

18
29



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN



V N A M

“ ESTRUCTURA METALURGICA DE UNA ALEACION
DE ALUMINIO SOLIDIFICADA BAJO PRESION ”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

JAIME ALBERTO MARTINEZ GASCA

ASESOR: DR. ANDRES HERRERA VAZQUEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE	PAGINA
1.0 INTRODUCCION	-1
PRIMERA PARTE INVESTIGACION TEORICA	
2.0 FUNDICION	-5
2.1 Fusión por inducción de alta frecuencia	-5
2.2 Fundición en horno de gas	-6
2.3 Horno de resistencia eléctrica	-7
2.4 Fundición por arco electrico	-7
2.5 Crisoles	-8
2.6 Funto de fusión de los constituyentes	10
2.7 Desgrsificación de aleaciones de aluminio	11
2.7.1 Metodo de gas (burbujeo)	11
2.7.2 Tratamiento con un fundente líquido	12
2.7.3 Presolidificación	13
2.8 Vaciado o colado	13
2.8.1 Vaciado en arena	13
2.8.2 Colada a baja presión	15
2.8.3 Colada a presión	15
2.8.4 Colada en molde permanente	16
2.8.5 Colada por centrifugación	17
3.0 ESTRUCTURA DE FUNDICION	19
3.1 Porosidad interdendrítica	21
3.2 Burbujas	22

3.3	Estructura de grano	22
3.4	Separación de impurezas	23
4.0	FORMACION DE ALEACIONES	25
4.1	Fases	26
4.1.1	Fase eutéctica	27
4.1.2	Solución sólida	27
4.1.3	Compuestos intermetálicos	28
4.1.3.1	Compuesto de valencia normal	28
4.1.3.2	Compuesto electrónico	28
5.0	ALEACIONES DE ALUMINIO DE USO EN INGENIERIA	30
5.1	Aleaciones forjadas de aluminio sin tratamiento térmico	30
5.2	Aleaciones de aluminio vaciadas sin tratamiento térmico	32
5.3	Aleaciones forjadas de aluminio tratadas térmica.	33
5.4	Aleaciones de aluminio vaciadas tratadas térmica.	35
6.0	PROPIEDADES MECANICAS	37
6.1	Ensayo de tracción o de tensión	37
6.1.1	Resistencia a la tensión	40
6.1.2	Tensión de cedencia	40
6.1.3	Elongación	42
6.1.4	Reducción de área	42

6.2	Dureza	43
6.2.1	Dureza Brinell	43
6.2.2	Dureza Vickers	44
6.2.3	Dureza Rockwell	44

7.0 METALOGRAFIA

7.1	Examen microscópico	46
7.1.1	Selección de la probeta	46
7.1.2	Montaje	46
7.1.3	Rebajado y pulido de la probeta	47
7.1.4	Ataque de la probeta	48
7.1.5	Microscopio metalográfico	49
7.2	Macroexamen	50

SEGUNDA PARTE TRABAJO EXPERIMENTAL

8.0	PROCEDIMIENTO DE FUNDICIÓN DE LA ALEACIÓN	52
8.1	Diseño del molde	52
8.2	Diseño del punzón y la extensión del vástago de la prensa	52
8.3	Procedimiento de vaciado y aplicación de la presión	59
8.4	Diseño del horno de pre-calentamiento del molde	59
8.5	Ensayos mecánicos destructivos	62
8.5.1	Ensayo de tracción ó tensión	62
8.5.2	Ensayo de dureza	63
8.6	Análisis metalográfico	65

8.6.1	Metalografía de la probeta fundida	65
8.6.1.1	Examen microscópico	65
8.6.1.2	Examen macroscópico	66
8.6.2	Metalografía de la probeta ensayada	67
8.6.2.1	Examen microscópico	67

TERCERA PARTE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

9.0	RESULTADOS	69
9.1	Comentarios de los resultados	85
10.0	CONCLUSIONES	89
11.0	ARTICULOS	93
12.0	BIBLIOGRAFIA	95

PRIMERA PARTE

INVESTIGACION TEORICA

**EN EL PRINCIPIC LA OSCURIDAD
LLENABA TODOS LOS ESPACIOS...**

1.0 INTRODUCCION

Los procesos tradicionales de mayor antigüedad para la obtención de piezas metálicas, ya sea para fines domésticos, decorativos o aplicación industrial. Lo constituyen la fundición de metales y el conformado en estado sólido como son: la forja, el estampado, la laminación, el trefilado, etc.

Conforme el desarrollo de la ciencia y la tecnología de la metalurgia ha venido ocurriendo en los últimos años. Así como el conocimiento cada vez mayor de los materiales y la necesidad de mejorar la calidad de los mismos. Se ha planteado que una de las maneras de encontrarlo es tratar de entender la relación proceso-estructura-propiedades.

El método de solidificación bajo presión (squeeze casting), el cual consiste en combinar dos operaciones en una sola, como lo son la forja y la fundición^(2,3,4,6,7,8) para obtener así un mejoramiento en las propiedades mecánicas, y en su acabado superficial final. En este proceso el metal fundido se vierte en la cavidad de un molde metálico, para posterior e inmediatamente aplicar presión al metal líquido, dándole forma final dentro del molde.⁽²⁾

Este método o proceso no es nuevo, ya que se tienen conocimientos del mismo desde hace aproximadamente 100 años en Rusia ya se utiliza

ba, pero no fue hasta la década de los 50's, cuando empezó a ser empleado en otras partes del mundo, al ser mejorado el proceso y el producto final. En Japón se utiliza para hacer rines metálicos para automóviles, mientras en Estados Unidos se ha utilizado para hacer pistones de máquinas diesel.⁽⁹⁾

Se puede decir que básicamente la esencia del proceso es el mismo desde ya bastante tiempo, pero en lo que se ha venido avanzando es la forma de hacer el vaciado al molde metálico y la aplicación de la presión (velocidad, duración y la variedad de presiones), para poder llegar a perfeccionar el proceso, según el diseño de la pieza, - las características y propiedades deseadas.

Gracias a la continuidad de las investigaciones sobre este proceso, se ha llegado a tener que considerar varios puntos para poderlo aplicar mejor, así como mejorar el producto, una de estas consideraciones es: vertir el metal fundido en el molde a una velocidad tan baja como sea posible para evitar turbulencias y aplicar una presión tan elevada como sea posible posteriormente, con esto se mejora la consistencia y la exactitud dimensional de la pieza.⁽⁶⁾ Otra consideración es: el llenado lento de las cavidades del molde y la aplicación de la presión al metal fundido durante un tiempo determinado, dando como resultado que no quede aire atrapado, mejorando las propiedades mecánicas como son especialmente la elongación, la resistencia al impacto, y la resistencia a la tracción.⁽⁷⁾

La gran atracción de este proceso es su costo, si lo comparamos con otras técnicas de producción, así como una buena reproductibilidad dimensional y un buen acabado superficial, reduciendo al mínimo el trabajo posterior.⁽⁸⁾

Una de las características de los experimentos con este proceso es la variación de la presión aplicada para poder así encontrar la más recomendable para esa pieza, tomado en cuenta esto se ha experimentado con presiones de 35 KN/cm^2 hasta 70 KN/cm^2 , esta última es muy elevada y por tanto difícil de aplicar, pero se han mejorado las propiedades mecánicas en muchas aleaciones incluyendo la 356 (aluminio) a partir de 7 KN/cm^2 de presión.⁽⁹⁾

En otros estudios se han aplicado $100,000 \text{ lb/in}^2$ (68.96 KN/cm^2) de presión a una aleación A356, pero llegándose a concluir que aplicando sólo $50,000 \text{ lb/in}^2$ (34.48 KN/cm^2), es suficiente para obtener propiedades similares a las primeras.⁽¹⁰⁾

El estudio y la práctica de este proceso hace aconsejable la desgasificación de la fundición antes de vaciarla, las altas presiones durante la solidificación refinan el grano y aplicando la presión rápidamente se mejora el centro de la pieza colada.⁽¹⁰⁾

El conformado en estado líquido en la actualidad ya es usado a grandes escalas con aleaciones de bronce y aluminio, principalmente -

con esta última en la industria automotriz, así tenemos el ejemplo de la "TOYOTA" con una producción de 1,500 toneladas en una jornada de 24 horas,⁽⁷⁾ el desarrollo de este proceso ha sido tan rápido en las últimas dos décadas, que como ejemplo los artículos "1" y "12" son patentes de los Estados Unidos de alguna máquina que utiliza el conformado en estado líquido, con esto nos damos cuenta lo atractivo que es este proceso.

En el presente trabajo estudiaremos la estructura metalúrgica de una aleación de aluminio 356 (7.0% Si, 0.3% Mg), solidificada bajo presión en el rango de 0 - 7.0 KN/cm², por considerar que el aluminio y sus aleaciones constituyen un grupo de materiales con gran aplicación industrial.

2.0 FUNDICION

Existen cuatro principales tipos de hornos para la fundición y preparación de aleaciones en el laboratorio y por orden de importancia son:

- 1- Fusión por inducción de alta frecuencia
- 2- Fusión por combustión gas - aire
- 3- Fusión por resistencia eléctrica
- 4- Fusión por arco eléctrico

2.1 FUSION POR INDUCCION DE ALTA FRECUENCIA

El calentamiento por inducción de alta frecuencia es el método general más útil, ya que su empleo es en un alto intervalo de temperaturas, así como también es rápido y limpio, se usa principalmente en aceros de aleaciones de alto costo y materiales no ferrosos.

Los hornos de inducción de alta frecuencia son de tipo de crisol inclinable, éste está rodeado de una bobina-serpentin de cobre, enfriada por agua y encerrada en caolín, llevando una corriente alterna con una frecuencia del orden de los mil ciclos por segundo. La corriente de alta frecuencia provoca la formación de corrientes parásitas en la carga del metal.

Los crisoles utilizados en este tipo de hornos, pueden ser con

ductores eléctricos como el grafito-arcilla, grafito, carburo de silicio-grafito (tercod) o pueden ser no conductores como la magnesita o la alumina.

Tanto el crisol como la carga se calientan debido a la inducción de corrientes parásitas, generadas por un campo de alta frecuencia, se tendrá un calentamiento más eficiente si el crisol es conductor eléctrico.

2.2 FUNDICIÓN EN HORNO DE GAS

Los hornos estacionarios son aquellos que queman gas o combustible líquido. El crisol se construye dentro de la cámara de fusión, usándose comúnmente para fundir aleaciones de aluminio, pudiendo retirar pequeñas cantidades de metal según se requiera, una de las ventajas de este tipo de hornos es que la superficie del metal está expuesta a la atmósfera en lugar de los gases del horno, con lo cual se evita la disolución del hidrógeno, lo cual en caso de ocurrir da como resultado fallas en las piezas vaciadas.

Los hornos de foso se colocan abajo del nivel de trabajo del taller, para que el crisol pueda retirarse del horno, ya sea manualmente o por medio de un polipasto. La flama del quemador en la cámara del horno debe de ser en forma tangencial, de manera que circunde al crisol para formar una trayectoria espiral. Los hornos de foso se

utilizan para fundir latón y bronce. Los hornos que queman gas son generalmente en forma cilíndrica, mientras los de combustible líquido son cuadrados. El límite superior de temperatura en la práctica para este tipo de hornos es de 1200°C.

2.3 HORNO DE RESISTENCIA ELECTRICA

Se utilizan frecuentemente en aleaciones de bajo punto de fusión como: el plomo, zinc, estaño, etc. Para los que tienen un alto punto de fusión se utilizan los de inducción de alta frecuencia.

Como no existen gases combustibles en la atmósfera de un horno de resistencia eléctrica, la atmósfera de fusión parece ser mejor -- que la de un horno de gas, donde los productos de la combustión barren las paredes del crisol, sin embargo, la mezcla húmeda del aire puede causar problemas aunque no se presenten otros gases. El alambre más utilizado para las resistencias es el de 80% níquel y 20% -- cromo, los de platino-kantsel se emplean generalmente para aplicaciones de tratamiento térmico (y no de fusión).

2.4 FUNDICION POR ARCO ELECTRICO

Este tipo de hornos se utilizan para fundir aleaciones ferrosas así como también el titanio y circonio, adentro de la cámara se mantiene una atmósfera de argón para evitar la contaminación de estos metales, ya que son propensos a contaminarse con los gases.

Los hornos de arco son generalmente de tipo de arco directo, - en los cuales se forma un arco entre los electrodos de grafito sobre la misma carga. Los electrodos existen en número de tres o cuatro y se conectan en serie, de manera que la corriente fluya a través de - la carga, de un electrodo al siguiente. La cámara del horno tiene la forma de un tronco y está provista de un techo abovedado, en el cual se encuentran montados los electrodos.

El equipo electrónico apropiado consiste esencialmente de un - transformador de bajada, que reduce la tensión de la alimentación a la requerida. La tensión aplicada al sistema de electrodos puede va- riar y generalmente, es de más de 100 volts al principio de la fun- dición, reduciéndose a unos 40 volts cuando la fusión es completa.

2.5 CRISOLES

Los crisoles deben de ser inertes con relación al metal y a -- los elementos de aleación. Los crisoles de hierro o de acero son de empleo muy común y comodo, pero resultan siempre fuertemente ataca- dos por el aluminio fundido, ya que este metal disuelve al hierro -- rápidamente a partir de los 650°C y da como resultado la destrucción del crisol y el enriquecimiento en hierro del aluminio o aleación. - Por esta razón se han ido abandonando los crisoles metálicos casi -- por completo.

Los crisoles de tipo sílico-aluminoso (caolin) sufren ataques sobre todo con las aleaciones aluminio-magnesio, siendo reducido el silicio que se disuelve en el aluminio, penetrando progresivamente en el crisol, el caolin es mal conductor del calor. usándose solo como recubridor del crisol.

Los crisoles de grafito y carborundo, son inertes con respecto al metal, buenos conductores de calor, tanto el grafito como el carborundo se moldean con una porción de aglutinante, constituido por tierras refracterias y alquitran, siendo sometido a una cocción antes de su puesta en servicio. Estos tipos de crisoles son caros y frágiles pero su vida de servicio es larga.

2.6 PUNTO DE FUSION DE LOS CONSTITUYENTES (ALEANTES DEL ALUMINIO)

Aquí hay que tomar en cuenta principalmente el punto de fusión del metal base así como el de sus elementos aleantes, esto se puede ver más fácilmente con los siguientes ejemplos.

