

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**INFLUENCIA DEL ANTIMONIO EN UNA
ALEACION DE ALUMINIO 319
BAJO CARGA DE TENSION**

POR

ING. OSCAR ATILANO GONZALEZ SANCHEZ

T E S I S

**EN OPCION AL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA CON
ESPECIALIDAD DE MATERIALES**

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L., DICIEMBRE DE 1999

FM
Z5853
.M2
FIME
1999
G6692

INFLUENCIA DEL ANTIMONIO EN UNA ALEACION DE
ZINCO Y ALUMINIO

S. ALUMINIO 319 RADIOCA
CAPOA DE TRAFISION



1020130048

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



INFLUENCIA DEL ANTIMONIO EN UNA
ALEACION DE ALUMINIO 319
BAJO CARGA DE TENSION

POR

ING. OSCAR ATILANO GONZALEZ SANCHEZ

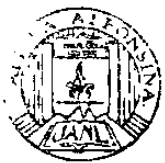
T E S I S

EN OPCION AL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA CON
ESPECIALIDAD DE MATERIALES

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L., DICIEMBRE DE 1999

216 356

TH
Z5853
.M2
F1M2
1999
E6692



FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis Influencia del Antimonio en una aleación de Aluminio 319 bajo carga de tensión , realizada por el alumno Ing. Oscar Atilano González Sánchez, Matricula 0038832 sea aceptada para su defensa como opción al grado de maestro en ciencias de la Mecánica con especialidad de materiales.


El comité de Tesis.




Dr. José Luis Cavazos García
Asesor



Coasesor
Dr. Eulogio Velasco Santes



Coasesor
M.C. José Estrada Rodríguez



VoBo
M.C. Roberto Villarreal Garza.
División de estudios de Post-grado

San Nicolás de los Garza N.L. Diciembre de 1999

DEDICATORIAS

A mis Padres: + José González González
Eva Sánchez Garza

A mi esposa: Martha Elva Ugalde Acosta.

A mis hijos : Brenda Lissette
Oscar Gabriel
Ivan Ernesto
Adán Orlando
Fabián Azael

A mis familiares y amigos.

Y a todos los que hicieron posible esta tesis.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a DIOS por todos los beneficios recibidos en mi vida, EL me ha permitido llegar hasta punto del camino, ya que sin Él no hubiera logrado nada.

A mis Padres:

Por el gran esfuerzo que hicieron para lograr llegar a este día tan importante de mi vida

A mi esposa:

Gracias a que con su total apoyo y comprensión he podido llegar hasta esta fecha.

A Nemark S.A. de C.V. por todo su apoyo incondicional prestado para la elaboración de este trabajo

Y a todos los que hicieron posible esta tesis. A mis maestros, mis amigos y a todos los que de una u otra forma colaboraron con su granito de arena.

INDICE

DEDICATORIAS	I
AGRADECIMIENTOS	II
PROLOGO	1
RESUMEN	2
CAPITULO 1. INTRODUCCION	3
1.1 Descripción del problema	3
1.2 Objetivo de la tesis	3
1.3 Hipótesis	3
1.4 Justificación del estudio	4
1.5 Limites del estudio	4
1.6 Metodología	4
1.7 Revisión bibliográfica	4
CAPITULO 2. ALUMINIO Y SUS ALEACIONES	5
2.1 Introducción	5
2.2 Propiedades del aluminio	7
2.3 Aleaciones de aluminio	8
2.4 Clasificación de las aleaciones y aluminio	9
2.4.1 Aleaciones trabajadas	9
2.4.2 Aleaciones vaciadas	10
2.5 Designación de los tratamientos para el aluminio y sus aleaciones	10
2.6 Efectos de los elementos de aleación	12

2.7	Forma del Eutectico	13
2.8	Modificación por Antimonio	16
CAPITULO 3. FUNDICIONES DE ALUMINO		17
3.1	Introducción	17
3.2	Grupos generales por composición	18
3.3	Selección de las aleaciones vaciadas	18
3.4	Propiedades de la aleación A319 (6Si-3.5Cu)	19
3.5	Defectos de solidificación	20
	3.5.1 Contracción	20
	3.5.2 Porosidad gaseosa	21
CAPITULO 4. ENSAYO ESTATICO DE TENSION		23
4.1	Introducción	23
4.2	Tipos de probetas para el ensayo de tensión	24
4.3	Procedimiento de prueba	25
4.4	Gráfica Esfuerzo-Deformación	26
4.5	Propiedades mecánicas que se obtienen	26
CAPITULO 5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL		30
5.1	Introducción	30
5.2	Preparación de las muestras	31
	5.2.1 Horno de fundición del aluminio	33
	5.2.2 Recomendaciones para la fundición del aluminio	34
	5.2.3 Características a las cuales se fundieron las muestras de Al.	34
CAPITULO 6. MICROESTRUCTURAS		36
6.1	Microestructuras de las muestras	36
CAPITULO 7. RESULTADOS Y DISCUSIONES		43
7.1	Introducción	43
7.2	Ensayos de tensión	43
7.3	Gráfica Esfuerzo-deformación ingenieriles	44
7.4	Composición química	46
7.5	Graficas comparativas	48

CAPITULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
8.1 Conclusiones	49
8.2 Recomendaciones	50
BIBLIOGRAFIA	51
APENDICE A. ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL	52
A.1 Introducción	52
A.2 Requisito para hacer un elemento a compresión	53
A.3 Forma de las probetas	54
A.3.1 Probetas en forma cilíndrica	54
A.3.2 Probetas rectangulares	55
A.4 Precauciones al hacer el ensayo	55
A.5 Gráfica Esfuerzo-Deformación	55
A.5.1 Gráfica Ingenieril	56
A.5.2 Gráfica real	56
A.6 Limitaciones al realizar el ensayo	58
A.7 Propiedades que se obtienen en el ensayo de compresión	58
A.8 Reducción de la fricción	59
A.9 Fracturas en el ensayo de compresión	59
A.10 Coeficiente de ovalidad (Ov)	60
A.11 Coeficiente de altura (H)	61
APENDICE B. DUREZA	62
B.1 Introducción	62
B.2 Penetradores para el ensayo Rockwell	63
B.2.1 Cargas para el ensayo Rockwell	65
B.2.2 Consideraciones para las probetas del ensayo Rockwell	65
B.3 Procedimiento de prueba	65
B.3.1 Prueba de Sondeo	67
GLOSARIO	68
LISTA DE FIGURAS	71
LISTA DE TABLAS	73
REFRERENCIAS	74
RESUMEN AUTOBIOGRAFICO	76

PROLOGO

La presente tesis muestra un panorama parcial de la influencia del Antimonio en la fundición de aluminio A319, por lo que se apoyó en los estudios realizados en la tesis *Influencia del Antimonio sobre una aleación de aluminio A319, basada en las propiedades mecánicas obtenidas del ensayo de tensión y metalografía.*

Dicho estudio se complementa con el motivo de esta tesis.

RESUMEN

En el presente trabajo se utilizó materia prima base de la aleación aluminio tipo A319 se le agregó Antimonio y se realizó el estudio. Las cantidades que se agregaron a la aleación fueron 150, 250, 350 y 500 partes por millón, con dicha fundición se maquinaron probetas suficientes para tener una buena muestra con las cuales se realizaron ensayos mecánicos, y se realizó análisis químico en la aleación, para verificar el contenido de Antimonio en el aluminio A319.

Con los datos obtenidos en los ensayos, se realizaron gráficas ingenieriles de esfuerzo-deformación, que permitieron determinar algunas propiedades, tales como esfuerzo de cedencia, dureza, etc.

Se hicieron gráficas comparativas de las muestras con lo que se determinó una variación promedio entre el esfuerzo de cedencia, de dureza y partes por millón de Antimonio.

Se observó que las propiedades tienen una tendencia ascendente-descendente teniendo el pico máximo en 350 ppm, el cual tiene una mejoría de 15% aproximadamente.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.- Descripción del problema.

Debido a que la materia prima de la aleación de aluminio tipo A319 puede tener residuos de Antimonio, y estas impurezas afectan las propiedades mecánicas de la fundición se realizó el estudio a diferentes cantidades de Antimonio.

1.2.- Objetivo de la Tesis.

Determinar la influencia que ejerce el Antimonio sobre una aleación vaciada de aluminio tipo A319, respecto a sus propiedades mecánicas sometiéndolo a ensayos de tensión axial y de dureza.

1.3.- Hipótesis.

En estudios anteriores se observa que el Antimonio ejerce una influencia muy grande en el eutéctico de Aluminio-Silicio destruyendo la estructura laminar la cual baja las propiedades mecánicas, por tal motivo se requiere observar, analizar y discutir dicha influencia con relación al porcentaje de Antimonio en esta aleación .

1.4.- Justificación del estudio.

Debido al riesgo de falla en piezas fundidas al disminuir las propiedades mecánicas, se realizó el presente estudio. Una posible causa de reducción en las propiedades mecánicas es la influencia del Antimonio en la morfología eutéctica.

1.5.- Limite del Estudio.

El siguiente estudio, se realizó para 150, 250, 350 y 500 partes por millón de Antimonio, en probetas vaciadas de la aleación de aluminio A319.

1.6.- Metodología.

La metodología que se siguió para realizar este estudio, es la siguiente:

- 1) Revisión de literatura.
- 2) Diseño de los experimentos para realizar el estudio.
- 3) Ensayos de pruebas mecánicas correspondientes.
- 4) Análisis, conclusiones y recomendaciones.

