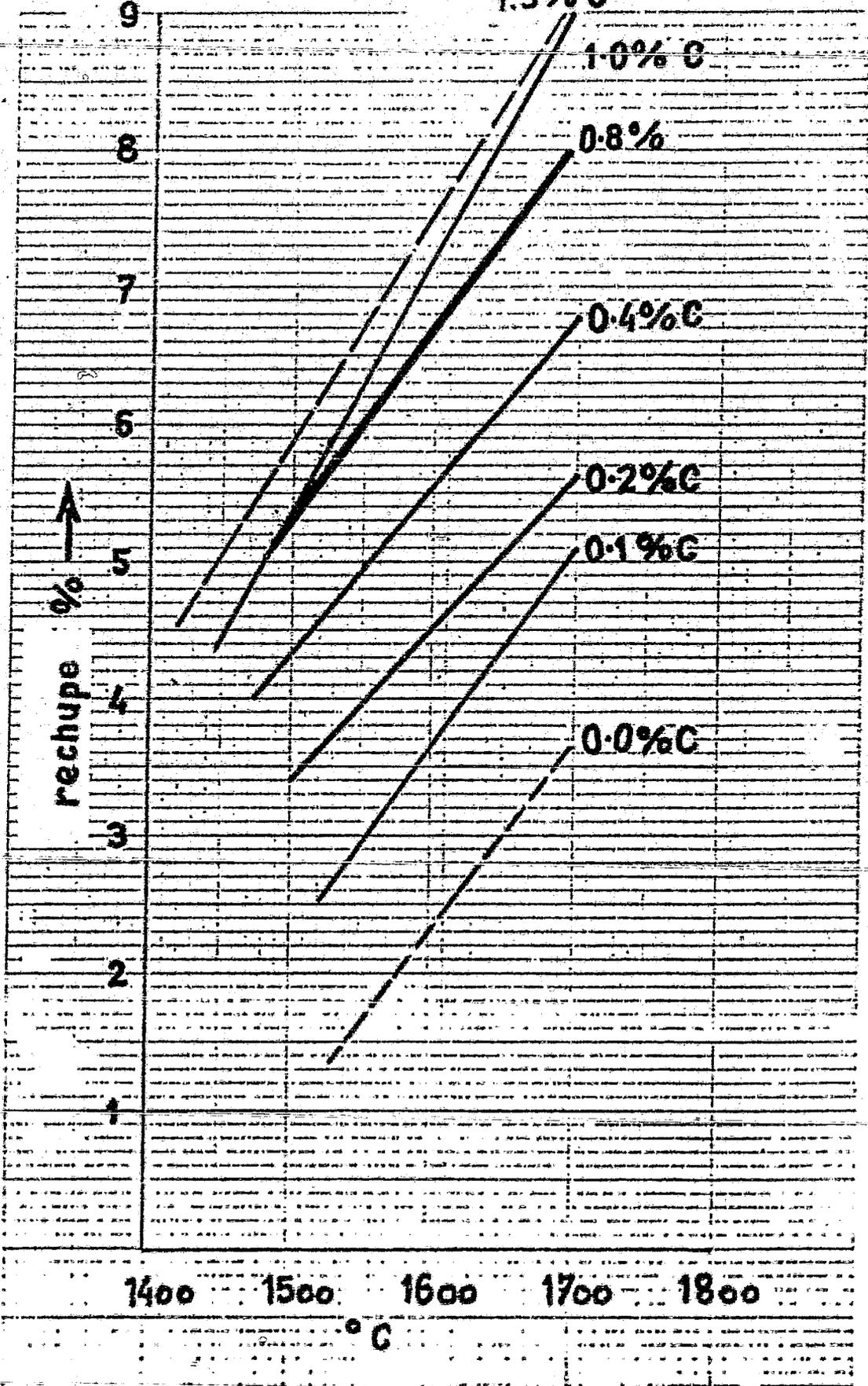
Cimiento del módulo con reducción de la superficie

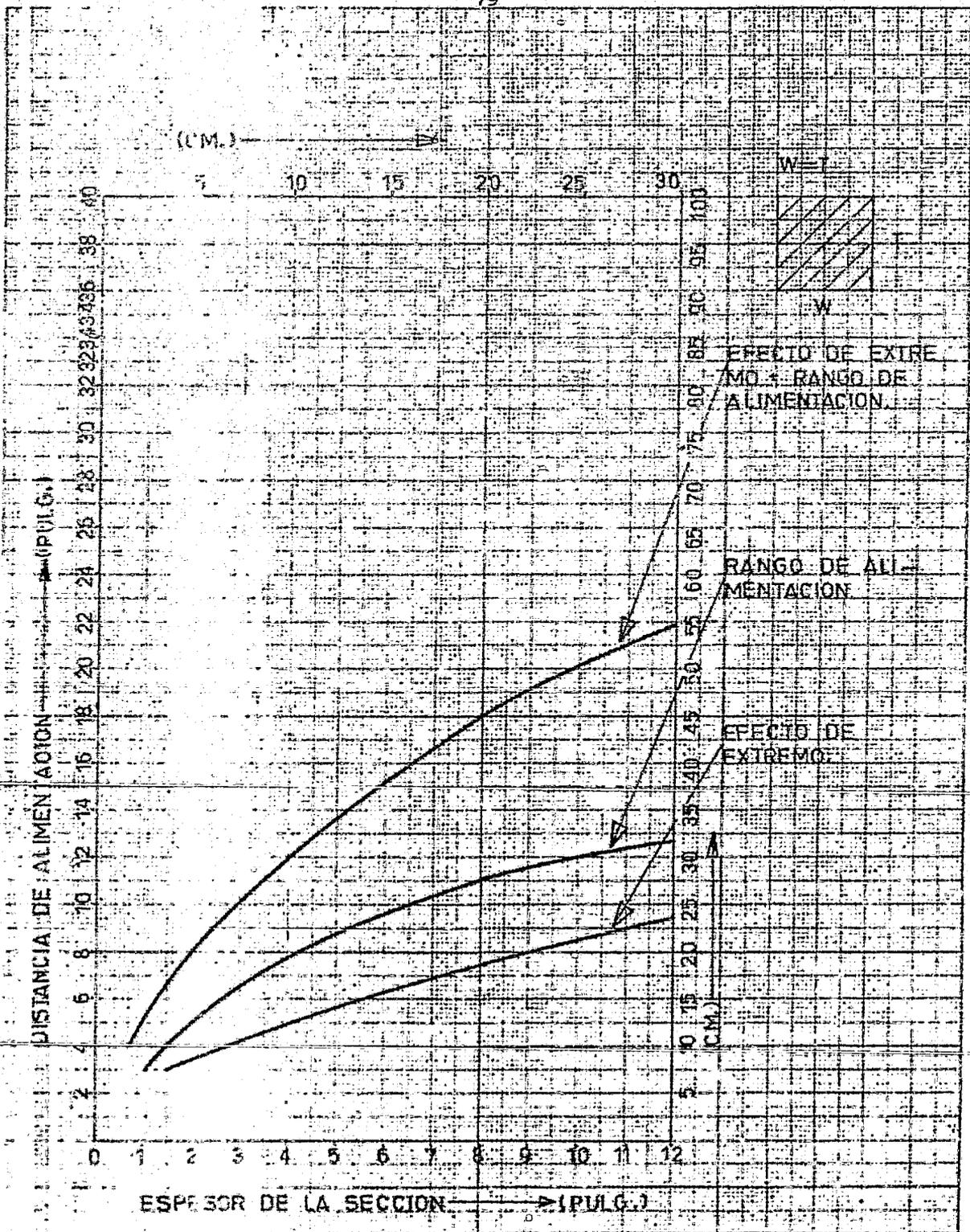


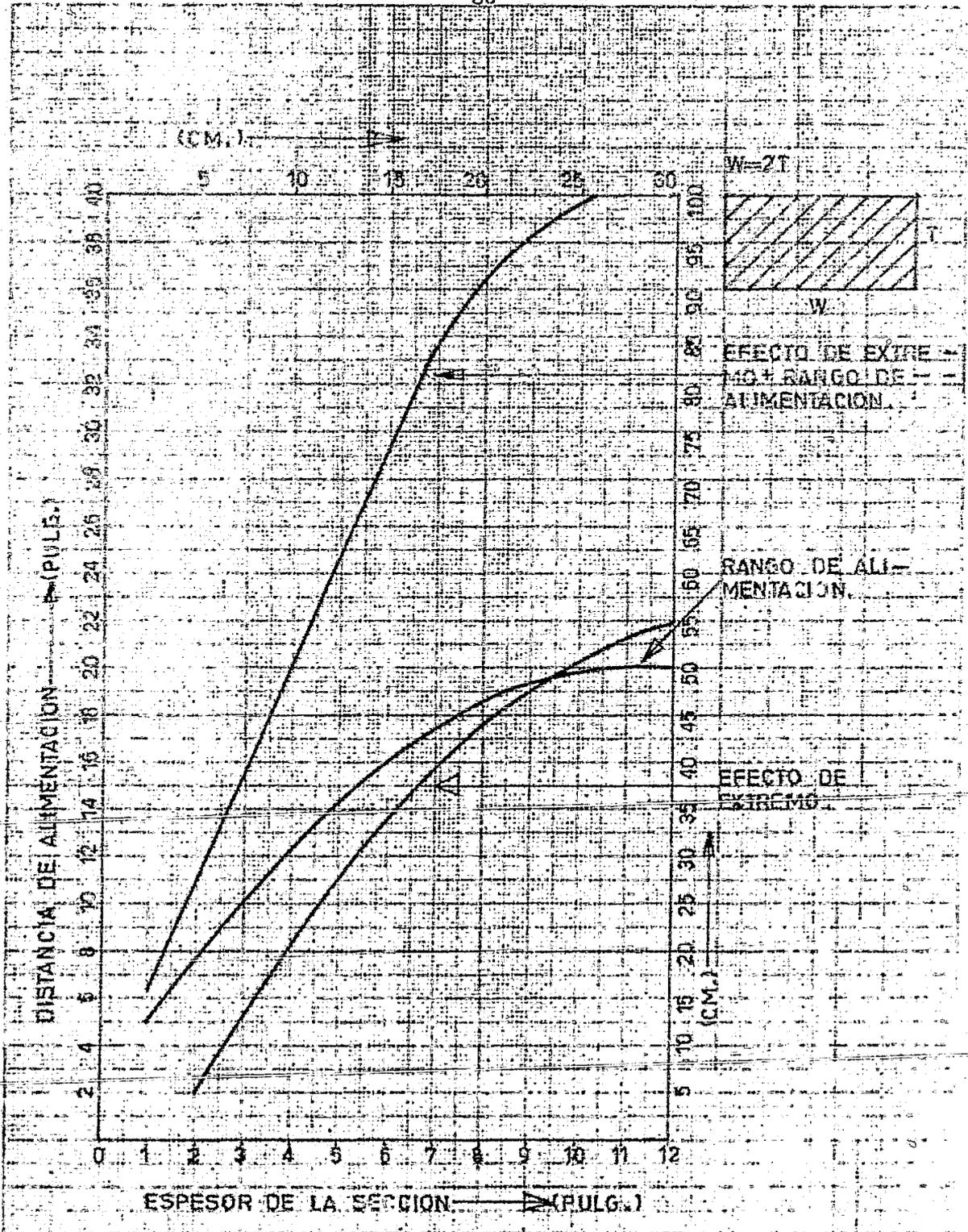
Razón	Superf. Total	Superf. AN%	Superf. BN%
 1x1x1/2		25	12.5