Si el porcentaje de un constituyente es muy alto en comparación con los otros, primero se funde éste para luego añadir el ó los constituyentes menores.

Hay que tener en cuenta si el constituyente aleante tiene un -- punto de fusión muy elevado en comparación con el del metal base, ya que a este último lo tendríamos que sobrecalentar para poder fundir el aleante y esto hace que aumente la oxidación, la volatilización, así como la cantidad de hidrógeno en la fundición.

En caso de que el constituyente menor, tenga un punto de fusión menor que el del metal base, este último se deberá calentar justamente por arriba de su punto de fusión, debiendo añadirse el metal aleante antes de que se funda completamente el metal base, ya que a medida que se disuelve el metal aleante baja el punto de fusión de la aleación. En general la temperatura deberá mantenerse tan baja como sea posible, evitando así una reacción con la atmósfera, pérdidas de constituyentes volátiles y una posible reacción con el crisol.

Si los constituyentes (dos) de una aleación son aproximadamente partes iguales, es recomendable fundir el de menor punto de fusión - primero, para evitar el sobrecalentamiento. Sabiendo de antemano que la adición del segundo elemento elevará el punto de fusión de la aleación. En caso de que el metal de más bajo punto de fusión sea -- reactivo y corrosivo con el crisol, se fundirá primero el de mayor - punto de fusión.

2.7 DEGSIFICACION DE ALEACIONES DE ALUMINIO

Si una aleación de aluminio ha sido fundida bajo condiciones en las que se absorbió hidrógeno, se tendrá que aplicar un tratamiento de degasificación antes de vaciarlo. El hidrógeno disuelto se puede eliminar en una de las siguientes formas:

- 1- Por burbujeo de otro gas en la aleación fundida
- 2- Con un fundente líquido adecuado, en presencia de una atmósfera libre de hidrógeno
- 3- Por presolidificación

2.71 METODO DE GAS "BURBUJEO"

El método de gas es el usado con mayor frecuencia y consiste en pasar nitrógeno ó cloro a través de la gergenta fundida. El gas es - suministrado en cilindros y debe de estar tan libre de humedad como sea posible, ya que ésta tiende a introducir más hidrógeno a la car-

ge fundida. El gas se introduce con un tubo de grafito ó refractario que debe de llegar al fondo de la carga fundida, conectado al cilindro de gas por medio de una tubería de hule y que lleve un filtro de asbesto.

Antes de llevar a cabo la desgasificación se corta la fuente de combustible, así como también se saca la suciedad de la superficie (escoria), el flujo no debe de ser tan fuerte que cause turbulencia en la superficie de la fundición, pero si las burbujas deben de ser continuas. La desgasificación efectiva se lleva a cabo de 10 a 15 minutos dependiendo del tamaño de la carga, dejándose reposar después unos 10 minutos más, durante este tiempo la fundición debe de haber alcanzado la temperatura de vaciado para poder proceder a realizarla

2.72 TRATAMIENTO CON UN FUNDETE LIQUIDO

Se lleva a cabo cubriendo la superficie de la carga con aproximadamente 1% en peso de la mezcla seca, consistente en dos partes de cloruro de sodio y una parte de fluoruro de sodio, tan pronto como se funda el fundente se extiende sobre la superficie de la carga durante unos cinco minutos, luego se hace espeso con un fundente que tenga el punto de fusión más elevado, para retirarlo después con una cuchara. Para hacer más eficiente este método, el crisol se deberá de retirar antes de agregar el fundente, pero éste sólo se puede llevar a cabo con crisoles grandes, ya que los pequeños se enfrían rápi-

damente y por tanto se deberán mantener dentro del horno.

2.7.3 PRESOLIDIFICACION

La presolidificación se emplea algunas veces para reducir el contenido gaseoso en los metales que contienen mucho gas. El procedimiento es enfriar y solidificar muy lentamente el metal en el crisol, hay que evitar que la superficie solidifique, durante el enfriamiento la solubilidad del hidrógeno desciende casi a cero, si la superficie no se dejó solidificar, la mayor parte del gas se liberó, entonces se vuelve a fundir la carga y ésta deberá estar relativamente libre de gas. Para este tipo de tratamiento se recomiendan crisoles de hierro o de acero, puesto que los refractarios se pueden fisurar cuando se pretende fundir nuevamente la carga sólida.

2.8 VACIADO O COLADO

2.8.1 VACIADO EN ARENA

El moldeo en arena tiene la desventaja de proporcionar hidrógeno a la fundición, ya que es recomendable hacer el molde con arena verde, es decir, con humedad, ya que la solidificación es más rápida y mejora las propiedades del producto.

La arena para moldeo debe de cumplir con los siguientes requisi

tos:

- 1- Debe de ser lo suficientemente refractaria para resistir la temperatura del metal fundido.
- 2- Debe de contener el suficiente material aglomerante, para mantener la forma del molde, donde el material del aglomerante debe de ser refractario.
- 3- Debe de ser lo suficientemente permeable para permitir el escape de cualquier gas producido, durante el vaciado.

el tamaño del grano es muy importante, para pequeños vaciados - que no se maquinarán posteriormente. Se requiere de una arena de grano fino y así poder obtener un acabado terso, pero en vaciados grandes se requiere de arena con grano mucho mas grueso y así permitir - el escape de los gases que se puedan formar.

En general, los defectos en el vaciado en arena se presentan por fallas técnicas como lo pueden ser:

- 1- Mala práctica de la fusión
- 2- Mala práctica en el vertido
- 3- Moldeo pobre (arena de composición incorrecta ó en malas condiciones).
- 4- Diseño incorrecto del molde
- 5- Composición incorrecta del metal

Este tipo de moldeo tiene la gran ventaja de ser barato y fácil

de llevar a cabo.

2.8.2 COLADA ABAJA PRESION

En este tipo de colada el metal fundido se hace ascender por medio de una presión gaseosa pasando a través de un tubo para llenar el molde, el metal se enfria del interior del molde hacia el tubo y se solidifica manteniendo la presión y al eliminar ésta, el metal que sigue fundido en el tubo regresa al crisol este proceso se emplea principalmente para vaciar aluminio en moldes de yeso, hierro fundido y de acero.

La colada a baja presión constituye una etapa entre la colada atmosférica y la fundición a alta presión, y por tanto los costos del equipo, así como la tasa de producción se encuentra en la escala intermedia. Por este método se obtienen secciones moderadamente delgadas, el acabado superficial y los detalles son más o menos precisos.

2.8.3 COLADA A PRESION

En este tipo de coladas al metal fundido se le obliga a penetrar en un molde metálico, aplicando una presión considerable. Este procedimiento consiste en lanzar (empujar) el metal fundido a través de una canalleta, para llenar el molde. El metal es oprimido para llenar to--

des las hendiduras del molde, se mantiene la presión mientras se enfría, contando con respiraderos para el escape de los gases, para asegurar su uniformidad muchos moldes son enfriados con agua para acelerar el endurecimiento. Una vez que el metal se ha solidificado se abre el molde y se extrae la pieza. La fundición a presión, la utilizan en la industria de alta producción, para así amortizar el costo de los dados o moldes permanentes.

Las aleaciones más comunes fundidas por este método son: zinc, aluminio y magnesio. Las piezas fundidas de aluminio a presión ofrecen resistencia a la compresión, alta estabilidad, resistencia a la corrosión y operación dentro de una amplia escala de temperaturas.

2.84 COLADA EN MOLDE PERMANENTE

Cuando un metal fundido se cuela en moldes metálicos y se somete únicamente al efecto de presión atmosférica, se le conoce como colada en molde metálico.

El molde se fabrica en dos o más partes para facilitar la extracción de la pieza vaciada cuando se solidifica, manteniéndose unido durante el vaciado y solidificado. Los materiales usados para este tipo de moldes son principalmente aleaciones de: plomo, zinc, aluminio, magnesio y ciertos tipos de bronce, mientras las aleaciones que contienen un alto coeficiente de contracción producen grietas en

la pieza obtenida

La mayoría de los moldes permanentes están hechos de una aleación de hierro, teniendo una buena resistencia al calor como a los cambios repentinos de temperatura, los moldes se pintan con una lechada refractaria adhesiva, constituida básicamente de grafito, caolín, yeso o blanco de España esto para evitar la adhesión de las piezas al molde, así como hacer la extracción de la pieza más fácil y alargar la vida útil del molde.

Este tipo de vaciado produce una estructura superior a la de un vaciado en arena, debido a la velocidad de solidificación resulta un grano muy fino, lo que a su vez conduce a una resistencia más alta y una precisión mayor en sus dimensiones, lo que da un menor costo en el maquinado. El vaciado se hace en forma generalmente manual.

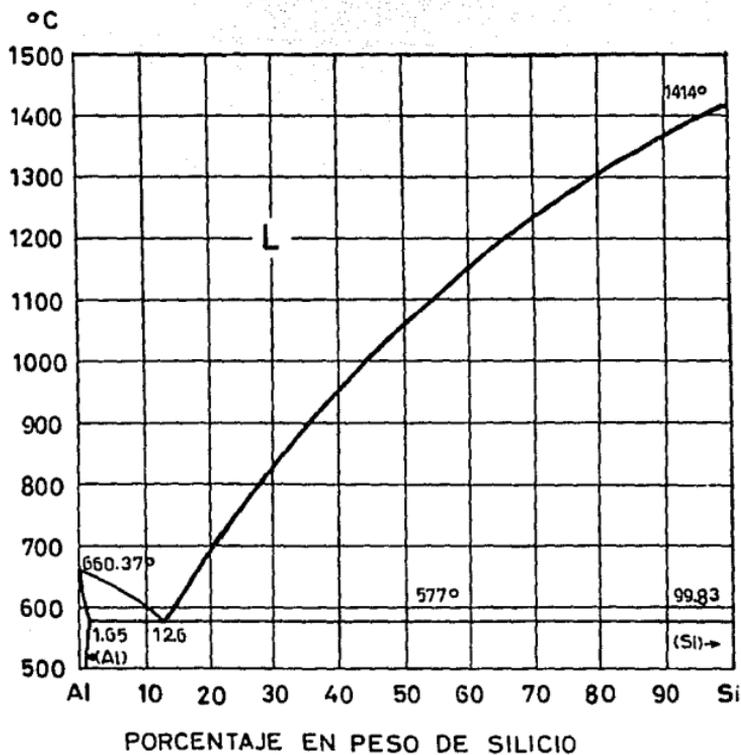
Los moldes permanentes (metálicos), tienen un costo alto, en comparación con algunos moldes pequeños en arena, entonces sólo se recomienda si se van hacer un gran número de vaciados para poder así amortizar el costo del molde.

2.8.5 COLADA POR CENTRIFUGACION

El vaciado por fuerza centrífuga se hace cuando el metal fundido está en un molde rotatorio. La fuerza centrífuga origina una pre-

sión muy superior a la de la gravedad, obligando al metal a entrar en el molde, así como en sus secciones delgadas. Este método produce piezas vaciadas con dimensiones precisas y de buena calidad, así como también se economiza material, obteniéndose una estructura de grano fino con propiedades altas y uniformes, teniendo detalles superficiales finos en el exterior.

Todas las aleaciones comunes pueden ser coladas por fuerza centrífuga en moldes refractarios ó metálicos (permanentes), según sea la aleación y forma del molde.



TOMADO DEL METAL HANDBOOK OCTAVA EDICION

Parte	Cantidad	Designación	Material	Observaciones
Fecha: 17-VI-93		UNAM FES-C		Proy. J.A.MTZ. G.
Referencia:				Dir. J.A.MTZ. G.
Acot		SOLIDIFICACION		Rev. A.HERRERA
	Esc.	BAJO PRESION		No. 2.1

3.0 ESTRUCTURA DE FUNDICION

Al solidificarse un metal cada cristal comienza a formarse independientemente en un nucleo o centro de cristalización. El cristal empieza a crecer por adición de átomos y rápidamente comienza a tomar proporciones visibles y a esto es a lo que se le llaman "DENDRITAS" Esta es una especie de esqueleto de cristal, o bien de un tronco del cual parten ramas secundarias en diferentes direcciones, de estas parten otras ramas terciarias. En los cristales metálicos las dendritas crecen conforme a un patrón rígido, debido a que el calor se disipa con mayor rapidez en un punto, siendo éste donde la temperatura desciende más rápidamente y por tanto tiene una forma alargada (fig. 3.1), las ramas dendríticas continúan creciendo y ensanchándose al mismo tiempo hasta que el sólido llene el espacio que hay entre ellas. Mientras tanto, las ramas dendríticas exteriores empiezan a hacer contacto con otras ramas que se han desarrollado independientemente al mismo tiempo. La dirección de todos estos cristales es diferente, debido a su crecimiento independiente.

Cuando empieza el contacto entre las ramas, termina el crecimiento de éstas y empieza a aumentar el espesor de las ramas dendríticas existentes, complementándose así la solidificación.

En los metales puros no podemos notar muy bien las dendritas, debido a que todos los átomos son idénticos. Con respecto a los meta

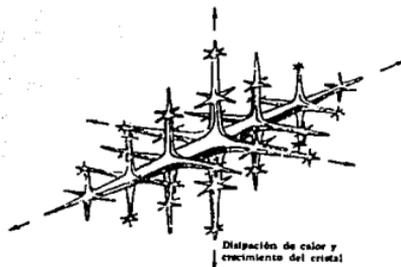


Figura 3.1 Etapas iniciales en el crecimiento de las dendritas metálicas

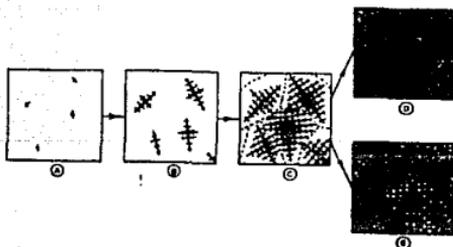


Figura 3.2 Crecimiento dendrítico de los cristales metálicos, partiendo del estado líquido.

Metal sólido puro (D)

Metal sólido impuro (E)

los impuros, son sus impurezas las últimas en solidificar y por tanto se encuentran entre las ramas dendríticas (fig. 3.2).

3.1 POROSIDAD INTERDENDRITICA

Se presenta cuando el metal se enfría demasiado rápido y durante la solidificación el metal fundido no puede alimentar los espacios interdendríticos, debido al rechazo que acompaña el enfriamiento, estos espacios permanecen como cavidades (porosidad) en el contorno de las dendritas sólidas (en los extremos de los cristales) (fig. 3.3A).