1.7.- Revisión Bibliográfica.

Al revisar la bibliografía del tema se observó que nuestro estudio no tiene literatura explícita, es decir hay estudios similares de otros aleantes, con otras aleaciones de aluminio.

CAPITULO 2

ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

2.1.- Introducción.

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la corteza terrestre, posee una combinación de propiedades que lo convierten en un material muy útil, tiene baja densidad, buena resistencia a la corrosión, esto debido a la película de óxido que se forma en la superficie, excelente conductividad eléctrica y térmica, no es tóxico por lo que se utiliza ampliamente para contener alimentos, es suave y dúctil. El precio es relativamente bajo y sus propiedades hacen de este metal uno de los más importantes a nivel industrial. El aluminio puro tiene poca resistencia mecánica, por lo que debe alearse con otros elementos para aumentarla.

La temperatura de fusión de aluminio es de 577°C , su densidad es de 2.7 gr./cm^3 . Gracias a su baja densidad las aleaciones de aluminio tiene amplia aplicación en la industria aeronáutica.

Las aleaciones de aluminio se trabajan mecánicamente con facilidad ya sea en frío o a temperaturas relativamente elevadas, en cualquier caso se requieren grandes cargas de compresión para convertirlas en formas usuales como chapa, lamina, extrusiones, varillas y alambre. Una analogía para este tipo de procesos de formado es el ensayo de compresión que determina la magnitud del esfuerzo requerido para que el material trabaje plásticamente.

El aluminio se utiliza cuando el peso es un factor importante, como ocurre en las aplicaciones aeronáuticas y automotrices.

El aluminio no suele presentar un límite a la fatiga bien definido, de modo que la falla ocurre incidentalmente a un esfuerzo muy bajo. Debido a su bajo punto de fusión, el aluminio no se comporta bien a temperaturas elevadas.

Las aleaciones de aluminio tienen una relativa baja dureza, lo que origina poca resistencia al desgaste abrasivo en muchas condiciones. Las aleaciones pueden ser 30 veces más resistentes que el aluminio puro.

El aluminio y sus aleaciones se pueden trabajar en frío con facilidad para mejorar su resistencia, aunque al incrementar su resistencia hay una disminución correspondiente de la ductilidad. La aleación es otro mecanismo que se puede utilizar para incrementar los niveles de resistencia, este mecanismo se puede usar individualmente o en combinación para lograr los diversos niveles apropiados. Los elementos principales de aleación que se usan con el aluminio son Cobre, Silicio, Magnesio y Cinc.

De los metales no ferrosos, el aluminio es el más importante en la vida moderna, esto se debe a sus tres características principales que son:

- A) *Bajo peso específico*
- B) Resistencia a la corrosión
- C) Buena conductividad eléctrica y térmica

El aluminio fue descubierto como elemento en Inglaterra por el químico Sir Humphrey Davey en el año de 1807, en 1845 el físico alemán Friedrich Wohler determinó la gravedad específica, ductilidad y otras propiedades (Ref 1) , fue hasta el año de 1855 cuando el aluminio se comercializó.

2.2.- Propiedades del aluminio.

El aluminio es un metal de color blanco argéntado, levemente azulado y con brillo fuerte, es dúctil y maleable lo que permite laminarlo en chapas y laminas delgadas o estirarlo en forma de alambre.

El aluminio es un metal ligero, su densidad es de 2.7 gr./cm^3 y el de sus aleaciones de 2.56 a 2.95 gr./cm^3 o sea un tercio de la densidad del acero. Es resistente a la corrosión, esta propiedad se debe a la formación de una película superficial de óxido de aluminio (Al_2O_3) que actúa como una pintura natural, impidiendo cualquier ataque de la intemperie, como agua, agua salada, petroquímicos, etc. Algunas aleaciones de aluminio se someten a ciertos tratamientos especiales con el fin de aumentar la resistencia a la corrosión, dos de estos son el alclad y el adonizado.

Ocupa el cuarto lugar entre los mejores conductores de la electricidad, superado solamente por la plata, el oro y el cobre. Aunque la conductividad eléctrica del aluminio es aproximadamente el 62% de la del cobre, su poco peso lo hace más adecuado en muchos casos para conductores eléctricos. Su alta conductividad térmica ha hecho que el aluminio se use en equipos que requieren de intercambio de calor. En estado de gran pureza se utiliza en reflectores fotográficos, debido a su poder de reflexión de la luz, ya que su superficie no pierde el brillo.

El aluminio es no ferromagnético propiedad importante en la industria eléctrica y electrónica, los componentes que se forman en la superficie del aluminio, por el ataque de otros elementos son incoloros, atóxicos e inofensivos al ser humano, de ahí la gran aplicación que tiene en los utensilios de cocina.

2.3.- Aleaciones de aluminio.

La adición de elementos de aleación se hace mejorar las propiedades mecánicas, como resistencia a la tensión, dureza, rigidez, maleabilidad y algunas veces para mejorar la fluidez y otras propiedades de vaciado.

Las aleaciones de aluminio se dividen en dos categorías:

1. - Trabajadas.
2. - Vaciadas.

Las propiedades mecánicas de muchas de ellas se pueden mejorar por mecanismos de endurecimiento basados en la solubilidad de fases, a los cuales responden fácilmente, la tabla 2.1 (Ref 2) compara la resistencia del aluminio puro recocido con aleaciones endurecidas mediante diversas técnicas.

Material	Resistencia A la tensión (psi)	Esfuerzo De fluencia (psi)	Elongación (%)	<u>Esfuerzo de fluencia (aleación)</u> Esfuerzo de fluencia (puro)
Aluminio puro recocido (99.999% Al)	6,500	2,500	60	
Aluminio puro comercial (recocido 99% Al)	13,000	5,000	45	2.0
Endurecido por solución Sólida (1.2 % Mn)	16,000	6,000	35	2.4
Aluminio puro trabajado En frío un 75%	24,000	22,000	15	8.8
Endurecido por dispersión (5% Mg)	42,000	22,000	35	8.8
Endurecido por Envejecimiento (5.6 % Zn - 2.5 % Mg)	83,000	73,000	11	29.2

Tabla 2.1 Efecto del mecanismo de endurecimiento en el aluminio y sus aleaciones.

2.4.- Clasificación de las aleaciones de aluminio.

Las aleaciones trabajadas se conforman por deformación plástica, tienen composiciones y microestructuras muy diferentes a las aleaciones vaciadas.

La Asociación de Sistemas de Aluminio (Por sus siglas en inglés A.A.S.) es la más reconocida en los Estados Unidos, su sistema de identificación de aleaciones emplea diferentes nomenclaturas para aleaciones trabajadas o vaciadas.

2.4.1.- Aleaciones trabajadas.

Para las aleaciones trabajadas se utiliza un sistema de cuatro dígitos como sigue:

1000 para aluminio puro

2000 aleaciones en las que el cobre es el elemento aleante principal.

3000 aleaciones en las que el manganeso es el elemento aleante principal.

4000 aleaciones en las que el silicio es el elemento aleante principal.

5000 aleaciones en las que el magnesio es el elemento aleante principal.

6000 aleaciones en las cuales el silicio y el magnesio son los principales elementos de aleación.

7000 aleaciones en las que el Cinc es el elemento principal pero otros elementos como el cobre, magnesio, cromo y circonio deben especificarse.

8000 aleaciones que incluyen estaño y algo de litio consideradas composiciones misceláneas.

9000 reservados para uso futuro.

Las aleaciones de la serie 1000 y 3000 son de una sola fase, sus propiedades son controladas por endurecimiento por deformación, solución sólida y por control de tamaño de grano.

Las aleaciones de la serie 4000 contienen dos fases, α y silicio casi puro β . Las aleaciones de la serie 5000 contienen una solución α sólida de magnesio en aluminio, la

cual se endurece mediante una dispersión fina de Mg_2Al_3 (β). Las aleaciones de las series 2000, 6000 y 7000 son ternarias endurecibles por envejecimiento.

2.4.2.- Aleaciones vaciadas.

Las aleaciones vaciadas se describen por un sistema de tres dígitos seguido por un valor decimal. La decimal .0 pertenece a las aleaciones vaciadas y las decimales .1 y .2 concierne a las composiciones de lingote estándar y no-estandar respectivamente y son:

100.0 aluminio puro especialmente para manufactura de resortes.

200.0 aleaciones en las que el cobre es el aleante principal, otros elementos aleantes deben especificarse.

300.0 aleaciones en las que el silicio es el principal elemento aleante y otros elementos de aleación como cobre y magnesio.

400.0 el silicio es el principal elemento de aleación.

500.0 el magnesio es el principal elemento de aleación.

600.0 sin uso.

700.0 el Cinc es el principal elemento aleante, otros elementos como cobre y magnesio deben especificarse.

800.0 el estaño es el principal elemento de aleación.

900.0 sin uso.

2.5.- Designación de los tratamientos para el aluminio y sus aleaciones.

El grado de endurecimiento esta dado por la designación T o H, dependiendo si la aleación es tratada o endurecida por deformación, otras clasificaciones indican si la aleación es recocida, tratada por solución, o usadas en su condición de fabricación, designadas como O, W, F respectivamente. Los números que siguen a la T o a la H indican la cantidad de endurecimiento por deformación, el tipo exacto de tratamiento térmico u otros aspectos especiales del procedimiento de la aleación.

Las designaciones de grado de endurecimiento para aleaciones de aluminio son mostradas en la tabla 2.2.