 1x1x1		17	
 1x1x2	100%	10	20
 1x1x3		7	22
 1x1x5		5	23

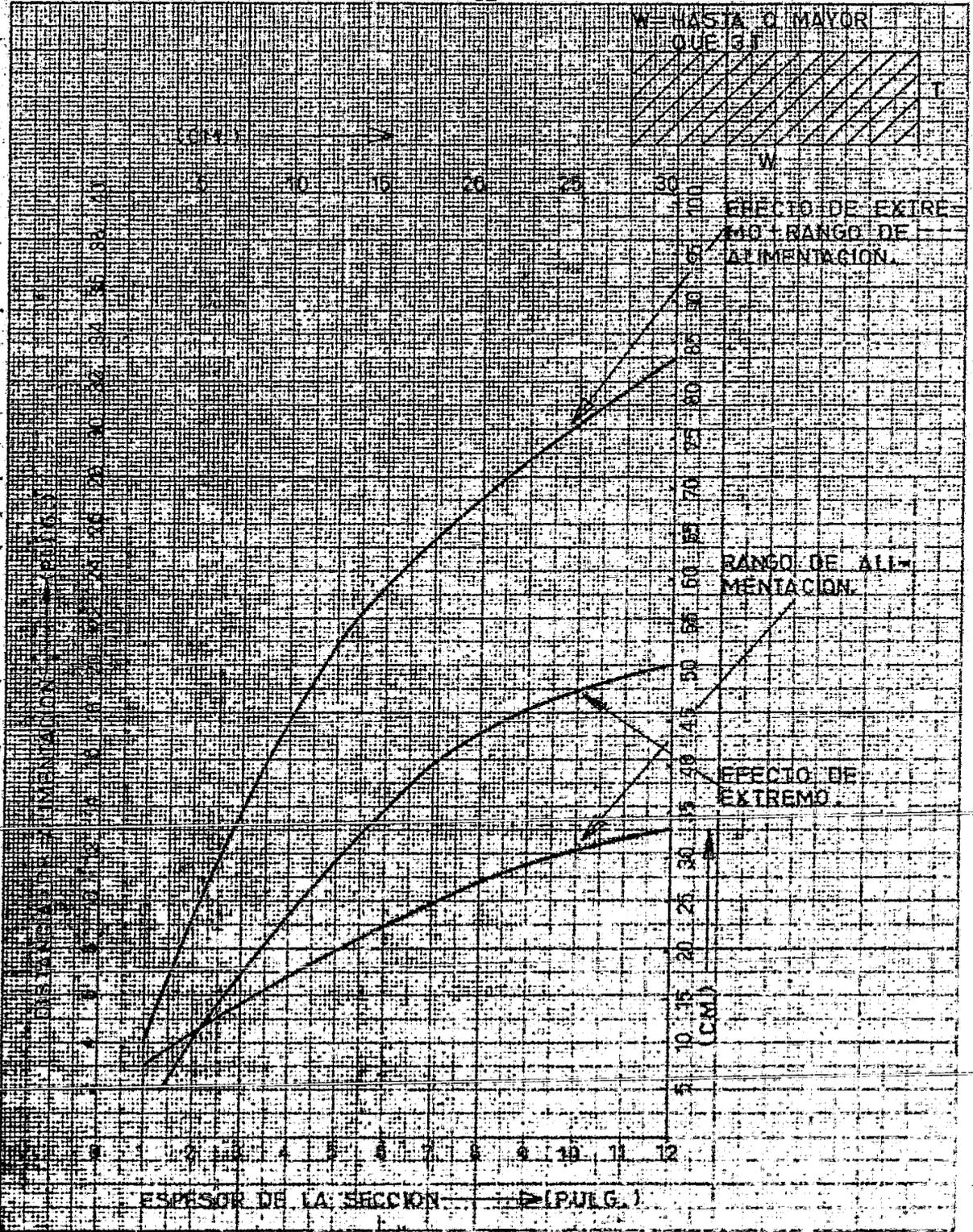
Cimiento del módulo en las uniones

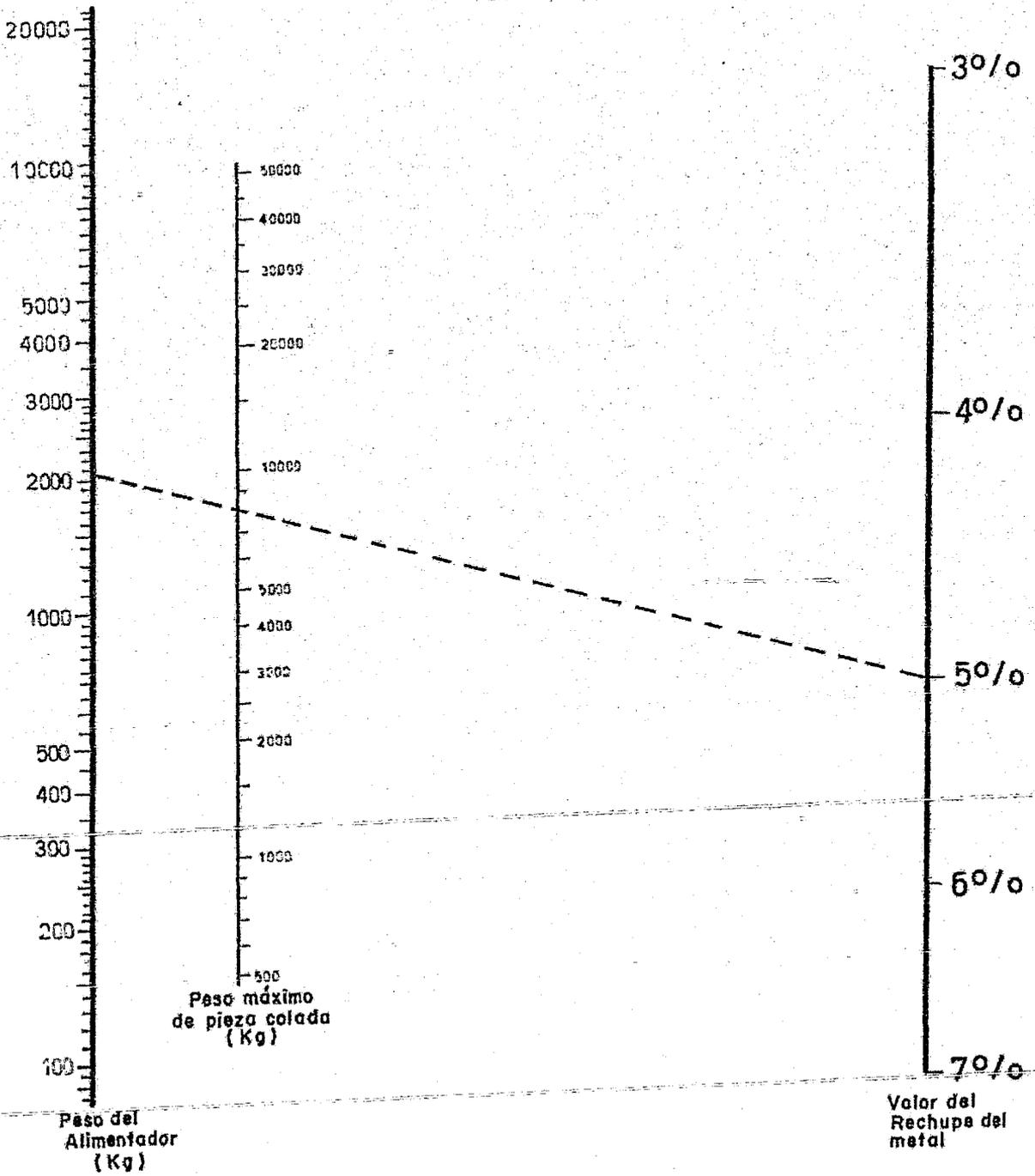
Superficie no enfriante estimada en paralelepípedos simulados