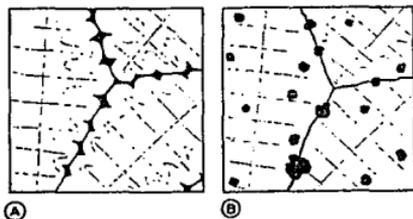


Figura 3.3 Porosidad de los metales vaciados
(A) Porosidad interdendrítica (cavidades de rechazo)
(B) Porosidad gaseosa (burbujas)

3.2 BURBUJAS

Estas se forman a causa de los gases de combustión que se encuentran en los hornos y se disuelven en el metal durante la fundición, pero como el gas disuelto en el metal fundido es menos soluble en el metal sólido. Al solidificar el metal y formarse las dendritas se van expulsando las burbujas de gas de la solución, pero éstas ya no llegan a la superficie, quedando atrapadas en los brazos dendríticos, su forma es irregular, presentándose en cualquier punto de la estructura cristalina. (fig. 3.3B)

La mayor parte de las aleaciones de aluminio son susceptibles a este tipo de porosidad (burbujas), causadas principalmente por el hidrogeno disuelto con otros gases en el interior del horno.

3.3 ESTRUCTURA DE GRANO

El enfriamiento rápido del metal fundido da como resultado la formación de un numero grande de núcleos y por consecuencia los cristales serán pequeños. Mientras en el caso contrario el enfriamiento lento da como resultado un número reducido de formación de núcleos, y como consecuencia los cristales serán muy grandes. Lo anterior da lugar a una estructura de grano fino en el primer caso, mientras en el segundo caso será de grano grande. Como ejemplo de estos casos, el vaciado en molde metálico a presión dará como resultado una estructura

tura de grano fino, en tanto el vaciado en arena da como resultado una estructura con grano considerablemente más grande.

Generalmente se presentan tres tipos de estructuras cristalinas en un lingote, en tres zonas localizadas respectivamente como se aprecia en la fig. 3.4.

3.4 SEPARACION DE IMPUREZAS (SEGREGACION DE IMPUREZAS)

Las primeras dendritas que se forman, son casi de metal puro, esto hace que las impurezas se concentren en el líquido restante progresivamente, y por tanto el metal que se solidifica al final contenga el mayor porcentaje de impurezas, localizadas éstas en los extremos de los cristales a este defecto se le conoce como segregación menor. (fig. 3.5)

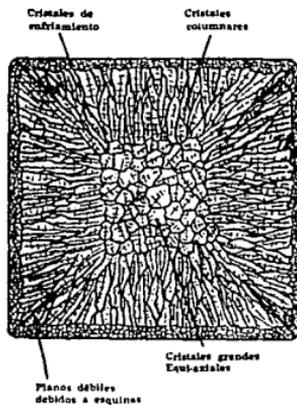


Fig. 3.4 Estructura cristalina de un lingote



Las impurezas se agregan en los límites de los cristales

Fig. 3.5 Separación de impurezas

4.0 FORMACION DE ALEACIONES

Cuando se requiere de una alta conductividad eléctrica, alta ductilidad ó una buena resistencia a la corrosión, se usan metales en su forma más pura, ahora bien, si se requiere una buena resistencia a la tensión, y de una buena dureza, los metales se mejoran con una selección adecuada.

Para obtener una aleación metalúrgicamente útil, sólo se logra cuando los dos metales de la aleación son completamente solubles entre si en estado líquido, para obtener así una solución líquida completamente homogénea. Al solidificar esta solución, se encuentra presente una de las siguientes condiciones:

- A) La solución termina y los dos metales que son mutuamente solubles en estado líquido, se vuelven totalmente insolubles en estado sólido, por lo tanto al solidificar se separan como partículas de dos metales puros.
- B) La solubilidad que prevalece en estado líquido, puede retenerse, ya sea completa ó parcialmente, en estado sólido, dando lugar a lo que se le conoce como una "solución sólida"
- C) Los dos metales reaccionan químicamente, durante la solidificación, dando lugar a lo que se le conoce como un "compuesto intermetálico".

4.1 FASES

A cualquiera de las condiciones que se presentaron en los tres casos anteriores se les conoce como "fase". Una fase puede ser un metal puro, una solución sólida o un compuesto intermetálico.

En una aleación binaria sólida, no pueden coexistir más de dos fases, así pues, una aleación binaria puede estar formada por:

- A) Dos metales puros, existen en la estructura en forma separada. Esta condición es muy rara, ya que en la mayoría de las aleaciones, existe una ligera solubilidad de un metal en el otro.
- B) Una solución sólida completa de un metal en el otro.
- C) Una mezcla de dos soluciones sólidas, si los metales son sólo parcialmente solubles entre sí.
- D) Un compuesto intermetálico puro.
- E) Una solución sólida y un compuesto

Consideramos a continuación la naturaleza de las fases y estructuras.

4.1.1 FASE EUTECTICA

Cuando dos metales son completamente solubles en estado líquido, pero completamente insolubles en estado sólido, al solidificarse lo hace en forma de láminas de cristales alternos, (similar al triplay) y recibe el nombre de fase "eutéctica".

En una fase eutéctica de dos metales puros, no existe la posibilidad alguna de solución, las laminillas que forman la fase eutéctica, se puede ver claramente en el microscopio, como partes separadas. La formación de la fase eutéctica es por lo tanto la insolubilidad al solidificar la aleación.

Si dos metales son parcialmente solubles entre si en estado sólido, se puede obtener una fase eutéctica al solidificar, pero aquí las laminillas alternas serán de soluciones sólidas saturadas. Esto es una capa consistirá de metal 'A' saturado con metal 'B' y la otra capa de metal 'B' saturado con metal 'A' o más claro aún, una capa rica de metal 'A' y otra rica de metal 'B'.

Cuando una solución sólida se ha formado ya de una aleación, y se transforma a una temperatura más baja en un tipo de estructura eutéctica, se le llama eutectoide.

4.1.2 SOLUCION SOLIDA

Una solución sólida se forma cuando dos metales que son mutuamente solubles en estado líquido, permanecen disueltos después de la cristalización. Si se examina la estructura resultante en el microscopio, se observarán cristales consistentes en una solución sólida homogénea de un metal en el otro y si los metales son completamente solubles entre sí, solo existirán cristales de un solo tipo.

4.1.3 COMPUESTOS INTERMETALICOS

Al combinarse dos metales químicamente, se forma lo que se conoce como compuesto intermetálico. Es fácil de detectar al observar la microestructura, ya que el color es totalmente diferente en ambos metales originales, mientras en las soluciones sólidas, se presenta una mezcla de los colores originales, los compuestos intermetálicos pueden ser de dos tipos:

4.1.3.1 COMPUESTO DE VALENCIA NORMAL

Este se forma cuando un componente tiene propiedades químicas que son fuertemente metálicas. Esto es que el compuesto obedece a -- las leyes de valencia normal. Frecuentemente el compuesto resultante tiene un punto de fusión más alto que cualquiera de los componentes originales.

4.1.3.2 COMPUESTO ELECTRONICO

Estos no obedecen las leyes de valencia normal, pero en muchos casos existe una relación fija, entre el número total de electrones de valencia normal de todos los átomos en cuestión y el número total de átomos en una molécula del compuesto intermetálico de -- que se trate.

Los compuestos intermetálicos son resistentes al desgaste y - baja fricción, pero son extremadamente duros y por lo tanto muy frágiles y con frecuencia pueden pulverizarse.

5.0 ALEACIONES DE ALUMINIO DE USO EN INGENIERIA

5.1 A continuaci3n se har3 menci3n de algunas aleaciones forjadas de aluminio, sin tratamiento t3rmico, as3 como sus aplicacio-- nes. Las aleaciones estar3n dadas segun los standares de la -- "SAE"

1010. Productos huecos, conductores el3ctricos, productos para la industria qu3mica, alimenticias y cerveceras.

3005. Cajas met3licas, recipientes dom3sticos e industriales - para alimentos, utensilios de cocina, laminas para techos.

5052. Botes salvavidas, alambre para cercado, tableros expues- tos a la atm3sfera marina

5086. Prensado profundo para carrocer3as de barcos.

5083. Construcciones de barcos, remaches y cuando se requieren de altas resistencias mec3nicas, as3 como a la corrosi3n.

4043. Alambre y varillas de soldar.

4045. Alambre para soldar, l3minas para construcciones marinas ligeras.

5082. Soportes en minas, otras aplicaciones que requieren resistencia mecánica y a la corrosión.

5.2 ALEACIONES DE ALUMINIO VACIADAS SIN TRATAMIENTO TERMICO

213. Vaciado por gravedad, partes sometidas a esfuerzos ligeros y no sujetas a impacto.

413. Vaciado en arena, vaciado en moldes permanentes por gravedad y a presión, buenas características de fundición y barato.

511. Vaciados en arena y en moldes permanentes por gravedad. Adecuado para partes esforzadas moderadamente, buena resistencia a la corrosión y al trabajo marino.

336. Vaciados en arena y en moldes permanentes por gravedad, - el níquel aumenta la resistencia a cualquier temperatura hasta 200°C.

222. Vaciado por gravedad en arena y moldes permanentes, conserva la resistencia hasta temperaturas de 300°C, su uso más común es el de pistones de servicio ligero.

443. Vaciado por gravedad en arena y moldes permanentes, usado en trabajos arquitectónicos, así como ornamentales.

5.3 ALGUNAS ALEACIONES FORJADAS DE ALUMINIO TRATADAS TERMICAMENTE

5005. Tratado en solución a 520°C , templado y endurecido por -- precipitación a 170°C por 10 horas. Buena resistencia a la corrosión, perfiles para cristales y secciones de ventanas.

6066. Tratado por solución a 525°C , templado y endurecido por - precipitación a 170°C , por 10 horas. Miembros estructurales para vehículos aéreos y terrestres, muebles tubulares.

2014. Tratado por solución a 530°C , templado y endurecido por - precipitación a 170°C de 10 a 20 horas. Forjado de tornillos -- aéreos, láminas y tubos.

2117. Tratado por solución a 495°C , templado y envejecido a tem peratura ambiente por 5 días. Aplicaciones generales, partes es forzadas en estructuras aéreas.

2014. Tratado por solución a 480°C , templado y envejecido a tem peratura ambiente por 4 días. Aplicaciones generales, partes es forzadas en estructuras aéreas.

2025. Tratado por solución a 510°C , templado y endurecido por - precipitación a 170°C por 10 horas. Componentes altamente esfor zados en aeronautica, partes de máquinas como manivelas.

4032. Tratado por solución a 490°C por 12 horas, templado y endurecido por precipitación a 130°C por 6 horas. Componentes - que operan a altas temperaturas.

3004. Tratado por solución a 520°C , templado y endurecido por precipitación a 170°C por 10 horas. Placas, barras, tableros - para carrocería para automóviles y vehículos de riel.

7075. Tratado por solución a 465°C , templado y endurecido por precipitación a 120°C por 24 horas. Cubiertas y estructuras de aviones.

7001. Tratado por solución a 465°C , templado y endurecido por precipitación a 120°C por 24 horas. Componentes de avión altamente esforzados, esta es la aleación de aluminio más resistente que se produce comercialmente.

5.4 ALGUNAS ALEACIONES DE ALUMINIO TRATADAS TERMICAMENTE

443. Tratado por solución a 520°C por 6 horas, templado en agua caliente o aceite, endurecido por precipitación a 170°C por 12 horas. Aplicaciones generales, resiste esfuerzos moderados, impacto y presión hidráulica.

355. Tratado por solución a 530°C durante 4 - 12 horas, templado en aceite, endurecido por precipitación a 165°C por 8 - 12 horas. Buenas propiedades de vaciado y resistencia a la corrosión.

369. Tratado por solución a 425°C durante 8 horas, enfriado a 390°C y luego templado en aceite a 160°C o en agua hirviendo. Alta resistencia a la tensión y porcentaje de alargamiento, alta resistencia a la corrosión.

202. Tratado por solución a 525°C por 12 horas, templado en aceite, endurecido por precipitación a $120 - 170^{\circ}\text{C}$ por 6 - 18 horas. Buena ductilidad y resistencia al impacto.

339. Tratado por solución a 520°C durante 4 - 12 horas, templado en aceite, endurecido por precipitación a $165 - 185^{\circ}\text{C}$ durante 6 - 12 horas. Se usa para rístones de máquinas.

243. Tratado por solución a 510°C, endurecido por precipitación en agua hirviendo durante 2 horas, envejecido a temperatura ambiente por 5 días. Pistones y cabezas de cilindros para máquinas enfriadas por líquido o aire.

222. Tratada por solución a 520°C durante 4 - 8 horas, templado en aceite, endurecido por precipitación a 200°C por 4 horas. -- pistones para motores de servicio moderado, también cuando se necesita resistencia al ataque de ácidos grasos.

6.0 PROPIEDADES MECANICAS

Antes de estudiar los métodos de las pruebas mecánicas mencionaremos la naturaleza de las siguientes propiedades:

DUCTILIDAD: Capacidad que tiene un material para sufrir deformación plástica sin fractura, cuando está sujeta a una tensión (por ejemplo estirado de alambre o de tubo).

MALEABILIDAD: Capacidad que presenta un material para soportar deformación sin rotura, cuando está sujeta a compresión (por ejemplo forjado o laminado).

TENACIDAD: Capacidad que presente un material para resistir doblaje o aplicación de esfuerzos cortantes sin fractura.

Debido a que estas tres propiedades no pueden ser expresadas en términos numéricos, de una manera sencilla ha sido necesario introducir ciertas pruebas mecánicas, basadas en las propiedades antes mencionadas, haciendo posible una interpretación numérica comparativa. Estas pruebas son más conocidas como ensayos de tensión, de dureza y de impacto.