<p>F tal como se fabricó (trabajo en caliente , forja, fundición, etc.)</p> <p>O recocida (en la condición mas blanda posible)</p> <p>H trabajada en frío.</p> <p> h1x- trabajada en frío solamente, (x se refiere a la cantidad de trabajo en frío y endurecimiento)</p> <p> H12- proporciona una resistencia a la tensión intermedia entre o y H14.</p> <p> H14- proporciona una resistencia a la tensión intermedia entre o y H18.</p> <p> H16- proporciona una resistencia a la tensión intermedia entre H14 y H18.</p> <p> H18- proporciona una reducción de aproximadamente 75%.</p> <p> H19- proporciona una resistencia a la tensión mayor en 2000 psi respecto de la obtenida por H18.</p> <p> H2x- trabajada en frío parcialmente recocida.</p> <p> H3x- trabajada en frío y estabilizada a una temperatura baja para evitar el endurecimiento por envejecimiento.</p> <p>W tratada por solución.</p> <p>T endurecida por envejecimiento.</p> <p> T1- enfriada desde la temperatura de fabricación y envejecida naturalmente.</p> <p> T2- enfriada desde la temperatura de fabricación, trabajada en frío y envejecida naturalmente.</p> <p> T3- tratada por solución, trabajada en frío y envejecida naturalmente.</p> <p> T4- tratada por solución y envejecida naturalmente.</p> <p> T5- enfriada desde la temperatura de fabricación y envejecida artificialmente.</p> <p> T6- tratada por solución y envejecida artificialmente.</p> <p> T7- tratada por solución y estabilizada por sobre-envejecimiento.</p> <p> T8- tratada por solución, trabajada en frío y envejecida artificialmente.</p> <p> T9- tratada por solución, envejecida artificialmente y trabajada en frío.</p> <p> T10- enfriada desde la temperatura de fabricación , trabajada en frío y envejecida artificialmente.</p>

Tabla 2.2 Designación de grado de endurecimiento para aleaciones de aluminio.

2.6.- Efectos de los elementos de aleación.

ANTIMONIO. Con niveles de concentración igual o mayores al 0.05%, el Antimonio refina la fase eutéctica Aluminio-Silicio para una forma laminar en composiciones hipoeutécticas. La efectividad del Antimonio en la modificación de la estructura eutéctica depende de la ausencia de fósforo y de una solidificación rápida. El Antimonio reacciona con ambos, Sodio y Estroncio para formar intermetálicos burdos y efectos adversos sobre la capacidad de fundirse y la estructura eutéctica.

El Antimonio es clasificado como un metal pesado y tóxico. Adiciones en las aleaciones de aluminio no es considerada peligrosa si los niveles son del 0.08 al 0.15 % en las aleaciones.

SILICIO. La adición de silicio al aluminio mejora su fluidez y su resistencia al desgarre y sus características de alimentación en piezas con trayectorias de llenado intrincadas.

El rango óptimo de silicio en procesos de enfriamiento lento es del 5 al 7 %, para moldes permanentes del 7 al 9 %, y para fundiciones de dados del 8 al 12 %. La base para estas recomendaciones están en relación con el rango de enfriamiento y fluidez el porcentaje del eutéctico ó alimentación de la pieza.

HIERRO. Mejora su resistencia al desgarre, disminuye la ductilidad. El hierro reacciona principalmente con el aluminio y el manganeso, es responsable de mejorar su resistencia especialmente para elevadas temperaturas, pero puede formar compuestos intermetálicos con el Al-Si y Mn y reducir las propiedades mecánicas

COBRE. El cobre substancialmente mejora su resistencia y dureza en el vaciado y en el tratamiento térmico su porcentaje es del 4 al 10%, algunas aleaciones en un rango del 4 al 6% de cobre responden mejor a la resistencia a las altas temperaturas.

MANGANESO. Es normalmente considerado como una impureza y su cantidad es controlada a bajos niveles, el manganeso es un aleante importante en composiciones de forjado, estando en altos niveles. Puede disminuir la dureza, es utilizado como formador de la fase α en aleaciones Al-Si si su relación con el Fe es medio.

MAGNESIO. Es la base para la resistencia y dureza y un buen desarrollo en el tratamiento térmico, las aleaciones de aluminio y silicio son muy usadas, además tienen cobre, níquel y otros elementos para propósitos similares.

El rango de composición común es del 4 al 10%, aunque lo mas normal es del 7%.

BERILIO. Es adicionado en pocas partes por millón puede ser efectivo en la reducción de las inclusiones de Magnesio.

2.7.- Forma del eutéctico.

La forma de las dos fases del microconstituyente eutéctico esta influenciada por la velocidad de enfriamiento, la presencia de elementos de impureza y por las características de la aleación.

El diagrama de fases eutéctico Aluminio-Silicio mostrado en la figura 2.1 conforma la base para un buen numero de importantes aleaciones comerciales. Desafortunadamente, la porción de silicio del eutéctico crece como placas planas delgadas que aparecen puntiagudas en la microestructura de la figura 2.2 . Las plaquetas de Silicio concentran esfuerzos y reducen la ductilidad y la tenacidad.

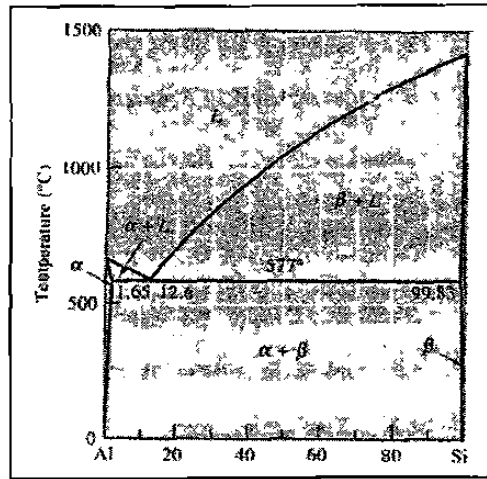


Figura 2.1 Diagrama de fases Aluminio-Silicio.

Las características de la estructura eutéctica en las aleaciones Aluminio-Silicio se alteran por “modificación”. La modificación causa que la fase de silicio crezca como barras delgadas interconectadas entre dendritas de aluminio (figura 2.3) mejorando la resistencia a la tensión y la elongación (figura 2.4). En dos dimensiones, el silicio “modificado” parece compuesto de pequeñas partículas redondeadas. Las aleaciones enfriadas rápidamente se modifican de manera natural durante la solidificación. Sin embargo, a velocidades de enfriamiento menores debe añadirse un 0.02% de Na o 0.01% de Sr para producir la modificación.

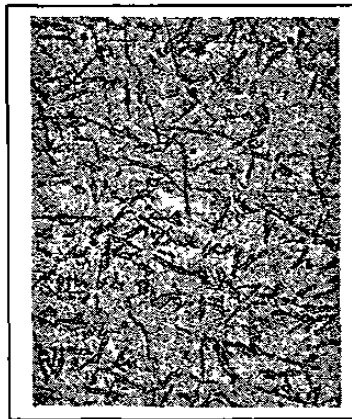


Figura 2.2 Placas tipo aguja de silicio en el eutéctico Aluminio-Silicio.

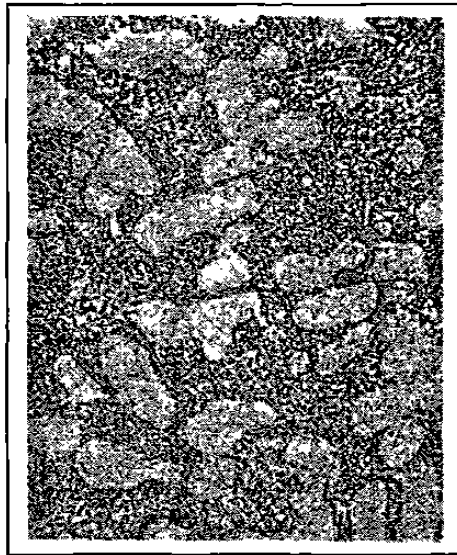


Figura 2.3 Barras redondeadas de silicio en el eutéctico modificado Aluminio-Silicio.

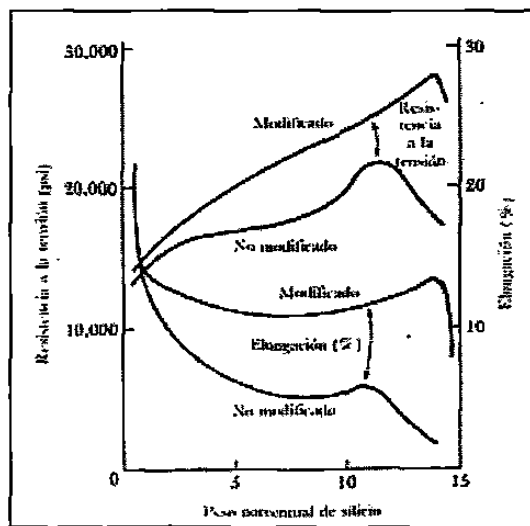


Figura 2.4 El efecto del silicio y de la modificación sobre las propiedades de las aleaciones Aluminio-Silicio.

En la figura 2.5 se muestra el diagrama de equilibrio aluminio-Antimonio.