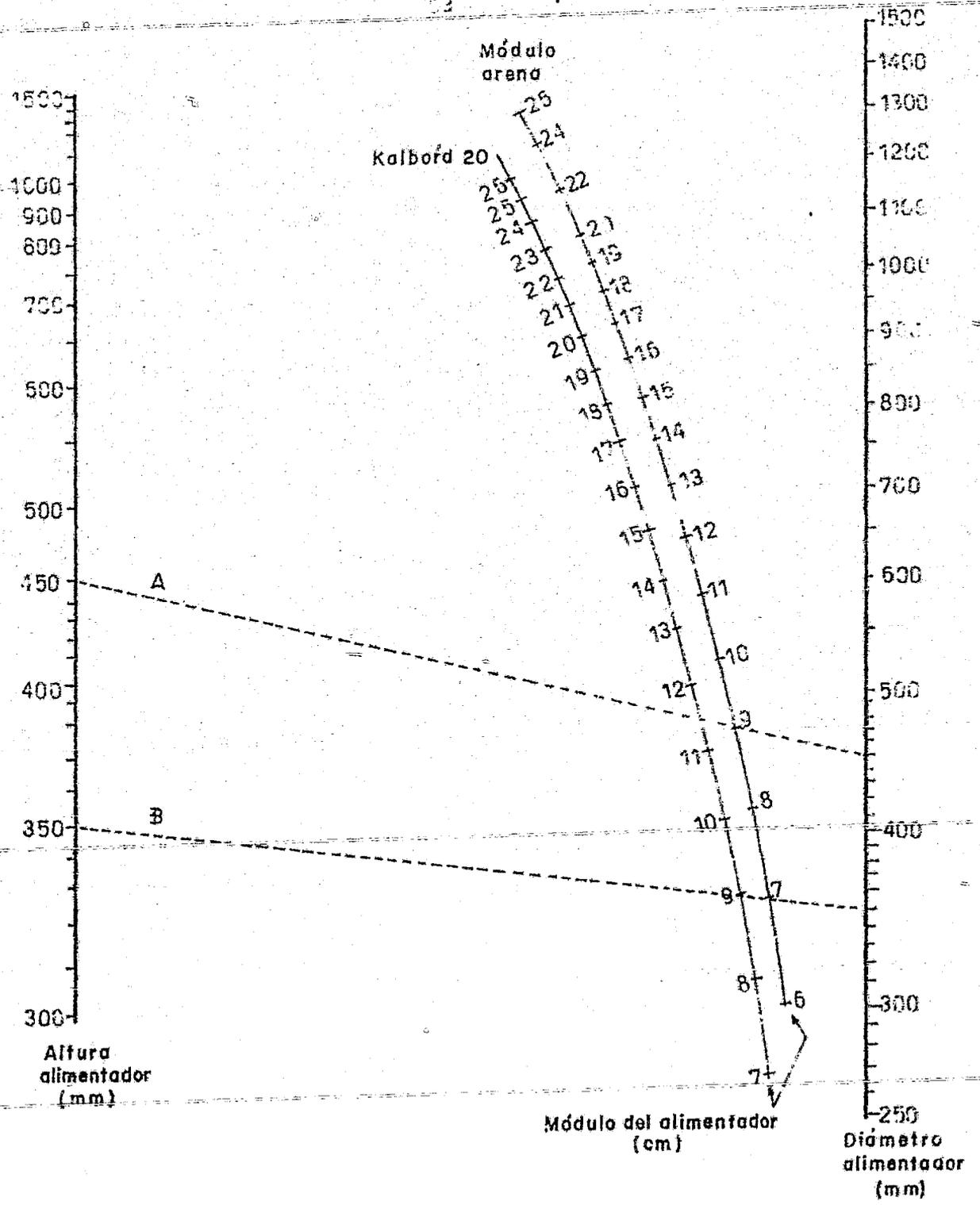




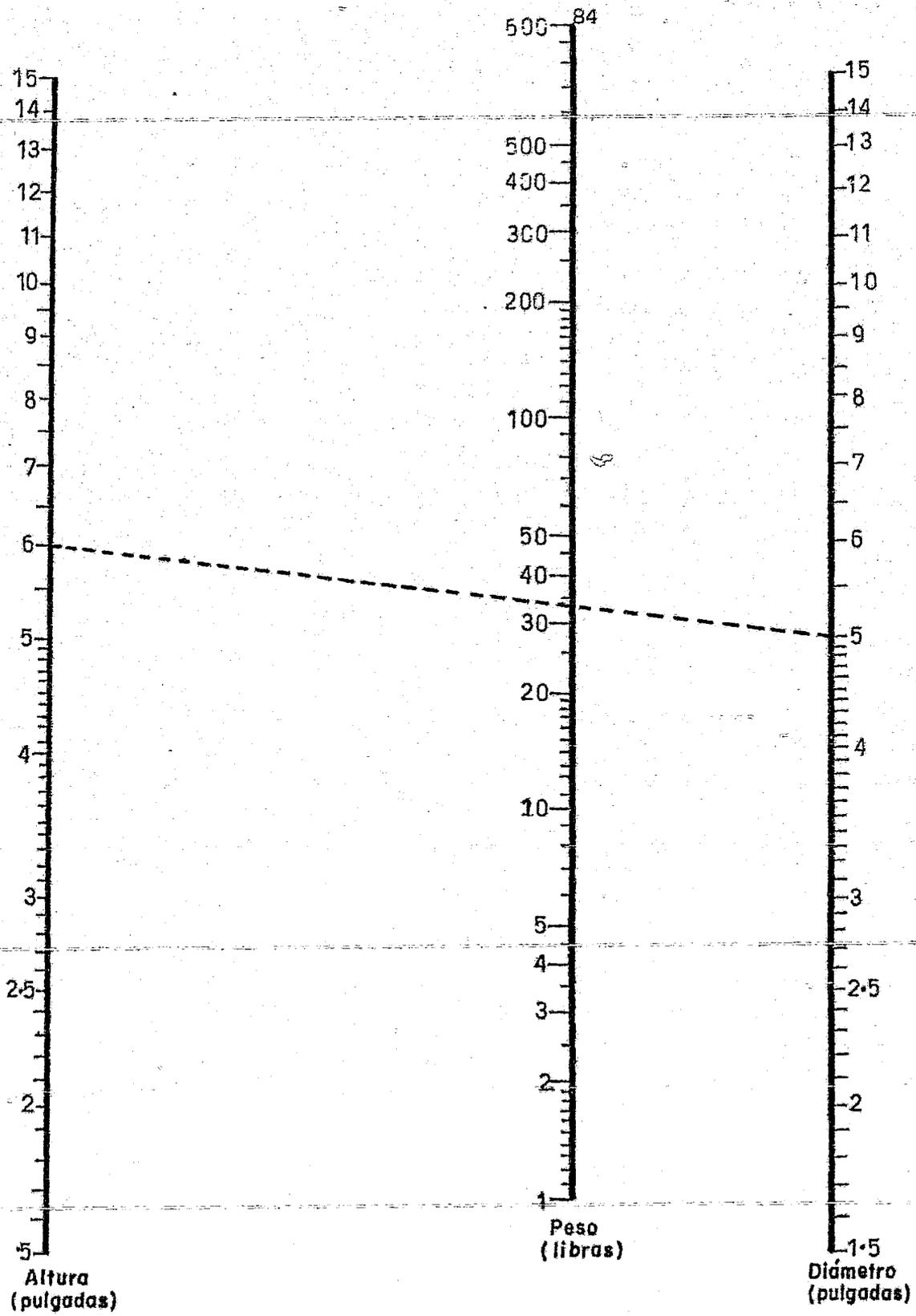




Monografía de alimentación máxima de un alimentador exotérmico Kalbord 20.



Monografía reemplazo de alimentadores de arena por su equivalente Kalbord 20.
 Ej. Se reemplaza el alimentador de arena de 450 X 450 por un Kalbord de 350 X 350 mm.



Monografía de pesos de alimentadores de acero.

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

- 1.- Fundición del Hierro y del Acero. - Ernst Specht y H. Tanzen.
Ed. Sintés. Barcelona.
- 2.- Gelenkte Erstarrung von Stahlguss. - R. Wlodawer.
Verlag Stahleisen - Düsseldorf.
- 3.- Directional Solidification. - R. Wlodawer.
Pergamon Press - London.
- 4.- Stahlguss. - K. Roesch y K. Zimmermann.
Verlag Stahleisen - Düsseldorf.
- 5.- Foundry Technology. - P.R. Beeley.
Newnes Butterworth - London, Boston.
- 6.- Principles of Metal Casting. - R. Heine, C. Loper y Ph.
Rosenthal - Mc Graw Hill - New York.
- 7.- Physical Metallurgy. - D. Clark y W. Varney.
Van Nostrand - New York.
- 8.- Basic Principles of Riserling. - American Foundrymen's
Society, Cast Metals Institute - Des Plaines, Illinois.
- 9.- The Foseco Foundryman's Handbook.
Pergamon Press - London.