6.1 ENSAYO DE TRACCION O DE TENSION

Esta prueba es muy útil y de las más utilizadas para saber las propiedades mecánicas de los materiales. Consiste en someter una probeta de un determinado material, maquinada o en sección completa a un esfuerzo de tensión creciente, aplicado axialmente, hasta causarle la ruptura. Obteniendo así un diagrama de esfuerzo deformación como se ilustra en la figura 6.1

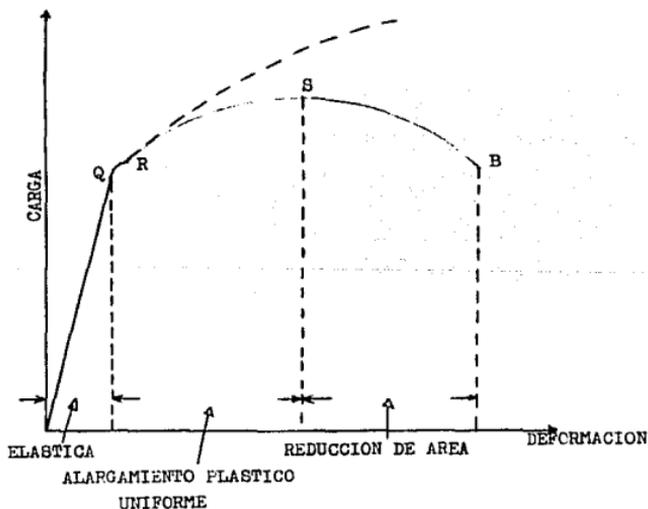


Figura 6.1 Diagrama carga/deformación, obtenida para un material dúctil como el acero dulce en la condición blanda

La parte inicial (recta) del diagrama nos indica que la deformación producida es directamente proporcional a la carga aplicada, obedeciendo por lo tanto a la ley de "HOOKE", la cual indica que para un cuerpo elástico, la deformación producida es proporcional al esfuerzo aplicado. Por lo tanto, la relación esfuerzo/deformación es constante conocida generalmente como módulo elástico de "YOUNG" (E).

Si en un punto cualquiera de la parte recta de la curva, se retira la carga y la probeta regresa a su longitud inicial u original, se dice que la deformación a sido totalmente "elástica"

Al aumentar la carga, se llega eventualmente al punto Q en el cual la curva comienza a desviarse de la línea recta y si la carga se retira en este momento o hasta antes de la ruptura, la probeta ya no regresará a su longitud original, sino que se encontrará que habrá adquirido un pequeño alargamiento plástico o deformación permanente. Al punto Q se le conoce como límite de proporcionalidad, si la carga sigue aumentando se llega al punto R o punto de cedencia, donde hay un alargamiento rápido sin aumento de carga, del punto R en adelante la deformación es plástica, inicialmente en forma uniforme, en toda su longitud y finalmente en forma local, formando un cuello hasta la fractura de la probeta.

En el diagrama observamos que al aproximarse al punto de ruptura la carga se va reduciendo, pero esto es natural, ya que el diame--

tro de la probeta se va reduciendo. Pero estos tipos de diagramas -- son muy especiales y en los más comunes no se muestra un límite elástico definido, ni un punto de cedencia, así pues obtenemos diagramas como el de la fig. N° 6.2

Del ensayo de tensión, se obtienen cuatro resultados básicos:

6.1.1 RESISTENCIA A LA TENSION (\sqrt{m})

Es el máximo esfuerzo de tensión que un material es capaz de soportar. Se determina con la carga máxima de una prueba de tensión -- llevada hasta la ruptura y con el área de sección transversal original de la probeta, por tanto tenemos que la tensión máxima (ingenieril) es igual a la carga máxima entre el área original = P/A_0 [N/M^2]

6.1.2 TENSION DE CEDENCIA AL 0.2% ($\sqrt{0.2\%}$)

Es el primer esfuerzo detectable en el que ocurre un aumento -- en la deformación, sin que se aprecie un aumento considerable en el esfuerzo. Como en la mayoría de los diagramas no se aprecia este punto claramente, entonces se traza una línea paralela (B,C) a la línea de proporcionalidad, siendo el punto 'B' 0.2% * de la deformación y donde corta a la curva (C) va a corresponder al esfuerzo de cedencia del 0.2%.

$$\sqrt{0.2\%} = \text{CARGA AL 0.2\%} / \text{AREA ORIGINAL} = P_{0.2\%} / A_0 \quad [N / M^2]$$

En algunos materiales en los cuales se puede tolerar menos de formación plástica se fija un límite de fluencia o de cedencia convencional del 0.1% o menor. En materiales como el cobre, aluminio, magnesio, la grafica esfuerzo-deformación la línea comienza a curvarse a esfuerzos bajos, para estos casos el límite de fluencia se calcula al 0.5%.

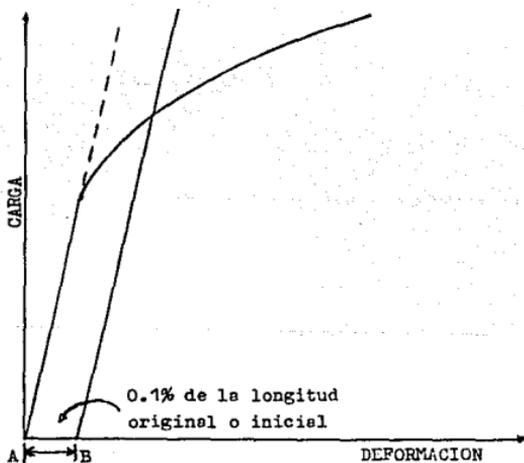


Figura 6.2 Método utilizado para obtener el esfuerzo de cedencia del 0.1%

6.1.3 ELONGACION (ϵ) (DUCTILIDAD INGENIERIL)

Es el incremento en la longitud entre dos marcas impresas en una probeta antes del ensayo, equidistantes de su centro y expresado en porcentaje de la distancia inicial.

$$\epsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100 \text{ [\%]}$$

L_o - LONGITUD INICIAL
 L_f - LONGITUD FINAL

6.1.4 REDUCCION DE AREA

Es la diferencia entre la sección transversal inicial de una probeta para ensayo de tensión y el área de la sección transversal mínima después de la prueba. La reducción de área se expresa en porcentaje.

$$RA = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100 \text{ [\%]}$$

A_o - AREA ORIGINAL
 A_f - AREA FINAL

6.2 DUREZA

Usualmente se define como la resistencia de un material a la penetración. La dureza por indentación se puede medir por medio del ensayo de dureza: VICKERS, BRINELL y ROCKELL, estos tres tipos de ensayo tienen el mismo principio, se coloca en una prensa la probeta con la superficie superior plana y se presiona dicha superficie aplicando una carga fija, según sea el caso del indentador usado, el cual dejará una huella en la probeta.

6.2.1 DUREZA BRINELL (BHN)

Para el número de dureza Brinell la carga se aplica durante 30 segundos, retirando el indentador posteriormente, el diámetro de la impresión se lee en milímetros, para calcular la dureza por medio de la siguiente fórmula.

$$HB = \frac{L}{(\pi D/2) (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

L - CARGA EN KILOGRAMOS (P)

D - DIAMETRO DEL IDENTADOR EN MILIMETROS

d - DIAMETRO DE LA HUELLA EN MILIMETROS

O bien, directamente en tablas con 'D', 'd' y 'P' como datos.

Para este tipo de ensayos se toma en cuenta la relación F/D^2 -

con objeto de tener resultados precisos y comprobables, también hay que tomar en cuenta el espesor de la muestra, el cual debere ser -- siete veces la profundidad de la huella para aleaciones duras y -- quince veces para aleaciones blandas.

6.2.2 DUREZA VICKERS (VHN)

Se usa un indentador piramidal de base cuadrada de diamante, - con esto eliminamos la necesidad de tomar en cuenta la relación P/D^2 pero con respecto al espesor hay que asegurarse de que sea lo suficientemente grueso para soportar la presión y la profundidad de la impresión.

Para determinar la dureza Vickers, se mide la diagonal de la huella cuadrada y con esta dimensión se va directamente a tablas. - Con este tipo de ensayos tenemos las siguientes ventajas en comparación con la dureza Brinell, las cargas son menores, tiene gran capacidad para durezas muy elevadas, así como la medición en zonas pequeñas.

6.2.3 DUREZA ROCKWELL (R_A , R_B , ... ETC.)

La principal y gran ventaja de este tipo de ensayos, es que - la dureza se lee directamente en una escala (analoga o digital) y - el ensayo es en si más rápido que los anteriores.

La dureza tipo Rockwell, cuenta con tres indentadores diferentes. Para las escalas A, C y D, se utiliza un cono de diamante y cargas de 60, 150 y 100 kilogramos respectivamente. Para las escalas B, F, y G se utiliza una bola de acero de $1/16$ de pulgada de diámetro y cargas de 100, 60 y 150 kilogramos respectivamente y para la escala E una bola de acero de $1/8$ de pulgada de diámetro, con carga de 100 kilogramos.

7.0 METALOGRAFIA

7.1 EXAMEN MICROSCOPICO

Al preparar una muestra para su examen microscópico, se necesita producir una superficie plana y libre de rayaduras para poder ser observadas al microscopio. Esto es la superficie debe de esmerilarse hasta dejarla plana, para luego pulirla y eliminar las rayaduras del esmerilado, para revelar la estructura cristalina, es necesario atacar la probeta con un reactivo adecuado (según el material que se esté estudiando).

7.1.1 SELECCION DE LA PROBETA

El tamaño de la probeta debe de ser aproximadamente de 2 cm -- de diametro ó 2 cm por lado en caso de que sea cuadrada, para poder ser manejables. Las muestras pequeñas deben de ser montadas para poderlas trabajar, con mayor facilidad. Las muestras deben de ser del área que se desee analizar de la pieza determinada, ó bien donde se encuentre el defecto ó falla de algún metal.

7.1.2 MONTAJE

El montaje se puede hacer fácilmente, colocando la probeta sobre una superficie plana, colocando un anillo de plástico de aproximadamente 2 cm de longitud y sellándolo a la superficie se veces al-

gún material, de manera que la probeta quede incrustada en éste para su mayor manipulación. Es recomendable que el montaje se haga con baquelita ó algun material termoplástico, ya que estas sustancias se --moldean a 150°C y no afecta a la estructura de la probeta. Aún más, -hay sustancias que se moldean a temperatura ambiente. Para estos dos últimos tipos de sustancias sólo se necesita de un pequeño molde y -de una prensa para hacer el montaje simétrico (caras paralelas).

7.1.3 REBAJADO y PULIDO DE LA PRBETA

- 1- Se lima la probeta para eliminar las marcas de la siqueta, pa-rse posteriormente lavarla y eliminar las limaduras y así evi-tar la suciedad en el papel esmeril.

- 2- En seguida se pasa al rebajado con papel esmeril de granos progresivamente más finos, con el fin de ir eliminando las rayaduras dejadas por el papel esmeril anterior. Pasando la probeta longitudinalmente sobre el papel esmeril que debe de estar so-bre una superficie plana, y agregando agua como refrigerante -para evitar el calentamiento de la probeta e ir eliminando del papel los residuos del abrasivo y de la misma probeta. En cada cambio de papel se debe de lavar la probeta con agua corriente. así como de girarla 90° para poder eliminar las rayaduras ante-riores.

- 3- El punto dos se repite con cada cambio de papel hasta con el -

más fino con que se cuente.

- 4- El pulido se lleva a cabo en un plato giratorio o disco (pulidora), cubierto con un paño de billar (este tipo es el más recomendable), pero si este es nuevo, se aconseja hervirlo durante largo tiempo a manera de que se susvisen las fibras del mismo, y así obtener un mejor acabado de las probetas. El paño se coloca sobre el disco y se moja completamente con agua para luego agregar el pulidor, generalmente es slumina de 0.3 micras, se debe aplicar un goteo constante de agua al disco para llevar a cabo un mejor pulido, se recomienda que la velocidad del disco sea baja, así como hacer una ligera presión de la probeta sobre el disco.

- 5- El pulido acaba cuando la probeta después de ser lavada, y al observarla está libre de rayaduras o arañazos o bien cuando el acabado sea a espejo.

7.1.4 ATAQUE DE LA PROBETA

Antes de ser atacada la probeta debe de estar absolutamente -- limpia, ya que si no se mancharía durante el ataque. Casi todos los ataques fallidos son debidos a una mala limpieza, al permanecer una película de grasa. Estando ya limpia la superficie no debe de ser tocada con los dedos. La probeta se sumerge en un reactivo determinado

y para hacer un ataque adecuado al material, se agita vigorosamente durante varios segundos, para transferir la probeta inmediatamente a un chorro de agua corriente para eliminar el reactivo de la misma, - examinándola luego a simple vista, si el ataque se ha llevado satisfactoriamente la superficie aparecerá ligeramente opaca, si la superficie es brillante, puede ser necesario un ataque más prolongado. El tiempo de ataque varía según el material y el reactivo. El secado de la probeta se hace de manera uniforme y rápida para evitar que se -- manche.

7.1.5 MICROSCOPIO METALOGRAFICO

El microscopio metalográfico es similar a cualquier otro en -- cuanto a sus principios ópticos, pero su gran diferencia en comparación con los biológicos es su forma de iluminación mientras estos se iluminan en forma simple, con una fuente de luz atrás de la placa -- con la muestra, ya que es traslúcida, en los metalúrgicos la fuente de luz debe de estar dentro del tubo, ya que las muestras son opacas y su iluminación es por reflexión.

La intensidad de la luz (brillantes) la podemos variar por medio de un controlador de voltaje y el área iluminada por medio de un diafragma, si hay un exceso de iluminación habrá un deslumbramiento - en el campo de la visión.

Para enfocar la muestra, primero se ajusta con el tornillo macrométrico y luego con el micrométrico (ajuste fino). El sistema óptico consiste en dos lentes: el objetivo, con el cual se debe de resolver el detalle fino de la muestra que se examina y el ocular cuya finalidad es amplificar la imagen producida por el objetivo.

7.2 MACROEXAMEN

Con frecuencia se lleva a cabo este tipo de exámenes en la probeta para obtener información de la estructura sin utilizar el microscopio, ya que a simple vista o con pocos aumentos se puede determinar el tamaño de grano, el nivel de macro-porosidad, etcetera.

7.2.1 PREPARACION DE LA PROBETA PARA UN MACROEXAMEN

- 1- Se lleva a cabo el esmerilado y lijado fino, como en el caso de la microestructura.
- 2- No es necesario pulir la probeta, o bien, solo ligeramente.
- 3- La probeta se debe lavar muy bien para eliminar los residuos tanto de ésta como del abrasivo.
- 4- Se realiza el ataque con el reactivo adecuado, según sea la selección de la probeta (generalmente estos ataques son más pro-

longados en comparación con los de la microestructura).

- 5- Inmediatamente después se lava con agua corriente, para eliminar el reactivo de la probeta, para luego secarla en forma ordinaria y uniforme, quedando así lista para ser examinada.

SEGUNDA PARTE

TRABAJO EXPERIMENTAL

CUANDO LA LUNA AFARECIO,
LA MATERIA INCANDESCENTE FORMO
LOS SOLES Y LAS ESTRELLAS ...