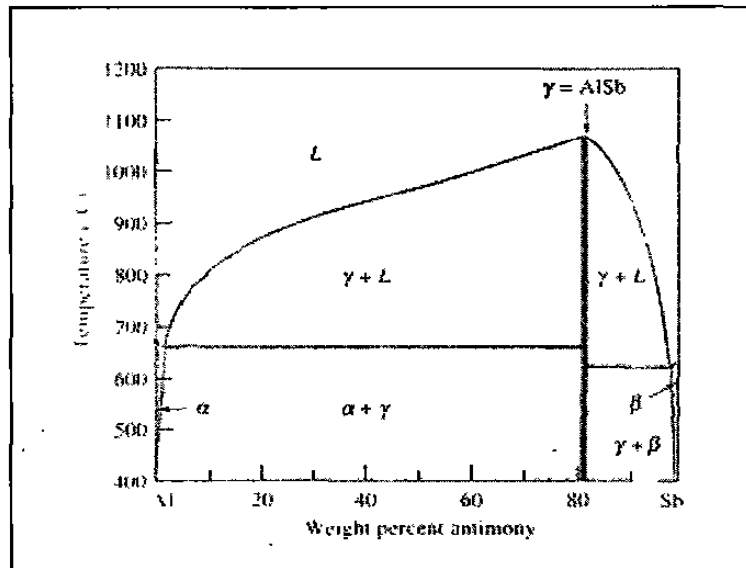


Figura 2.5.- Diagrama de equilibrio Aluminio – Antimonio.

2.8.- Modificación por Antimonio.

Recientemente pequeñas cantidades de Antimonio son utilizadas para modificar la estructura eutéctica de las aleaciones de Aluminio-Silicio. Se reporta que alrededor del 0.12% de Antimonio es agregado para refinar la fase de Silicio en las aleaciones de Aluminio-Silicio como la del tipo A356. El Antimonio es un constituyente permanente de las aleaciones y su efecto modificador parece no desaparecer cuando es, refundido, o desgasificado. Las aleaciones con Antimonio se distinguen por tener baja susceptibilidad a los gases comparado con otras aleaciones con sodio y estroncio. Son vaciadas en baja presión y moldes permanentes.

El Antimonio no es compatible con el Estroncio y el Sodio, si estos elementos son utilizados como modificadores, el Antimonio puede ser envenenado si ocurre la contaminación ó cruce de elementos. El Antimonio no es recomendado en grado alimenticio.

CAPITULO 3

FUNDICIONES DE ALUMINIO

3.1.- Introducción

Las aleaciones Aluminio-Silicio vaciadas son muy versátiles y son las mas utilizadas de todas las aleaciones fundidas y generalmente tienen un rango alto de vaciabilidad. Como materiales fundidos, las aleaciones de aluminio tienen características favorables como se menciona a continuación

- Buena fluidez para llenado de secciones pequeñas.
- Punto de fusión relativamente bajo en comparación con otros metales.
- Rápida transferencia de calor desde el horno hasta el molde.
- El hidrogeno es el único gas con solubilidad apreciable en aluminio y sus aleaciones, pudiendo ser controlado por métodos de desgasificado con Argón ó Nitrógeno.
- Estabilidad química.
- Buena superficie final de vaciado con superficies brillantes y pequeñas ó mínimas imperfecciones.

Las aleaciones de aluminio vaciadas son producidas por inyección, moldes permanentes, arena verde o seca, en yeso. Las aleaciones de aluminio también pueden ser vaciadas en vacío, baja presión, centrifugadas.

3.2.- Grupos generales por composición.

Hablando de la nomenclatura y designación de varias aleaciones vaciadas utilizadas como estándar en Norte América aleaciones importantes han sido desarrolladas para productos de ingeniería en el mundo. Sin embargo cada nación tiene su propia nomenclatura.

Teniendo un gran numero de aleaciones de Aluminio desarrolladas para las fundiciones, existen seis tipos básicos:

- Aluminio-Cobre.
- Aluminio-Cobre-Silicio.
- Aluminio-Silicio.
- Aluminio-Magnesio.
- Aluminio-Cinc-Magnesio.
- Aluminio-Titanio.

3.3.- Selección de la aleaciones vaciadas

Los factores que mas influyen en la selección de las aleaciones para aplicaciones de vaciado incluyen:

- Consideraciones del proceso de vaciado: fluidez, resistencia al cambio brusco de temperatura, rango de solidificación.

- Propiedades mecánicas requeridas: Resistencia y ductilidad, manejo térmico, dureza.
- Requerimientos de servicio: características de presión, resistencia a la corrosión, tratamientos superficiales, estabilidad dimensional y térmica.
- Económicos: maquinabilidad, soldabilidad, costo de lingote, costos de vaciado y tratamiento térmico

3.4.- Propiedades de la aleación A319 (6Si-3.5Cu)

Los valores de la composición química A319 (en porcentaje de peso), son: 3.0 a 4.0 Cu, 0.10 Mg máximo, 0.50 Mn máximo, 5.5 a 6.5 Si, 1.0 de Fe máximo, 1.0 de Zn máximo, 0.25 de Ti máximo, 0.35 de Ni máximo, otros 0.50 máximo.

Las propiedades típicas de la aleación A319 (Ref 3)

Esfuerzo de tensión	185 MPa.
Esfuerzo de cedencia	125 MPa.
% de elongación	2.0
Dureza Brinell	70
Esfuerzo de corte	150 MPa.
Esfuerzo de fatiga	70 MPa.
Razón de Poisson	0.33
Modulo elástico	74 GPa. A tensión 28 GPa. A corte
Densidad	2.79 gr./cm ³ a 20 ⁰ C
Temperatura de líquidos	605 ⁰ C
Temperatura de sólidos	515 ⁰ C
Conductividad térmica	109 W / m ⁰ K
Resistividad eléctrica	63.9 nΩ- m a 20 ⁰ C

Tabla 3.1. Propiedades típicas de la aleación A319.

3.5.- Defectos de solidificación.

Aunque un gran número de defectos pueden introducirse durante la solidificación, dos de ellos merecen una mención especial.

3.5.1.- Contracción.

La mayoría de los materiales son mas densos en estado sólido que en estado líquido. Durante la solidificación, el material se encoge o contrae hasta un 7%. Si la contracción es unidireccional (figura 3.1a) solo una de las direcciones del sólido fundido seria menor que las dimensiones del molde. El molde debe estar sobredimensionado para compensar la contracción.

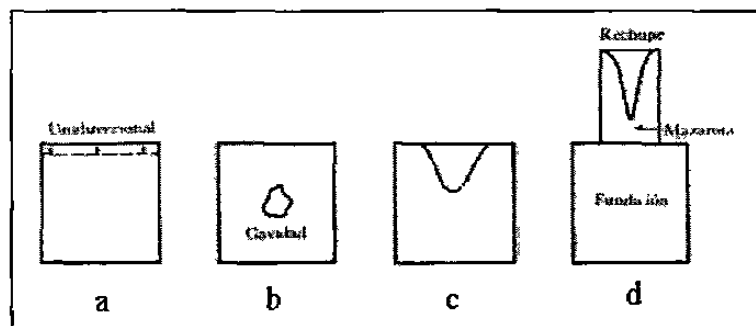


Figura 3.1 Pueden ocurrir varios tipos de macrocontracción incluyendo (a) el unidireccional. (b) la cavidad, y (c) el rechupe. (d) se utilizan mazarotas para ayudar a compensar la contracción.

Sin embargo, en la mayoría de los casos la contracción se presentará como cavidades(fig 3.1b), si la solidificación se inicia en todas las superficies de la fundición, o como rechupe(fig 3.1c), si una superficie se enfría mas lentamente que las otras. En cualquier caso la fundición es defectuosa. Una técnica común para controlar las cavidades y rechupes producidos por la contracción es la mazarota, o una reserva de metal extra, adyacente y unida a la fundición(fig 3.1d). Cuando se solidifica y contrae la pieza fundida, el metal liquido fluye de la mazarota a la fundición para llenar el hueco de la contracción. Solo es necesario asegurarse de que la mazarota solidifique después de la

fundición y de que exista un canal líquido interno que conecte el líquido de la mazarota con el líquido que solidifica al último de la fundición.

La contracción interdendrítica se establece cuando ocurre un crecimiento dendrítico extensivo (figura 3.2). Este defecto, también llamado microcontracción o porosidad por contracción, es difícil de evitar con el uso de la mazarota. Las altas velocidades de enfriamiento pueden reducir los problemas de la contracción interdendrítica, las dendritas pueden acortarse permitiendo que el líquido fluya a través de la red dendrítica hacia la interfase sólida en la solidificación. Además cualquier contracción remanente puede hacerse más fina y más uniformemente distribuida.

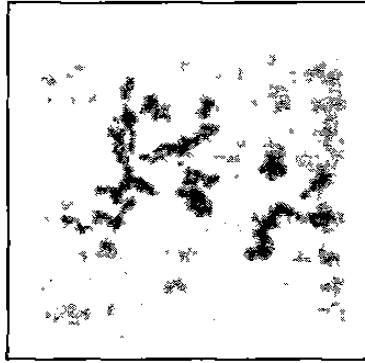


Figura 3.2 Contracción interdendrítica en una aleación de aluminio.

3.5.2.- Porosidad gaseosa.

Mucho de los materiales disuelven una gran cantidad de gas cuando son líquidos, el aluminio, por ejemplo, disuelve al hidrógeno. Sin embargo, cuando solidifica, el metal sólido retiene en su estructura solo una pequeña porción del hidrógeno (figura 3.3). El hidrógeno excedente forma burbujas que pueden quedar atrapadas en el metal sólido, produciendo una porosidad gaseosa. La porosidad puede extenderse uniformemente en toda la fundición o puede quedar atrapada entre los brazos de las dendritas.

La porosidad gaseosa en las fundiciones se minimiza manteniendo baja la temperatura del líquido, añadiendo materiales al líquido (fundentes) para evitar que el metal líquido reaccione con la humedad del ambiente, colocando el metal fundido en un intercambiador de vacío o burbujando un gas inerte a través del metal. El gas disuelto sale del metal, arrastrado hacia el vacío o por el gas inerte.

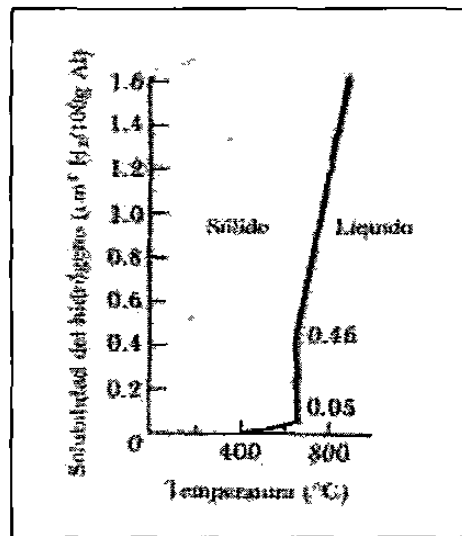


Figura 3.3 Solubilidad del hidrógeno gaseoso en el aluminio. Aunque el aluminio sólido contiene muy poco hidrógeno, la cantidad de hidrógeno que se disuelve en el aluminio líquido es grande y se incrementa rápidamente con la temperatura.

CAPITULO 4

ENSAYO

ESTÁTICO DE TENSIÓN.

4.1.- Introducción.

La prueba de tensión se realiza aplicando una carga que se incrementa (con una relación constante de deformación) a un espécimen de geometría específica, al espécimen al que se le realiza la prueba puede tener varias formas geométricas con secciones transversales diferentes (esto es, cilíndrica, rectangular, etc.).

La prueba de tensión es la de mas amplio uso en las pruebas mecánicas. Hay muchas variantes de estas pruebas, especificadas en detalle por la ASTM (American Society for Testing and Materials), para abarcar las características tan diferentes de materiales tales como metales, elastomeros, plásticos y vidrio.

4.2.- Tipos de probetas para el ensayo de tensión.

Las probetas para el ensayo de tensión se realizan de diferentes formas, la sección transversal de espécimen puede ser redonda, rectangular o irregular según sea el caso. Las formas dimensionales de las probetas depende de las asignaciones que estipulen las normas referidas por las agencias de ensaye e inspección en los materiales y productos.

En la probetas estandarizadas para pruebas de tensión la porción central del tramo recto es de sección menor que los extremos para provocar que la falla ocurra en una sección donde los esfuerzos no resulten afectados por los aditamentos de sujeción. La muestra redonda común para la prueba a la tensión se muestra en la figura 4.1. Su diámetro es ya sea 12.5 ± 0.25 mm. (SI), o 0.500 ± 0.010 pulgada (ingles), con longitudes de calibres respectivas de 50.00 ± 0.10 mm. o 2.000 ± 0.005 pulgadas. En la figura 4.1 se dan detalles adicionales.

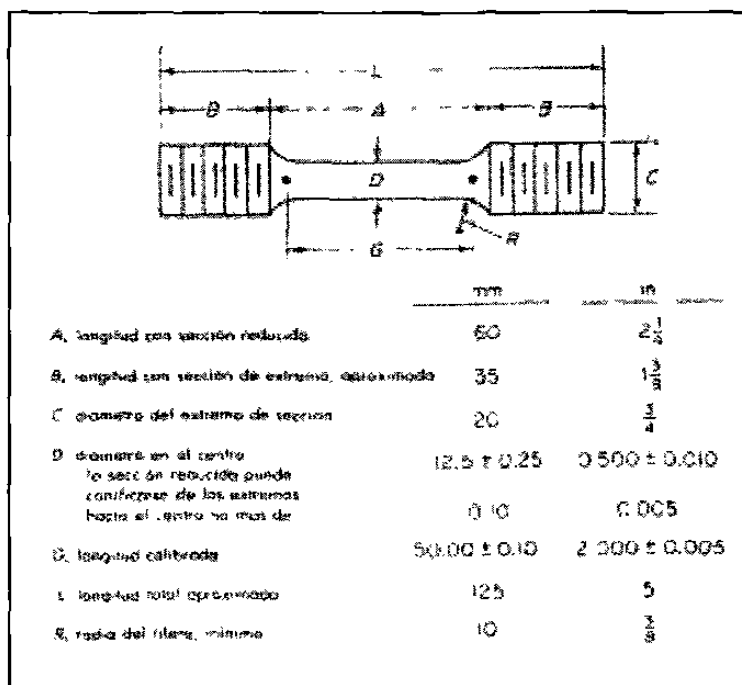


Figura 4.1 Muestra estándar para prueba a la tensión.

Una probeta debe ser simétrica con respecto a un eje longitudinal a lo largo de su longitud para evitar la a flexión durante la aplicación de la carga, lo cual se muestra en la figura 4 .2 .

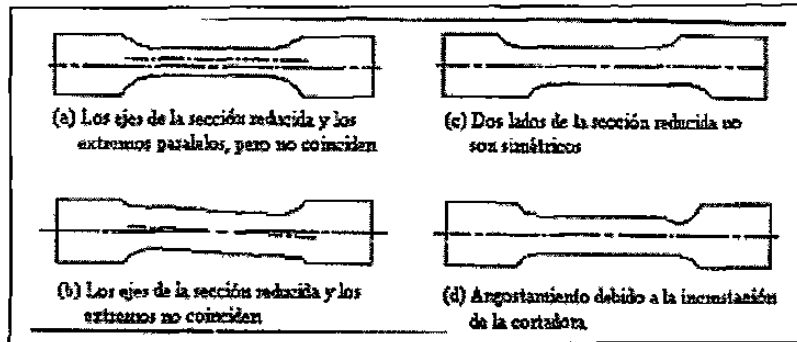


Figura 4.2 Defectos comunes en las probetas Planas.

4.3.- Procedimiento de prueba.

La muestra se sujeta con firmeza en una maquina con la cual se puede aplicar cargas alineadas con el eje de la muestra. Si es necesario, se pueden fijar a ella un extensometro para medir los cambios en longitud. Conforme la muestra se alarga lentamente, las mediciones simultáneas de la carga aplicada y la longitud se anotan ya sea en forma manual o se registran en forma automática. Es conveniente convertir las cargas en cargas unitarias o esfuerzos, y los cambios en longitud en cambios unitarios en longitud o deformación. Los esfuerzos se calculan por la división de la carga entre el área de sección transversal sobre el cual actúa la carga. Las deformaciones se encuentran por la división del cambio en longitud por longitud calibrada, esto es, entre la longitud original de la muestra. Las relaciones esfuerzo-deformación determinadas en esta forma pueden aplicarse a muestras y miembros estructurales cuyas dimensiones difieren de la muestra de prueba. La prueba se completa cuando la muestra finalmente se rompe.

4.4.- Gráfica esfuerzo-deformación.

Los datos que se obtienen en la prueba de tensión se grafican como curvas de esfuerzo-deformación. La figura 4.3 ilustra algunas de las curvas de esfuerzo-deformación que se pueden obtener con materiales de ingeniería típicos. La forma de la curva esfuerzo-deformación dependerá del material que se prueba, la historia de su proceso y de la temperatura a la que se le realiza la prueba.

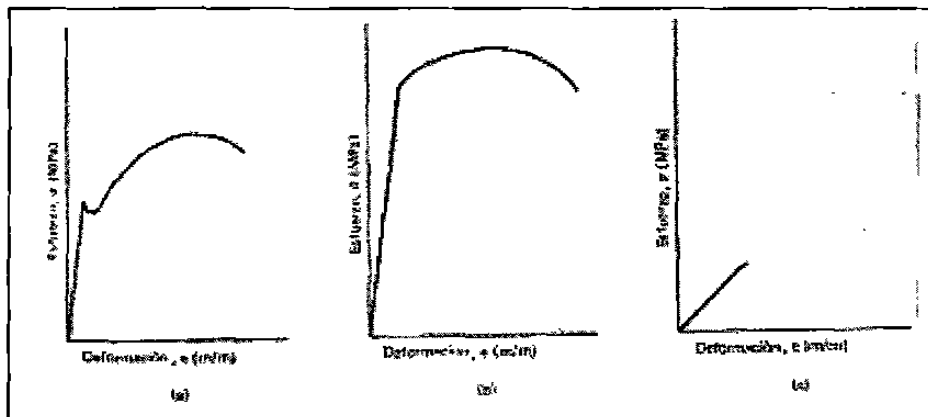


Figura 4.3 Curvas de deformación de : (a) acero al bajo carbón, SAE 1025; (b) aleación de acero, SAE 4340; (c) mármol, CaCO_3 .

4.5.- Propiedades mecánicas que se obtienen.

La curva de esfuerzo-deformación de un material puede proporcionar una gran cantidad de información valiosa sobre el mismo y su adecuación para varias aplicaciones. En la figura 4.4 se presenta una curva típica de esfuerzo-deformación.