8.0 PROCEDIMIENTO DE FUNDICION DE LA ALEACION

Se cortó en pequeños pedazos un lingote de aluminio (aleación 356), cuya carga para el crisol de alumina fue aproximadamente de -- 200 gramos. Fundiéndose en un horno de ladrillo refractario, por medio de la combustión de propano, para elevar luego la temperatura en tre 715 a 725°C, ver figuras 8.1 y 8.2. La temperatura se midió utilizando un controlador de temperaturas digital con su termopar.

8.1 DISEÑO DEL MOLDE

Teniendo en cuenta que se debía aplicar una presión y luego sa car la probeta del molde, se decidió hacer un molde metálico (permanente), que fuera desarmable para su mejor manejo y así poder extraer más fácilmente la probeta, solamente golpeando el pivote o botador, quedando el diseño como se muestra en las figuras 8.4 y 8.5

8.2 DISEÑO DEL PUNZON Y EXTENSION DEL VÍSTAGO DE LA PRENSA

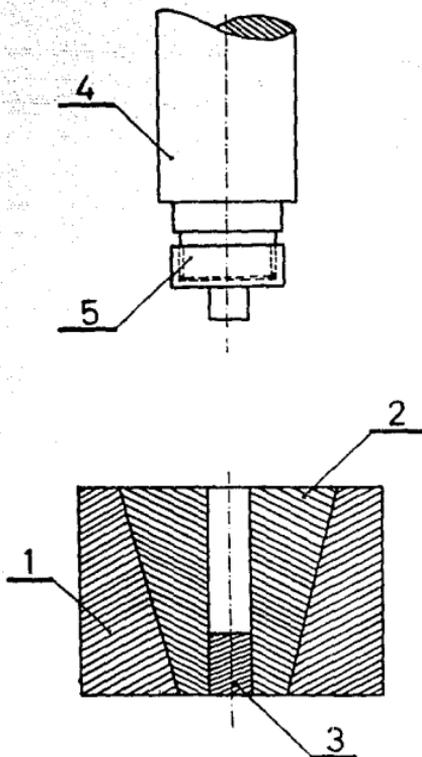
Para poder aplicar la presión en la prensa, fue necesario dise ñar un punzón con las dimensiones acordes al molde, asimismo se dise ñó una extensión del vástago de la prensa para protección del mismo debido al calor del molde y de la fundición, quedando los diseños co mo se muestran en las figuras 8.6 y 8.7



Figura 8.1 En primer plano se puede observar el horno de fundición de ladrillo refractario y en segundo plano el tanque de gas propano.

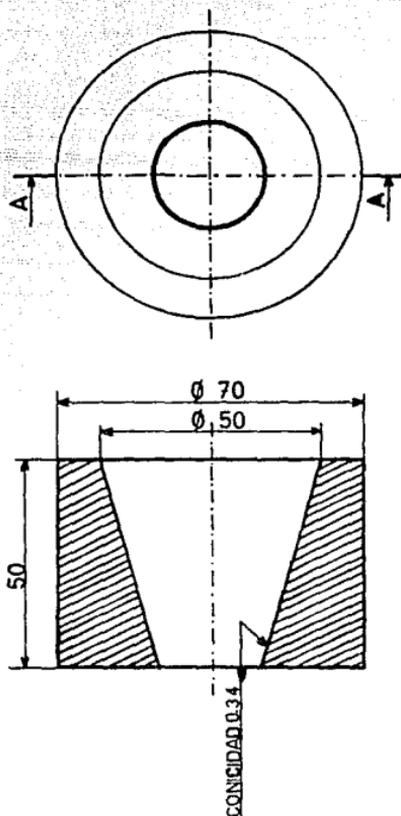


Figura 8.2 Vista superior del horno de fundición y donde se puede ver el crisol de alumina en su interior

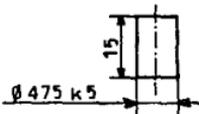
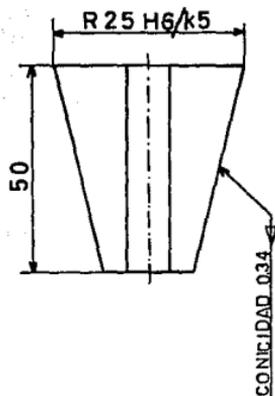
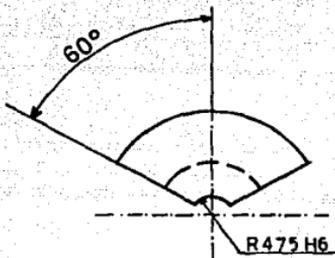


C O N J U N T O				
Parte	Cantidad	Designación	Material	Observaciones
Fecha:	6-V-1993	UNAM FES-C		Proy. J. A. MTZ.G.
Referencia:				Dib. J. A. MTZ.G.
Acot.		SOLIDIFICACION		Rev. A. HERRERA
			BAJO PRESION	No.8.3

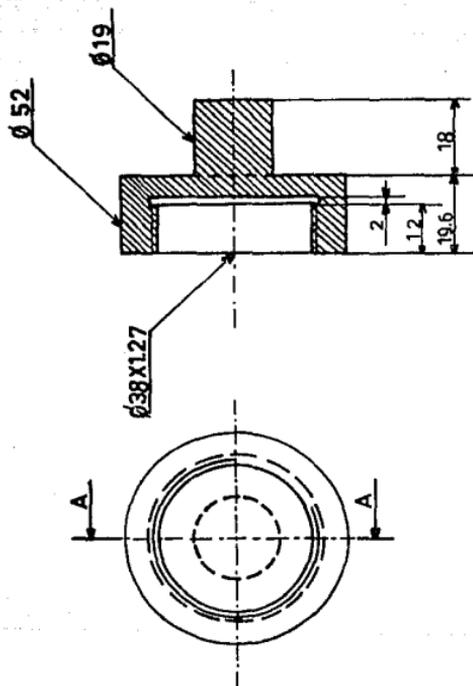




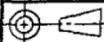
1	1	SOPORTE	ACERO	1020
Parte	Cantidad	Designación	Material	Observaciones
Fecha	6-V-93	UNAM FES-C	SOLIDIFICACION BAJO PRESION	Proy. J. A. MTZ. G.
Referencia				Dib. J. A. MTZ. G.
Acot	MM			Rev. A. HERRERA
	Esc. 1:2			No. 8.4

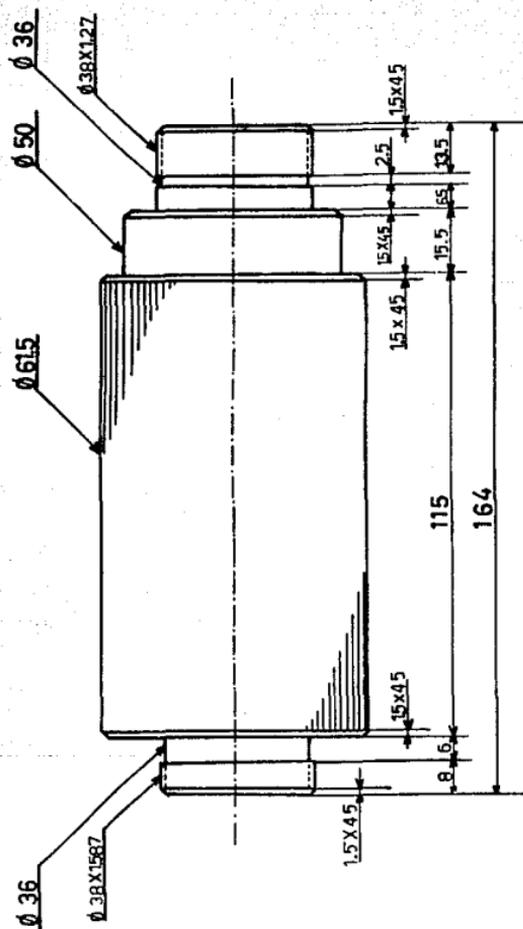


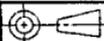
3	1	BOTADOR	ACERO	INOX 304
2	3	CUNA	ACERO	1020
Parte	Cantidad	Designación	Material	Observaciones
Fecha	6-V-93	UNAM FES-C	Proy. J. A. MTZ. G.	
Referencia:			Dib. J. A. MTZ. G.	
Acot.	MM	SOLIDIFICACION	Rev. A. HERRERA	
	Esc.: 1:2	BAJO PRESION	No. 8.5	



CORTEA-A

5	1	PUNZON	ACERO	1020
Parte	Cantidad	Designación	Material	Observaciones
Fecha: 6-V-93		UNAM FES-C		Proy. J.A. MTZ. G.
Referenci.			Dib. J.A. MTZ. G.	
Acot.: MM		SOLIDIFICACION BAJO PRESION		Rev. A. HERRERA
 Esc.: 1:1			No. 8.6	



4	1	EXTENSION	ACERO	1020
Parte	Cantidad	Designación	Material	Observaciones
Fecha: 6-V-93		UNAM FES-C		Proy. J. A. MTZ. G.
Referencia			Dib. J. A. MTZ. G.	
Acol. MM			Rev. A. HERRERA	
	Esc 1:1	SOLIDIFICACION BAJO PRESION	No. 8.7	

8.3 PROCEDIMIENTO DE VACIADO Y APLICACION DE LA PRESION

Inicialmente, una vez fundida la aleación utilizando un horno tipo crisol calentado por gas hasta una temperatura de 720°C , se vació ésta al molde metálico que había sido pre-calentado a una temperatura aproximada de 300°C en un horno tipo mufla, sin embargo, debido a las altas pérdidas de calor del molde metálico una vez que era colocado para el experimento originaba una rápida solidificación de la aleación, no dando tiempo a la aplicación de la presión se decidió diseñar y construir un horno de pre-calentamiento del molde, tal que en la misma prensa pudiera ser colocado.

8.4 DISEÑO DEL HORNO DE PRE-CALENTAMIENTO

Para poder elevar la temperatura del molde evitando la solidificación casi instantánea, se diseñó un pequeño horno eléctrico o de resistencias, las cuales fueron hechas de alambre tipo NICROMEL, teniendo este horno una coraza exterior metálica para poder manipularlo a la hora de colocarlo y retirarlo de la prensa.

Según se aprecia en la figura 8.9 se acoplaron dos ladrillos en cada parte de la coraza metálica, estas se unieron luego por medio de una bisagra, para quedar así el horno en forma cuadrada y por lo tanto envolver al molde metálico (figura 8.10)

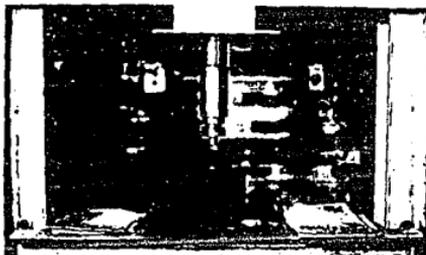


Figura 8.8 Molde metálico alineado con el punzón en la prensa hidráulica

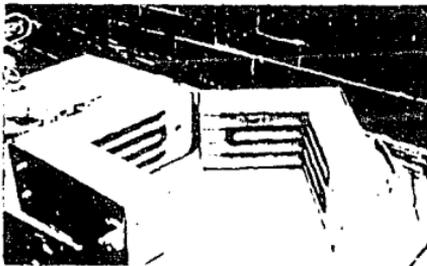


Figura 8.9 Horno eléctrico para el pre-calentamiento del molde metálico

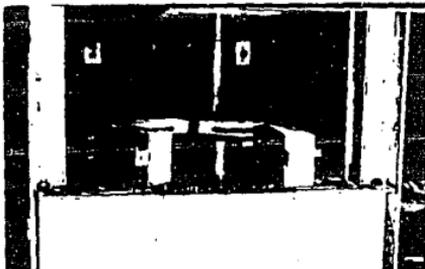


Figura 8.10 Horno de pre-calentamiento abierto para poder apreciar su posición en la prensa

Se determino calentar el molde a 300°C y para evitar la adhesión de la probeta con el molde y hacer más fácil la extracción de la misma, se aplico una pintura a base de grafito en el área de contacto del molde con la aleación, así como en el área del punzon que tuvo contacto al aplicar la presión.

Ahora sí, contando con todos los elementos para la fundición, vaciado y aplicación de la presión se llevaron a cabo los experimentos.

Se alineó el molde con el punzón en la prensa y se calentó a 300°C . La aleación se fundio, para luego elevar su temperatura entre $715 - 725^{\circ}\text{C}$. Cumpliendo con los requisitos anteriores, se procedio a hacer el vaciado e inmediatamente después se aplico la presión manteniendola durante tres minutos, para evitar cualquier variación en la estructura de la probeta por falta de presión, posteriormente, se eliminó la presión para poder extraer la probeta lo más rápido posible y dejarla en contacto con el medio ambiente, hasta tomar la temperatura del mismo.

Se obtuvieron cinco probetas, por cada una de las seis diferentes presiones escogidas de entemano, dándonos un total de treinta.

8.5 ENSAYOS MECANICOS DESTRUCTIVOS

8.5.1 ENSAYO DE TRACCION O TENSION

Tres de las cinco probetas se usaron en ensayos de tracción para poder tener resultados de mayor confiabilidad, las probetas se maquinaron en torno, según las dimensiones de la figura 8.11

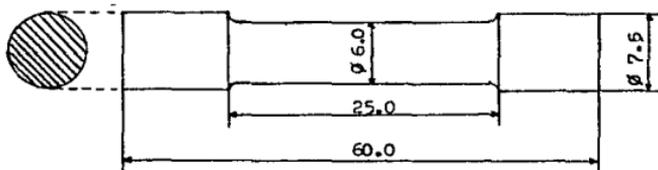


Figura 8.11 Dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción

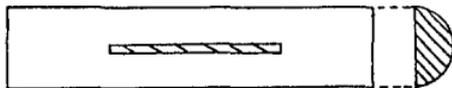
Sin escala
Acot. mm

Los ensayos de tracción se llevaron a cabo en una máquina INS--TRON modelo 1331 y un controlador-graficador 3116, la cual se encuentra en el anexo de la Facultad de Ingeniería, a una velocidad de 1 -- mm/minuto, tomando inmediatamente después de la ruptura el diámetro -- (inmediato) de ésta, para luego con este dimensión calcular la reducción de área, ya que si no se hace así, se sabe que hay una expansión mínima del material con lo cual nos variarían los resultados. Con la elongación no hay problema, ya que basándonos en la grafica, se obtuvo directamente la deformación longitudinal de la probeta entre dos --

puntos, (diferencia de longitudes). Para los datos de la resistencia a la tensión y para el límite de fluencia al 0.5% se toman directamente de la gráfica esfuerzo-deformación correspondiente a cada uno de los ensayos.