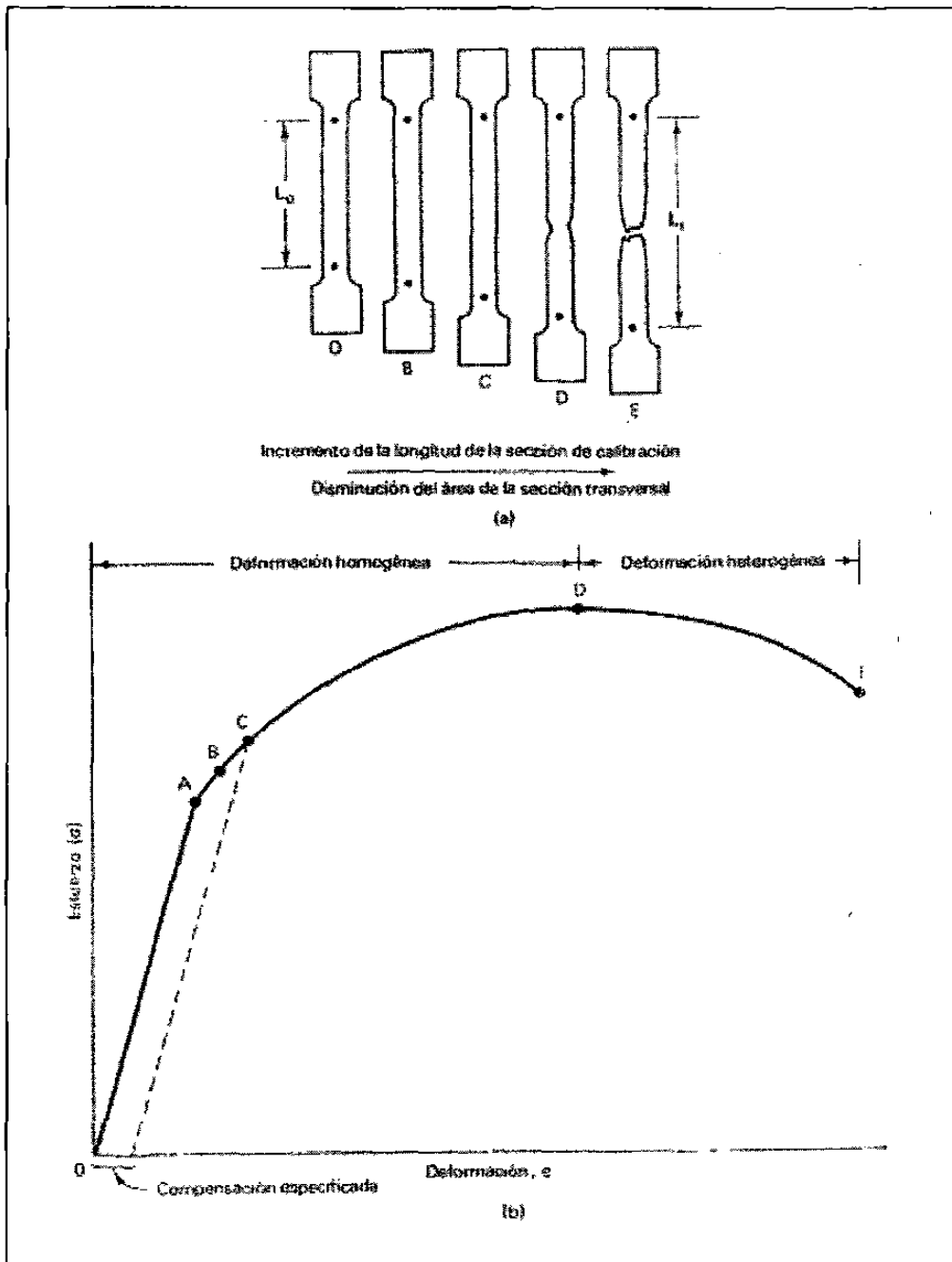


Figura 4.4 (a) apariencia del espécimen de tensión en etapas diferentes de la prueba de tensión; (b) curvas típica de esfuerzo deformación de un metal dúctil: A, límite de proporcionalidad; B, límite elástico; C, resistencia a la fluencia; D, resistencia última de tensión; E, resistencia de fractura.

- **Limite de proporcionalidad:** Limite de proporcionalidad es el valor mas alto para el cual la relación esfuerzo-deformación es lineal. En la figura 4.4 esto sucede en el punto A.
- **Limite elástico:** Es el esfuerzo mas alto que se puede imponer el material sin que haya deformación permanente cuando se remueva la carga (punto B en la figura 4.4).
- **Resistencia de fluencia (σ_{yp}):** La resistencia de fluencia corresponde al esfuerzo que se requiere para producir una deformación plástica pequeña y especifica (punto C en la figura 4.4). El método para determinar el punto de cedencia se le conoce como el método offset. Este método consiste en trazar una línea o recta paralela a la pendiente de la gráfica a partir de un valor de deformación unitaria, el valor mas usual es el de 0.2%.
- **Resistencia ultima de tensión (σ_{max}):** La resistencia ultima de tensión es una medida de la carga máxima que puede soportar un material bajo condiciones de carga uniaxial. Se determina tomando la magnitud de la carga máxima que se obtiene mediante la prueba y dividiéndola entre el área de la sección transversal original (punto D de la figura 4.4).
- **Modulo de elasticidad (Modulo de Young):** El modulo de elasticidad (E) se puede determinar gráficamente a partir de la pendiente de la porción inicial recta de la curva esfuerzo-deformación.
El modulo es una medida de la rigidez del material; mediante mas alto es el modulo, es menor la deformación elástica que resulta de la aplicación de un esfuerzo dado.
- **Ductilidad:** La ductilidad es una medida de la capacidad del material para deformarse plásticamente en las condiciones de la prueba. De la prueba de tensión se derivan dos medidas de la ductilidad y ambas se usan mucho: La reducción de área y el % de elongación, ambas son expresados como un porcentaje y se calcula como sigue:

$$\%R.A. = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100$$

$$\%elongacion = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100$$

En la que A_0 = área de la sección transversal original

A_f = área de la sección transversal final en la fractura

L_0 = longitud original

L_f = longitud final entre las marcas testigo

Resiliencia: Se llama resiliencia a la habilidad de un material de absorber energía cuando se deforma elásticamente y se devuelve cuando se descarga. Por lo común, esta habilidad se mide con el modulo de resiliencia (U_r).

$$U_r = \frac{1}{2} \sigma \epsilon$$

Tenacidad: Es la propiedad que tiene los materiales de absorber energía hasta el punto de ruptura.

$$T = \frac{1}{2}(\sigma_{yp} + \sigma_{max}) \epsilon$$

CAPITULO 5

PROCEDIMIENTO

EXPERIMENTAL

5.1.- Introducción.

El material utilizado fue una aleación de aluminio A319, la cual se le agregó Antimonio, este elemento es considerado como impureza de la aleación por lo que es de interés analizar. Se agregaron como Antimonio metálico de 99.9% de pureza las partes por millón correspondientes a cada una de las muestras.

5.2.- Preparación de las muestras.

La materia prima (Aleación de Aluminio tipo A319) fue proporcionada por NEMAK S.A. de C.V. la cual se fundió en un horno basculante que se muestra en la figura 5.1 se fundieron cargas de 10 Kg, en un crisol de carburo de silicio de 17 Kg. de capacidad según se muestra en la figura 5.2, a estas cargas se le agregaron según la muestra a obtener cantidades especificadas de Antimonio, se inyectó argón a la carga a una presión de 2 Kg./cm^2 por un tiempo de 15 minutos como se muestra en la figura 5.3. Iniciándose el bombardeo con el argón al alcanzar el caldo una temperatura de 630°C y vaciándose a una temperatura de $690\text{-}710^{\circ}\text{C}$ según se muestra en la figura 5.4 en un molde de arena verde del cual se obtuvieron barras cilíndricas de 1 pulgada de diámetro.

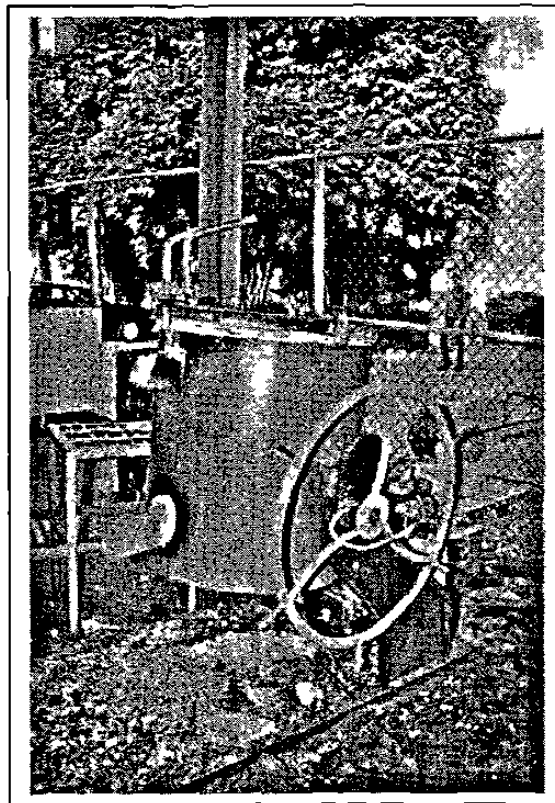


Figura 5.1 Horno basculante.

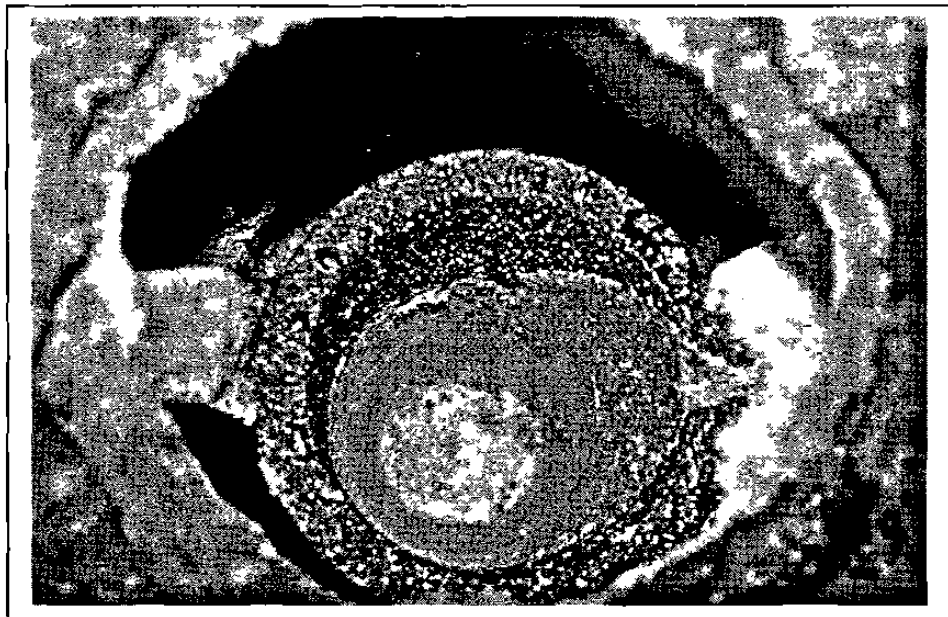


Figura 5.2 Crisol de carburo de silicio de 17 Kg. de capacidad.

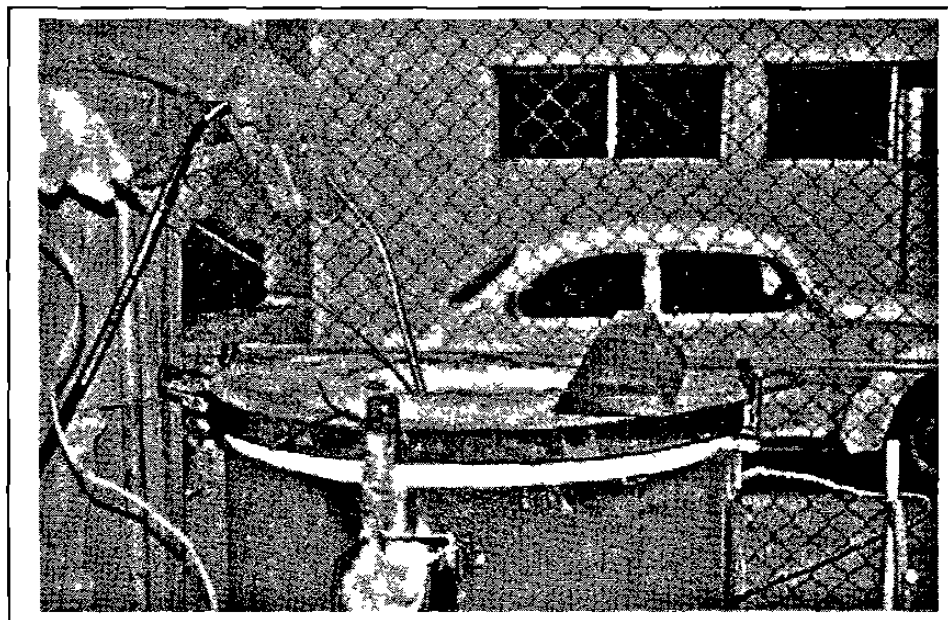


Figura 5.3 Bombardeo con argón a la carga.



Figura 5.4 Vaciado del aluminio.

Posteriormente se maquinaron estas barras para obtener probetas de tensión según estándar ASTM E-8 como se muestra en la figura 5.5.

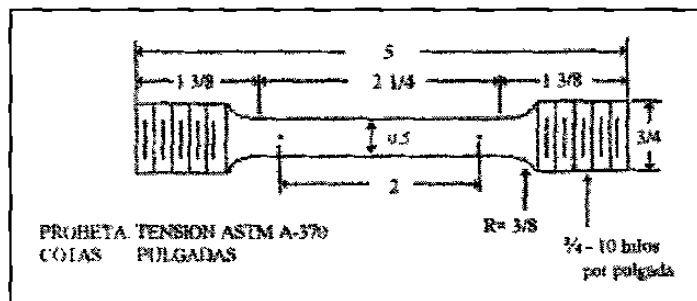


Figura 5.5 Probetas de tensión estándar ASTM E-8.

5.2.1.- Horno de fundición del aluminio.

El horno de crisol del tipo volteo que se muestra en la figura 5.1, requiere un crisol como se muestra en la figura 5.2, con una boquilla adecuada para verter el material cuando se incline el horno.

5.2.2.- Recomendaciones para la fusión de Aluminio.

La mayoría de los metales no ferrosos y sus aleaciones se oxidan, absorben gases y otras sustancias y forman escoria con facilidad cuando se calientan. El aluminio y sus aleaciones tienen una tendencia marcada para absorber hidrógeno cuando se calienta. Este gas se libera en el enfriamiento y provoca pinchaduras dañinas y porosidad en los colados. Debe evitarse la exposición a un medio que forme hidrógeno, como vapor de agua. Son importantes los materiales limpios y secos; es deseable un ligero exceso de aire en la atmósfera del horno.

El aluminio fundido reacciona con facilidad con el hidrógeno para formar una película en la superficie. Afortunadamente la escoria sirve como un buen blindaje entre el hidrógeno y la oxidación subsecuente si no se rompe la capa.

La cantidad de oxidación y la tendencia a absorber hidrógeno aumenta con la temperatura y el tiempo. La temperatura excesiva también provoca granos gruesos en los colados. Estas consideraciones dictan el procedimiento de fundición para los mejores resultados. El aluminio no debe calentarse más de 50 °C arriba de la temperatura necesaria para el vertido. La temperatura se verifica con un pirómetro de inmersión. El tiempo de fusión debe ser corto con la menor agitación posible.

El aluminio común no requiere mucho fundente para protección como otros metales debido a su película de óxido. Sin embargo debe reducirse el gas en el metal. Por lo que puede burbujear Cloro, Argón o Nitrógeno a través del metal fundido.

5.2.3.- Características a las cuales se fundieron las muestras de aluminio.

Con lo anterior el procedimiento de vaciado fue con las siguientes características:

- Horno basculante

- Crisol de carburo de silicio con capacidad de 17 Kg. revestido con una capa de grafito.
- Temperatura de inicio de inyección de argón de 630 °C a una presión de 2 Kg./cm² durante un tiempo de 15 min.
- Temperatura de vaciado de 650 °C. Verificando la temperatura constantemente elevándose a un máximo de 690 - 710 °C.

CAPITULO 6

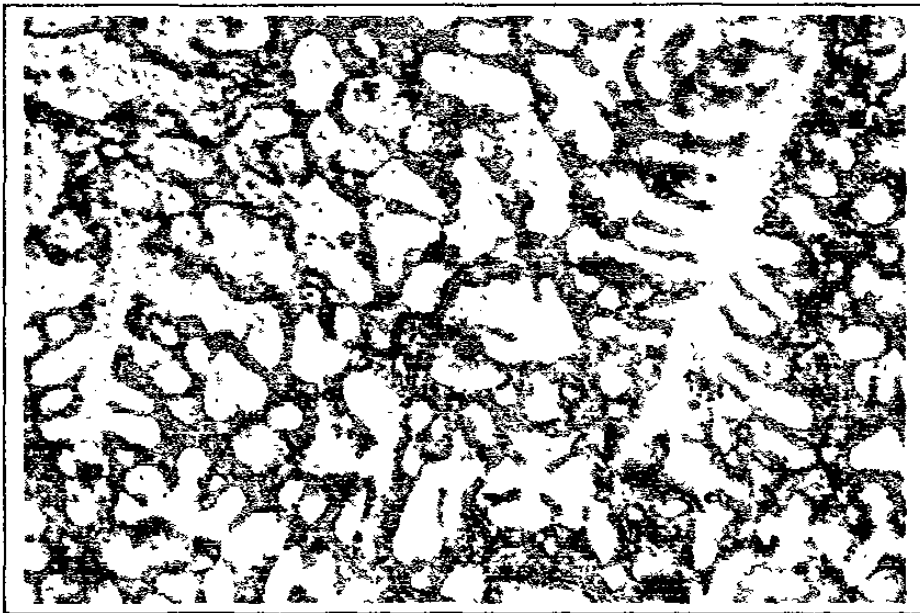
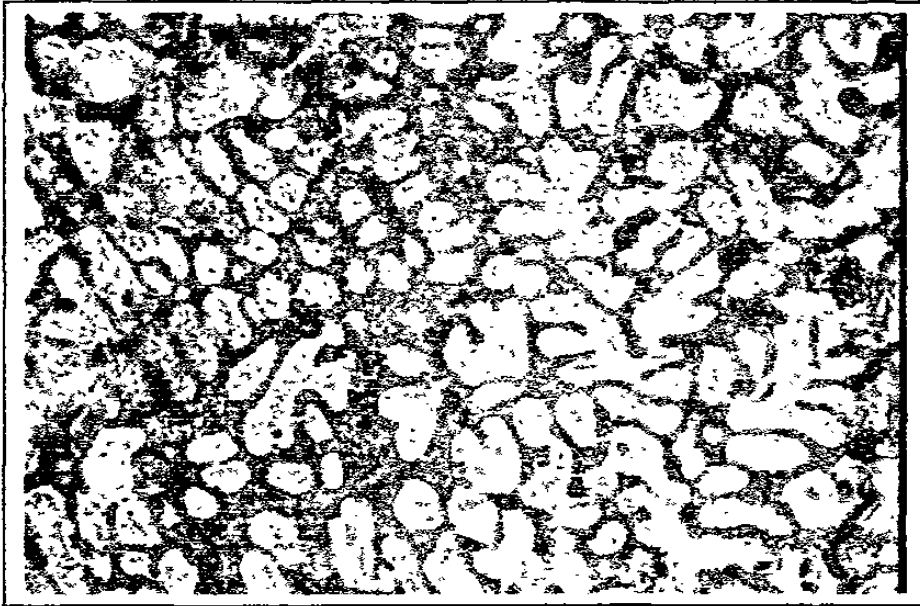
MICROESTRUCTURAS