8.5.2 ENSAYO DE DUREZA

Para realizar este ensayo se cortó a segueta longitudinalmente una de las probetas restantes que se obtuvieron en la fundición (ver figura 8.12). Para luego emparejar la superficie con lija y dejarla plana sin rayaduras o huellas del corte. Primeramente se realizaron los ensayos con dureza Rockwell en la escala B, pero como el material es muy blando la escala no alcanzaba a medir la dureza y se cambió -- por la escala F, con un penetrador de $1/16$ de pulgada y una carga de 60 kilogramos, se llevaron a cabo 3 o 4 ensayos en el centro de cada una de las probetas, como se ve en la figura 8.12, con una separación de 0.5 cm entre cada ensayo, alineados longitudinalmente para luego calcular el promedio de dureza de cada una de las probetas. Para hacer una gráfica posterior de éstas contra la presión de solidificación.



Sin escala

Figura 8.12 Probeta fundida cortada longitudinalmente a la mitad, para llevar a cabo el ensayo de dureza sobre la superficie plana y en el área central.



Figura 8.13 Probetas maquinadas para el ensayo de tracción

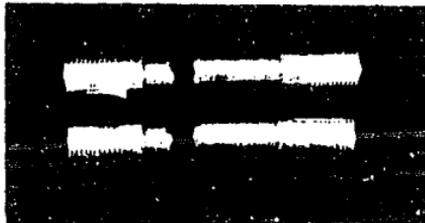


Figura 8.14 Probetas ya ensayadas, en las cuales se puede apreciar que el área de sujeción es más larga en comparación con las de la figura anterior, para su mejor agarre a la máquina

8.6 ANALISIS METALOGRAFICO

8.6.1 METALOGRAFIA DE LA PROBETA FUNDIDA

8.6.1.1 EXAMEN MICROSCOPICO

Se utilizaron las mitades de las probetas que ya teníamos cortadas, para su observación en el microscopio. Estas fueron preparadas utilizando un plato giratorio, con papeles abrasivos en secuencia de de g e n d i c e n d i e n t a m a n o d e t a m a n o d e g r a n o d e 180 a 1000, lubricándolo con agua -- constante, para evitar así el calentamiento de la probeta.

Pasando luego a otro plato giratorio (pulidora), pero ahora en vez de papel abrasivo, se utilizó un paño con pelo mediano (paño de - mesa de billar), el abrasivo fue alumina de 0.3 micras primeramente y 0.05 micras posteriormente, para el pulido de la probeta, hasta darle un acabado a espejo a la superficie, para luego lavar ésta con abundante agua para dejarla limpia de cualquier residuo del material de - pulido como de la probeta e inmediatamente después secarla.

El microataque se realizó a cada una de las probetas con un -- reactivo químico de nombre FERRYMAN, cuya composición es: 45 ml de - HNO_3 (concentrado), 5 ml de HF (concentrado) y 50 ml de H_2O , se le - aplico a las probetas preparadas por medio de un algodón humedecido con el reactivo durante 12 a 15 segundos, e inmediatamente después -

se lavo con abundante agua para luego secarlas. Posteriormente se llevaron a cabo observaciones a diferentes aumentos, para poder así apreciar bien los detalles.

Por medio de una adaptación en el ocular del microscopio a la cámara fotográfica diferente a la del microscopio. Se tomaron las fotografías de la microestructura de las diferentes probetas a 100X (aumentos).

8.6.1.2 EXAMEN MACROSCOPICO

Las muestras para este tipo de analisis se obtuvieron de la última probeta fundida que nos quedaba, la cual se cortó longitudinalmente a la mitad, la superficie de una de las mitades fue preparada en un plato giratorio con papeles abrasivos en secuencia descendiente de 180 a 1000, lubricando con agua constante.

El pulido solamente se hizo ligeramente, ya que para la macroestructura no es necesario el acabado a espejo de la superficie. La muestra fue atacada con el reactivo TURCKER, cuya composición es: 15 ml de HF, 45 ml de HCl, 15 ml de HNO₃ y 25 ml de H₂O. El ataque fue por inmersión de la muestra durante 15 segundos, para inmediatamente después lavarla con agua abundante y secarla.

La macroestructura se observó a simple vista, a estas probetas

tambien se les tomaron fotografías utilizando lentillas de acercamiento, para su mejor apreciación.

8.6.2 METALOGRAFIA DE LA PROBETA ENSAYADA

8.6.2.1 EXAMEN MICROSCOPICO

Con respecto de las probetas que se utilizaron para el ensayo de tracción, ya ensayadas se cortaron unas muestras de el área -- que sufrió la fractura para su análisis microscópico. Como se muestra en la figura 8.15 y 8.16, debido al tamaño tan pequeño de la muestra, se tuvieron que montar en resina para su mejor manejo, preparación y observación al microscopio. Obteniéndose también fotografías de cada una de las diferentes muestras a 100 X (aumentos).

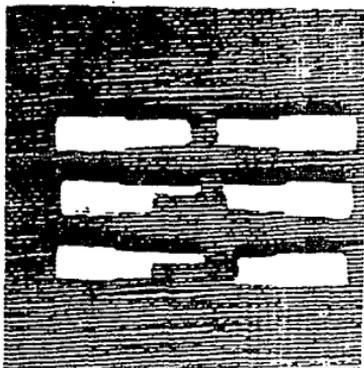


Figura 8.15 La probeta superior corresponde a una probeta completa de tensión después de ser ensayada, mientras en las probetas inferiores se aprecia el corte que se realizó para hacer el análisis microscópico de esa zona.

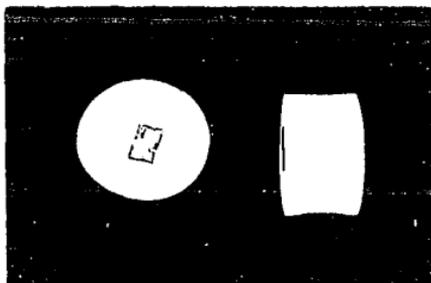


Figura 8.16 Las pequeñas muestras obtenidas de las probetas ensayadas en tensión ya montadas en resina para su mayor maniobrabilidad

TERCERA PARTE

RESULTADOS y CONCLUSIONES

TIEMPO DESPUES
EL MILAGRO DE LA VIDA
Y SU REFUGIO EN LA TIERRA...

MAS ADELANTE, EL NACIMIENTO
DEL HOMBRE Y LA MUJER
CCN SU ESTIRPE...

9.0 RESULTADOS

Los resultados obtenidos de los parámetros medidos en el ensayo de tracción se resumen en la tabla N° 1, donde se muestran los resultados de las 18 probetas ensayadas, en grupos de tres, correspondientes a cada presión de solidificación, así como el promedio para cada uno de los parámetros.

Los promedios de estos valores fueron graficados contra la presión de solidificación utilizada en cada grupo, como puede apreciarse en las figuras 9.1 a 9.4 las cuales se comentaran posteriormente.

NUMERO DE PROBETA	PRESION DE SOLIDIF. [KN/cm ²]	CARGA DE RUPTURA [KN]	$\sqrt{m} = \frac{CARGA}{A_0}$ [KN/cm ²]	$\tilde{\sqrt{m}}$ [KN/cm ²]	CARGA AL $\sqrt{0.5\%}$ [KN/cm ²]	$\frac{\sqrt{0.5\%} P}{A_0}$ [KN/cm ²]	$\tilde{\sqrt{0.5\%}}$ [KN/cm ²]
I		4.610	28.103		1.863	6.292	
II	CERO	7.455	26.368	23.593	3.237	11.449	9.383
III		7.946	28.103		2.943	10.408	
IV		4.905	17.347		2.256	7.980	
V	3.126	5.003	17.694	19.545	2.452	8.673	9.714
VI		6.670	23.593		3.531	12.490	
VII		5.591	19.776		2.550	9.020	
VIII	6.253	5.886	20.817	21.627	2.648	9.367	8.558
IX		6.867	24.287		2.060	7.286	
X		6.768	23.940		2.648	9.367	
XI	9.380	7.848	27.756	26.484	3.041	10.755	10.293
XII		7.848	27.756		3.041	10.755	
XIII		7.161	25.327		2.648	9.367	
XIV	12.506	8.632	30.532	27.583	2.844	10.061	9.714
XV		7.602	26.889		2.746	9.714	
XVI		7.848	27.756		3.237	11.449	
XVII	15.633	8.044	28.950	27.930	2.550	9.020	10.177
XVIII		7.798	27.583		2.844	10.061	

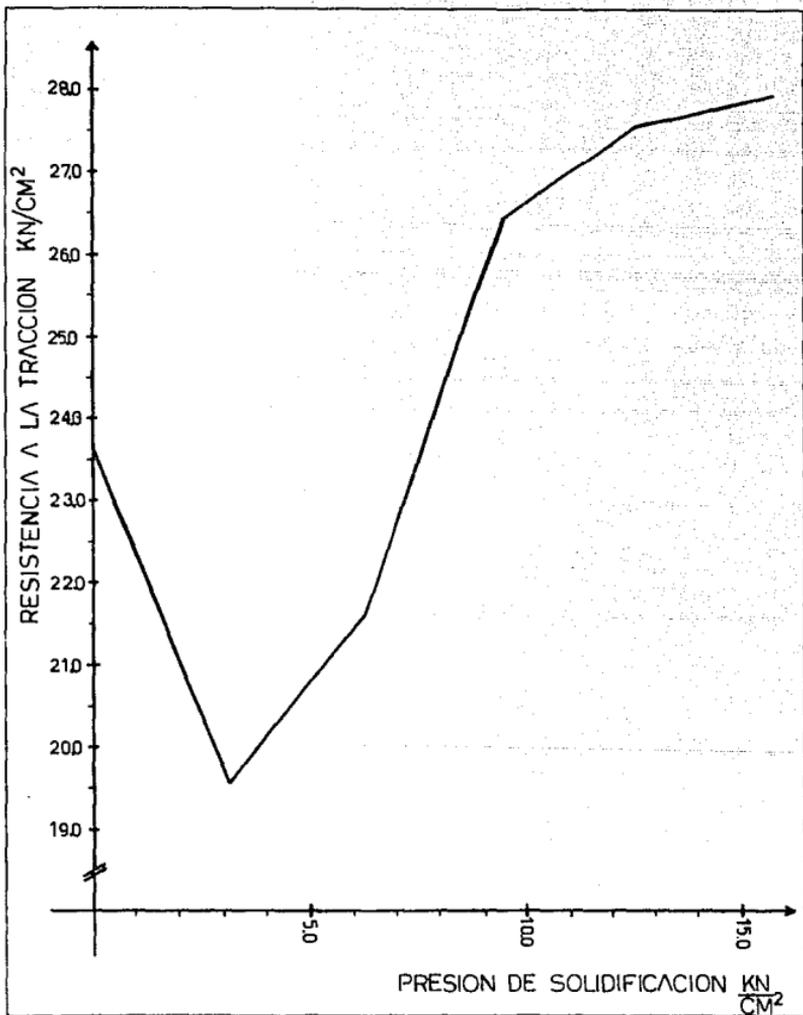
$$A_0 = 0.2827 \text{ cm}^2$$

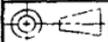
Tabla N^o 1 Registro de los resultados del ensayo de tracción: presión de solidificación de cada probeta, así como la resistencia a la tracción, tensión de cedencia al 0.5%, elongación y reducción de área.

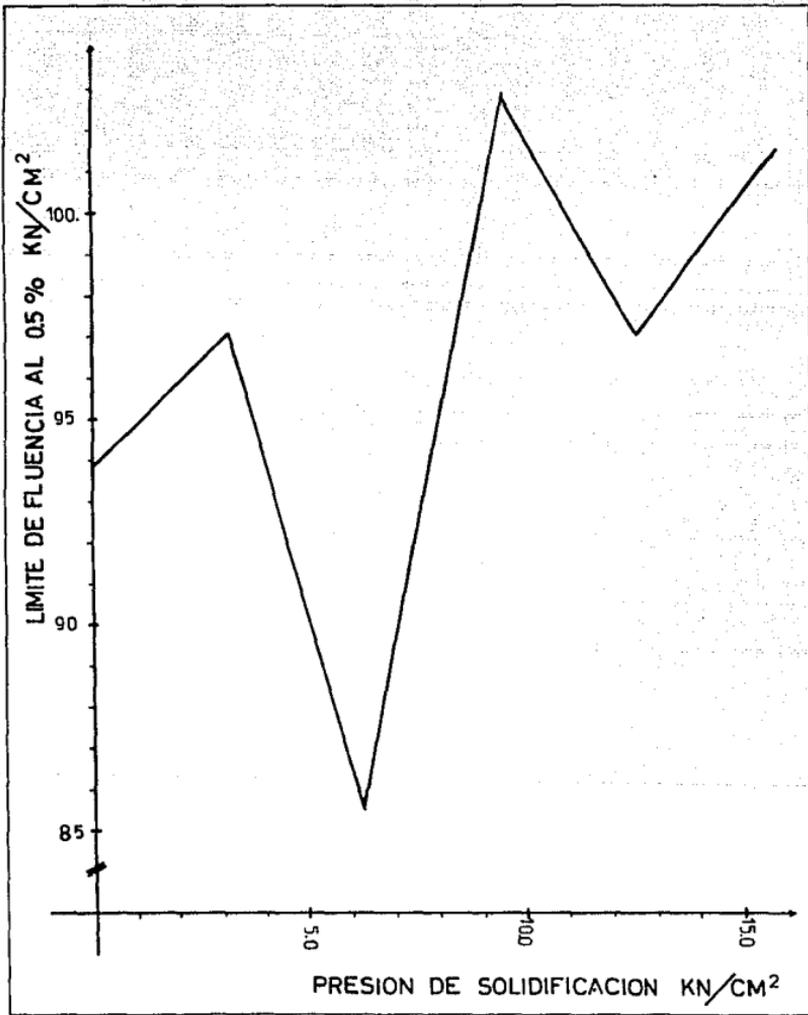
NUMERO DE PROBETA	FRESION DE SOLIDIF. [KN/cm ²]	$L_f - L_o$ [mm]	$\% \epsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o}$	$\tilde{\epsilon}$	$A_o - A_f$	$\% RA = \frac{A_o - A_f}{A_o}$	\tilde{RA}
I		0.650	3.250		-----	-----	
II	CERO	1.575	7.875	6.791	2.307	8.150	9.743
III		1.850	9.250		3.202	11.326	
IV		0.750	3.750		1.853	6.555	
V	3.126	0.650	3.250	4.500	1.396	4.931	5.476
VI		1.300	6.500		1.396	4.937	
VII		0.925	4.625		2.307	8.159	
VIII	6.253	1.175	5.875	6.750	2.307	8.159	7.625
IX		1.950	9.750		1.853	6.555	
X		1.625	8.125		1.853	6.555	
XI	9.380	2.900	14.500	11.041	2.307	8.159	7.625
XII		2.100	10.500		2.307	8.159	
XIII		1.825	9.125		2.307	8.159	
XIV	12.506	3.150	15.750	11.458	4.046	17.493	12.326
XV		1.900	9.500		3.202	11.326	
XVI		2.600	13.000		4.082	14.437	
XVII	15.633	2.250	11.250	12.750	3.644	12.888	13.021
XVIII		2.800	14.000		4.082	14.437	

$L_o = 20$ mm

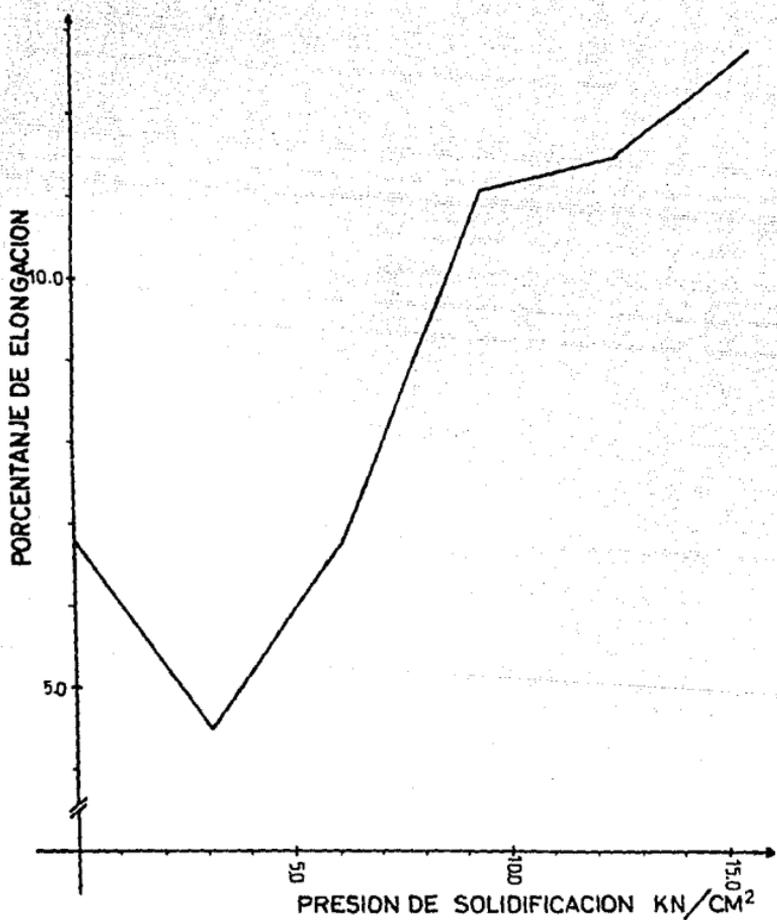
Tabla Nº 1 Continuación

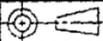


Parte	Cantidad	Designación	Al 356	Material	Observaciones
Fecha	6-V-93	UNAM FES-C			Proy. J.A.MTZ. G.
Referencia					Dib. J.A.MTZ. G.
Acot.		GRAF: DE RESISTENCIA A LA TRACCION VS PRESION DE SOLIDIFICACION			Rev. A.HERRERA
 Esc					No.91

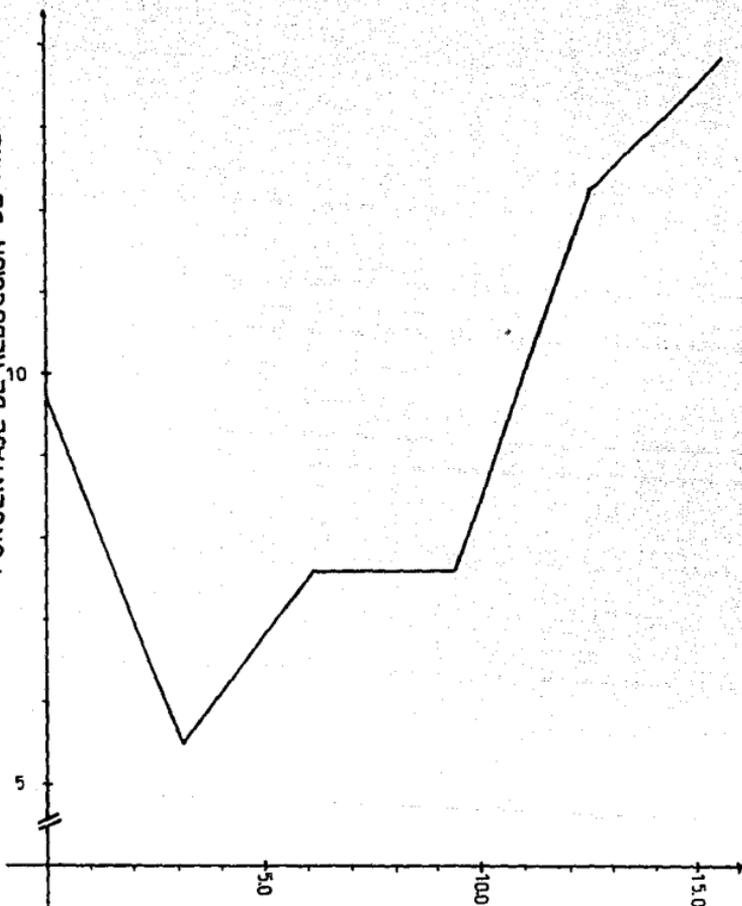


Parte	Cantidad	Designación	Al 356	Material	Observaciones
Fecha:	6-V-93	UNAM FES-C			Proy. J.A.MTZ. G.
Referencia:					Dib J.A.MTZ. G.
Acot:		GRAFICA DE LIMITE DE FLUENCIA AL 0.5% VS PRESION DE SOLIDIFICACION			Rev. A.HERRERA
	Esc.:				No.9.2

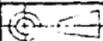


Parte	Cantidad	Designación	Al 356	Material	Observaciones
Fecha:	6-V-93	UNAM FES-C			Proy J.A. MTZ. G.
Referencia:					Dib J.A. MTZ. G.
Acol:		GRAFICA DE PORCENTAJE DE ELONGACION VS PRESION DE SOLIDIFICACION			Rev A HERRERA
 Esc:					No.9.3

PORCENTAJE DE REDUCCION DE AREA



PRESION DE SOLIDIFICACION KN/CM²

Parte	Cantidad	Designación	Al 356	Material	Observaciones
Fecha	6-V-93	UNAM FES-C			Proy JA.MTZ.G.
Referencia					Dib. JA.MTZ.G.
Acot					Rev. A.HERRERA
	Esc	GRAFICA DE PORCENTAJE DE REDUCCION DE AREA VS PRESION DE SOLIDIFICACION.			No.9.4

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DUREZA

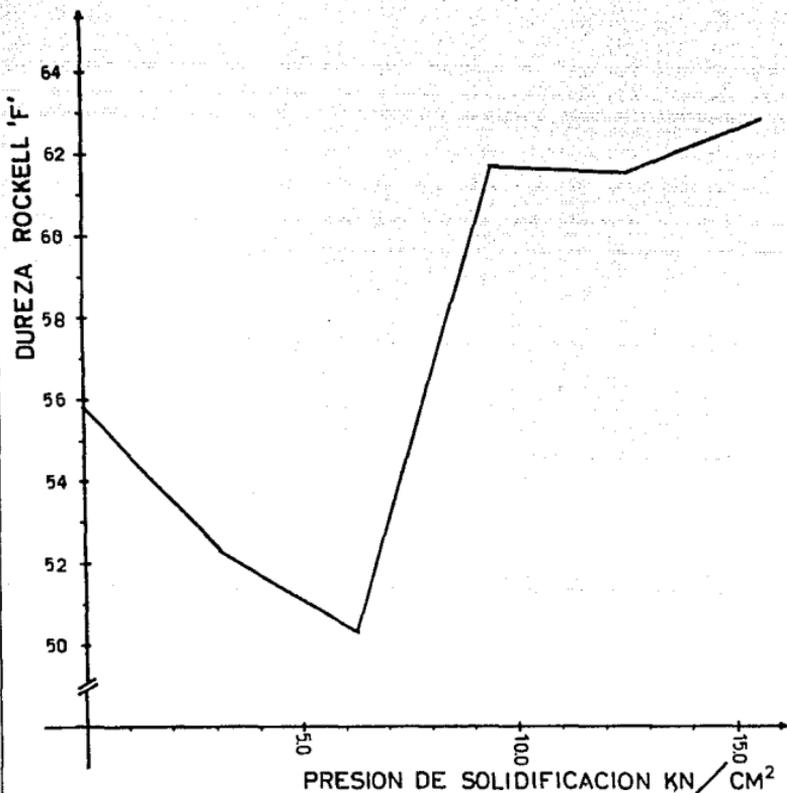
En cada una de las seis diferentes probetas se realizaron tres ensayos de dureza R_p , para luego calcular el promedio y graficarlo - contra la presión de solidificación como se puede ver en la figura - 9.5

Los ensayos de dureza se realizaron con un durómetro ROCKELL - en la escala F correspondiente a una carga de 60 kilogramos y con un penetrador de bola de 1/16 de pulgada, los resultados obtenidos se - muestran en la tabla Nº 2.

Con respecto a los exámenes microscopico y macroscopico, las - fotografías tomadas de éstas, para su análisis más detenido se puede apreciar en las figuras 9.6 a 9.18

PRESION DE SOLIDIF. KN/cm ²	DUREZA	PROMEDIO
	R _F	R _F
CERO	57.00	55.83
	55.50	
	55.00	
3.126	51.00	52.33
	54.00	
	52.00	
6.253	52.00	50.33
	48.00	
	51.00	
9.38	62.00	61.666
	61.00	
	62.00	
12.506	61.00	61.50
	61.00	
	62.50	
15.633	62.00	62.83
	63.50	
	63.00	

Tabla No 2 Registro de los resultados del ensayo de dureza R_F



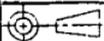
Parte	Cantidad	Designacion	Al 356	Observaciones
Fecha:	6-V-93	UNAM FES-C	Material	Proy. J.A. MTZ. G.
Referencia:				Dib. J.A. MTZ. G.
Acol.:				Rev. A. HERRERA
	Esc.	GRAFICA DE DUREZA ROCKELL 'F' VS PRESION DE SOLIDIFICACION		No.9.5



Figura 9.6 Estructura dendrítica, con porosidad
Probeta sin presión aplicada
Ataque: reactivo Ferryman. 100 X



Figura 9.7 Estructura dendrítica, con pequeñas zonas eutécticas
Presión de solidificación 3.126 KN/cm^2
Ataque: reactivo Ferryman. 100X



Figura 9.8 Estructura dendrítica, con pequeñas zonas eutécticas y porosidad.

Presión de solidificación 6.252 KN/cm^2

Ataque: reactivo Perryman. 100 X



Figura 9.9 Estructura dendrítica, aún con porosidad mientras las zonas eutécticas empiezan a crecer.

Presión de solidificación 4.390 KN/cm^2

Ataque: reactivo Perryman. 100 X



Figura 9.10 Estructura dendrítica, ya no se aprecia porosidad y las áreas eutécticas son más grandes.
Presión de solidificación 12.506 KN/cm^2
Ataque: reactivo Ferryman. 100 X



Figura 9.11 Estructura dendrítica, sin porosidad y las áreas eutécticas son más grandes aún.
Presión de solidificación 15.633 KN/cm^2
Ataque: reactivo Ferryman 100 X

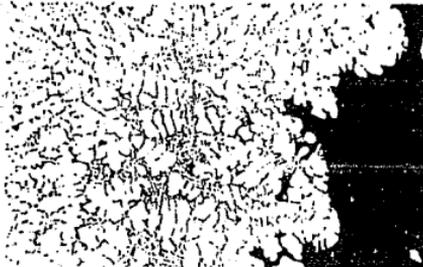


Figura 9.12 Notese que la ruptura de la probeta fue interdendrítica así como el comienzo de la separación de las dendritas
Presión de solidificación 3.126 KN/cm²
Ataque: reactivo Ferryman 100 X

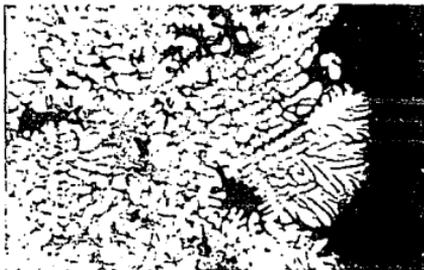


Figura 9.13 Notese el alargamiento de las dendritas y el separamiento de las mismas al aplicar la tensión.
Presión de solidificación 6. 253 KN/cm²
Ataque: reactivo Perryman. 100 X

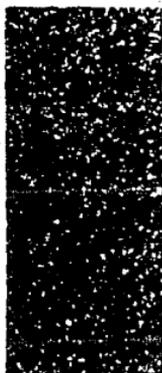


Figura 9.14 Ruptura interdendrítica
Presión de solidificación 9.38 KN/cm²
Ataque: reactivo Ferryman. 100 X

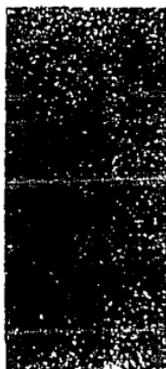
Figura 9.15 La ruptura es de tipo
interdendrítico, notese el peque-
ño desprendimiento de dendritas.
Presión de solidificación 12.506
KN / cm²
Ataque: reactivo Perryman. 100 X



Figura 9.16 La ruptura es de tipo
interdendrítico uniforme.
Presión de solidificación
15.633 KN / cm²
Ataque: reactivo Ferryman 100 X



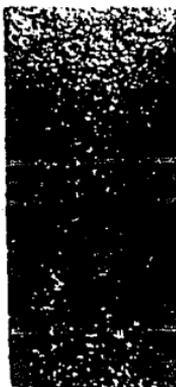
A) P.S. CERO



B) P.S. 3.126 KN/cm²



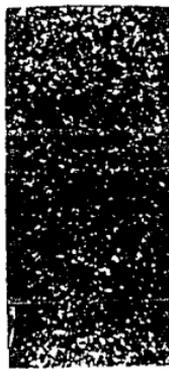
C) P.S. 6.253 KN/cm²



D) P.S. 9.380 KN/cm²



E) P.S. 12.506 KN/cm²



F) P.S. 15.633 KN/cm²

Figura 9.17 Las probetas de la 'A'-'F' fueron atacadas con reactivo Tucker's para su macroexamen, en las cuales se pueden ver el tamaño de grano pequeño, a excepción de la probeta 'E' donde el tamaño de grano es más grande.

9.1 COMENTARIO DE LOS RESULTADOS

Respecto a las gráficas de resistencia a la tracción, porcentaje de elongación y porcentaje de reducción de área contra la presión de solidificación, notamos que el punto dos con respecto al punto -- uno desciende considerablemente, el punto tres también está por debajo, pero éste está por arriba del punto dos en los tres casos. En -- las figuras 9.1 y 9.3 los puntos cuatro, cinco y seis se encuentran por arriba considerablemente con respecto al punto uno, mientras en la gráfica de la figura 9.4 sólo los puntos cinco y seis están notablemente arriba del punto inicial.

En la figura 9.2, que corresponde a la gráfica de límite de -- fluencia contra la presión de solidificación, ésta se comporta de -- una manera poco uniforme, ya que si la comparamos con las gráficas -- anteriores vemos: el punto dos está por arriba con respecto del punto uno y luego el punto tres desciende considerablemente, el punto -- cinco también baja con respecto al anterior, para ascender en el último punto.

Hay que hacer notar: que las comparaciones se hacen con respecto al punto uno, ya que éste corresponde a la probeta sin presión de solidificación.

La gráfica de dureza muestra que: los puntos dos y tres están

por debajo del punto uno, siendo el tercero el más bajo, los tres últimos puntos se encuentran por debajo del primero.

De la figura 9.6 a la 9.11 que corresponden a las estructuras de las probetas obtenidas bajo presión, todas y cada una de estas -- tienen estructura dendrítica. Las pequeñas zonas negras son de porosidad y las zonas con apariencia de laminillas blancas y negras corresponden a zonas eutécticas de silicio y alfa (α) aluminio.

Las figuras 9.12 a la 9.16 corresponden a las estructuras de las probetas en las cuales se hicieron los ensayos de tensión, en todas y cada una de las probetas la ruptura fue interdendrítica, en la figura 9.13 se ve claramente el alargamiento de las dendritas debido a la fuerza de tensión a la que fue sometida y el desprendimiento de dendritas por la misma razón.

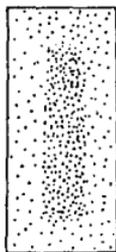
La figura 9.18 corresponde a las probetas del macroexamen en las cuales podemos notar el grano fino, debido a la extracción de calor rápido, con excepción de la probeta E donde el grano se observa de mayor tamaño, tal vez esto se debió a que la fundición tuviera -- una temperatura menor en comparación con las demás, o bien, que la extracción por alguna razón se llevó a cabo de una manera lenta, ya que este tipo de estructura equiaxial de grano grande es característica de bajas gradientes de temperatura durante el fenómeno de la solidificación, asimismo, se pueden observar los puntos oscuros corres

pendientes a la porosidad y su concentración en el centro de la probeta considerando el corte de ésta en dirección longitudinal.

Este último comentario se puede ver más claramente en la figura 9.19 donde la porosidad se representa esquemáticamente.



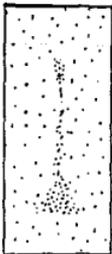
A) P.S. CERO



B) P.S. 3.126 KN/cm²



C) P.S. 6.253 KN/cm²



D) P. S. 9.38 KN/cm²



E) P.S. 12.508 KN/cm²



F) P.S. 15.63 KN/cm²

Figura 9.19 Representación esquemática de la porosidad observada en las diferentes probetas, según la presión de solidificación

A continuación trataremos de explicar, por qué los puntos dos y tres de las gráficas 9.1, 9.2, 9.3 y 9.5 descienden. Si observamos la figura 9.19 detenidamente, notamos que la concentración mayor de la porosidad se encuentra en las probetas correspondientes a los puntos dos y tres precisamente. Ahora bien, en la figura 9.20 representamos esquemáticamente una probeta fundida cortada longitudinalmente a la mitad, para luego dibujar una probeta de tensión sobre uno de los esquemas y en otro indicaremos el área en las que se realizaron los ensayos de dureza. Esto podrá ayudarnos a tratar de interpretar el valor de los resultados obtenidos en este trabajo experimental.

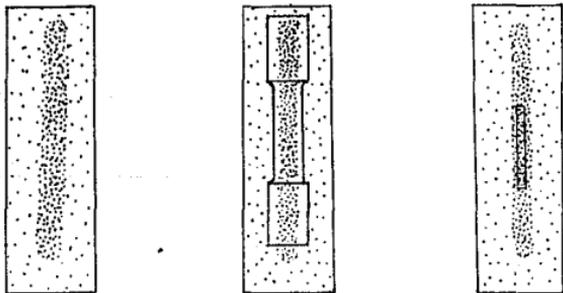


Figura 9.20 Representación esquemática, de una probeta fundida, así como la probeta de tensión y el área donde se realizaron los ensayos de dureza.

10.0 CONCLUSIONES

Una de las suposiciones que se hacía antes de realizar los ensayos mecánicos era: al aplicar la presión al estar solidificando la fundición obtendríamos resultados mejores en comparación a los de -- las probetas en las cuales no les aplicamos presión, esto es que -- la gráfica de los parámetros medidos siempre sería en forma ascenden--
ta.

Con los resultados alcanzados y partiendo de los datos de las probetas solidificadas sin presión, al aplicar bajas presiones de so-- lidificación como son los puntos dos y tres de cada gráfica, notamos en las mismas una disminución considerable en las propiedades medi-- das en vez de una mejoría, al aplicar presiones mayores a las ante-- riores ahora sí las gráficas ascienden, esto es que las propiedades mecánicas mejoran con respecto a las probetas sin presión.

Al analizar la probetas fundidas al microscopio, notamos tres detalles claramente: los cuales se pueden apreciar en las figuras co-- rrespondientes.

Uno; en todas y cada una de las probetas su estructura es de -- tipo dendrítico.

Dos; en todas y cada una de las probetas se apreció porosidad.

En la probeta sin presión de solidificación, las pequeñas porosidades se encuentran en toda la superficie uniformemente distribuidas. En las probetas de presión más bajas la porosidad se encuentra concentrada longitudinalmente en la probeta. Mientras en las demás superficies disminuye considerablemente la porosidad, en las tres últimas probetas la porosidad es uniforme en toda su superficie, pero ya es muy escasa y tiende a desaparecer conforme aumenta la presión de solidificación, pero sin llegar a lograrlo.

Tres; se fue observando la formación de pequeñas laminillas -- eutécticas en zonas interdendríticas, desde pequeñas y escasas áreas en las probetas sin presión de solidificación hasta áreas de considerable tamaño en las probetas de mayor presión de solidificación.

En las estructuras de las probetas enseyadas en tensión, se -- pueden apreciar dos detalles claramente:

Uno; la deformación de las dendritas (alargamiento) debido a -- la carga aplicada en el ensayo y en el sentido de la misma.

Dos; la ruptura de todas y cada una de las probetas fue inter-- dendrítica, esto es en el contorno de las dendritas.

En la macroestructura de las probetas fundidas, la característica más notoria es el tamaño pequeño de grano, también se puede apreciar la porosidad y la concentración de la misma en las probetas.

Podemos concluir que debido a la concentración de la porosidad en estas probetas y su coincidencia con el diametro menor de la probeta de tensión, la ruptura de la misma fue más rápida esto es que: se necesitó una carga menor de tensión para romper la probeta.

Asimismo, el área en donde se realizaron los ensayos de dureza también coincidió con la mayor concentración de porosidad.

Con esto se aclaran los puntos dos y tres de las gráficas, ya que al disminuir la porosidad las propiedades mecánicas aumentan, como se aprecian en las gráficas de cada una de éstas.

Entonces, si disminuye la porosidad se mejoran las propiedades mecánicas y para lograr esto se recomienda que se lleve a cabo una desgasificación del metal fundido antes de vaciarlo al molde, así como el proceso de vaciado debe de ser lo más lento posible para evitar turbulencias que produzcan burbujas en el metal, por último se recomienda que la presión se aplique rápidamente para evitar que se solidifique la fundición, o bien que ya no este en estado pastoso.

Para trabajos posteriores se recomienda se hagan más experimentos

tos con presiones de solidificación mayores a las utilizadas en el --
presente trabajo, así como también se lleve a cabo la desgasificación
del metal en estado líquido para mejorar las propiedades físicas y me-
cánicas de esta aleación.

CIUDAD DE MEXICO
JAIME ALBERTO MARTINEZ GASCA
VERANO DE 1993

11.0 ARTICULOS

- 1- METHOD OF CHARGING MOLTEN METAL INTO A VERTICAL DIE CASTING MACHINE,

MASUO EBISAWA KANAGOE; SUSUKI OIMACHI,

UNITED STATES PATENT FILED JUL. 12, 1982

- 2- SQUEEZE CASTING

6TH INTERNATIONAL DIE CASTING CONGRESS

CLEVELAND, OHIO. NOVEMBER 16 - 19 1970

J. C. BENEDYC

- 3- SOME OBSERVATIONS ON THE EFFECT OF PRESSURE ON THE SOLIDIFICATION OF Al-Si EUTECTIC ALLOYS

S. CHATTERJEE, AND A. A. DAS

- 4- SQUEEZE CASTING OF ALUMINUM

AFS TRANSACTIONS

R. F. LYNCH

- 5- SQUEEZE CASTING OF BRASS AND BRONZE

AFS TRANSACTIONS

R. F. LYNCH

- 6- EFFECTS OF PRESSURE ON THE SOLIDIFICATION OF SOME COMMERCIAL ALUMINUM-BASE CASTING ALLOYS

THE BRITISH FOUNDRYMAN NOVEMBER 1972

S. CHATTERJEE

- 7- SQUEEZE CASTING OF ALUMINUM
DIE CASTING ENGINEER MAY - JUNE 1979
TOYOTA MOTOR CO. LTD
YASUHISA KANEKO, HIDEKI MURAKAMI
KIMIO KURODA AND SHIGO NAKAZAKI
- 8- SQUEEZE CASTING - REVIEW OF THE STATUS
J. R. FRANKLIN. A. A. DAS
- 9- SQUEEZE CASTING A REVIEW AND UP DATE
AMERICAN SOCIETY FOR METALS 1981 VOLUME 1, NUMER 4-3
S. RAJAGOPAL
- 10- ULTRA HIGH PRESSURE CASTING
MODERN CASTINGS MARCH 1960
J. L. REISS AND E. C. KRON
- 11- FLUSSIGPRESSEN, EIN VERFANREN ZUR HERSTELLUNG
HOCHWERTIGER FORMSTUC'KE
METALL 30 JAHRGANG JANUAR 1976
DR. WILFRED MEYER
- 12- SQUEEZE CASTING APPARATUS AND METHOD
UNITED STATES PATENT FIELD AUG 7 1975
RICHARD F. LYNCH

12.0 BIBLIOGRAFIA

1- INTRODUCCION A LA METALURGIA FISICA

AVNER

EDITORIAL Mc GRAW HILL

2da EDICION EN ESPAÑOL 1990

2- FUNDAMENTOS DE CIENCIA DE LOS MATERIALES

A. G. GUY

EDITORIAL Mc GRAW HILL 1981

3- METALURGIA TOMO II "ELABORACION DE LOS METALES"

C. CHAUSSIN, G. HILLY, F. CHEVENARD

EDITORIAL URMO S. A.

1ra EDICION EN ESPAÑOL 1975

4- METALS HANDBOOK

VOLUMEN I "PROPIEDADES Y SELECCION DE METALES"

VOLUMEN II "ATLAS DE METALES"

OCTAVA EDICION

5- INGENIERIA METALURGICA TOMO I Y II

REIMOND A. HIGGINS

EDITORIAL C.E.C.S.A. 1980

- 6- METALOGRAFIA TOMO I Y II
A.D. GULIAEN
EDITORIAL MIR MOSCU
- 7- METALOGRAFIA PRACTICA
F. A. CALVO
EDITORIAL ALHAMBRA S. A. 1972
- 8- PRINCIPIOS DE METALURGIA FISICA
ROBERT E. REED-HILL
EDITORIAL C.E.C.S.A. 1986
- 9- MATERIALES DE INGENIERIA Y SUS APLICACIONES
RICHARD A. FLINN, PAUL K. TROJAN
EDITORIAL Mc GRAW HILL 1985
- 10- TECNOLOGIA DE MATERIALES
LAWRECE H. VAN VLANK
EDITORIAL FONDO EDUCATIVO INTERAMERICANO S.A. DE C.V. 1984
- 11- METALOGRAFIA MICROSCOPICA PRACTICA
GREAVES
EDITORIAL URMO S. A. 1979
- 12- METALURGIA ESPECIAL TOMO I
J. HERENGUEL
EDITORIAL URMO S. A. 1976

- 13- PRACTICAL METALLURGY AND MATERIALS OF INDUSTRY
JOHN NEELY
EDITORIAL JOHN NEELY AND SONS 1979
- 14- PRINCIPLES OF PHYSICAL AND CHEMICAL METALURGY
GILE F. CARTER
AMERICAN SOCIETY FOR METALS 1979
- 15- STRUCTURE AND PROPERTY OF INGEERING MATERIALS
BRICK, DENCE AND GORDON
Mc GRAW HILL BOOK COMPANY FOURTH EDITION 1977
- 16- METALURGIA GENERAL TOMO II
F. R. MORAL. E. JIMENO, P. MOLERA
EDITORIAL REVERTE S. A. 1985
- 17- AN INTRODUCTION TO METALURGY
ALAN COTTRELL
SECOND EDITION S. I. UNITS 1979
- 18- ELEMENTARY METALLURGY AND METALLOGRAPHY
ARTHUR M. SHRAGER
DOVER PUBLICATIONS TNC. TRID EDITION 1969