6.1. Microestructuras de las muestras.

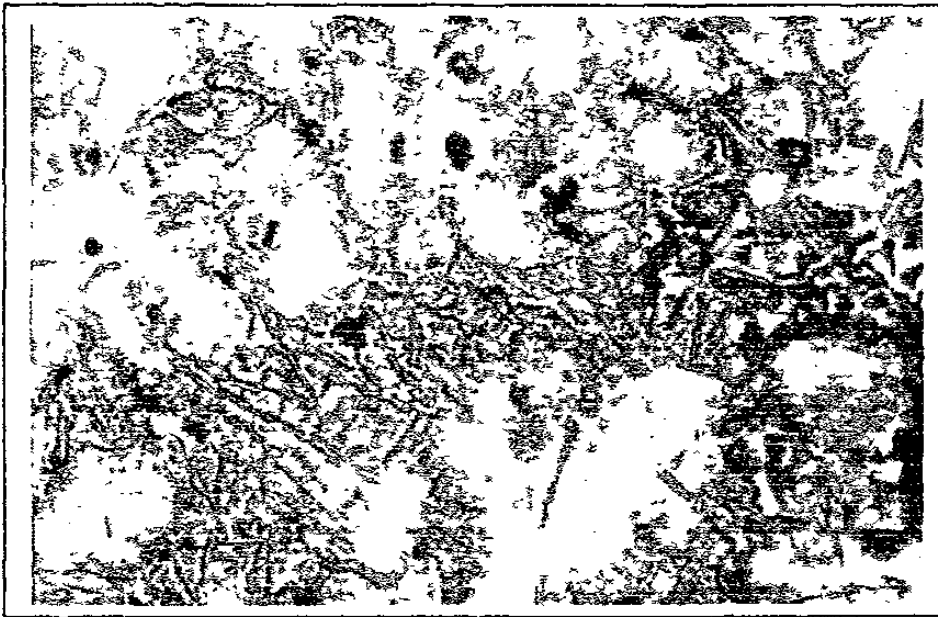
Se realizaron ensayos metalograficos de las muestras para observar el grado de modificación para cada una de las condiciones. En la figura 6.1 a 6.4 se observan la microestructura para 150, 250, 350, y 500 partes por millón de Antimonio en la aleación de aluminio A319.

Se observa una modificación significativa para las diferentes composiciones. Esto viene a complementar el estudio del material.

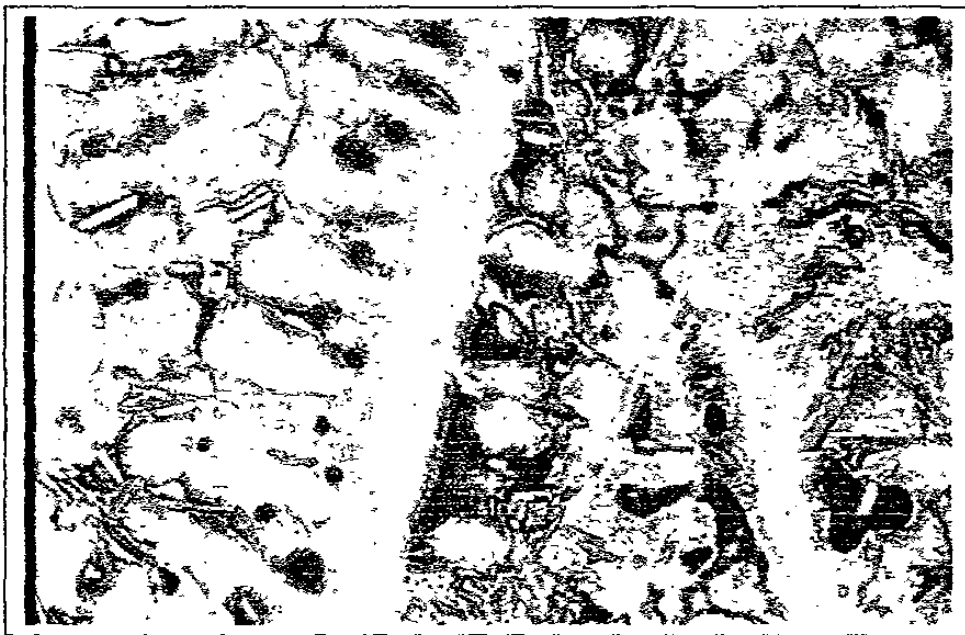
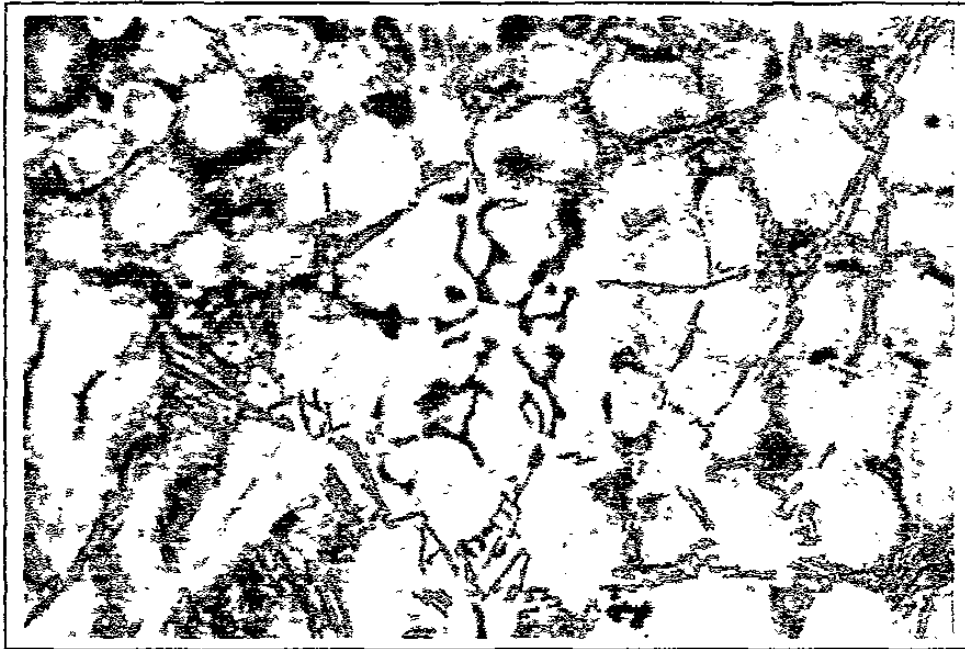
Las siguientes figuras son una serie de fotografías que se tomaron directamente del microscopio.



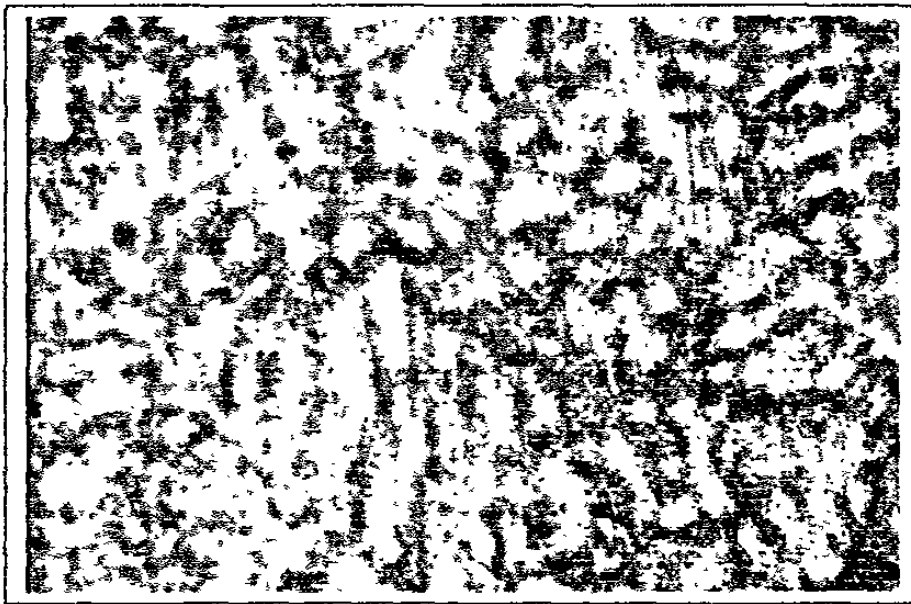
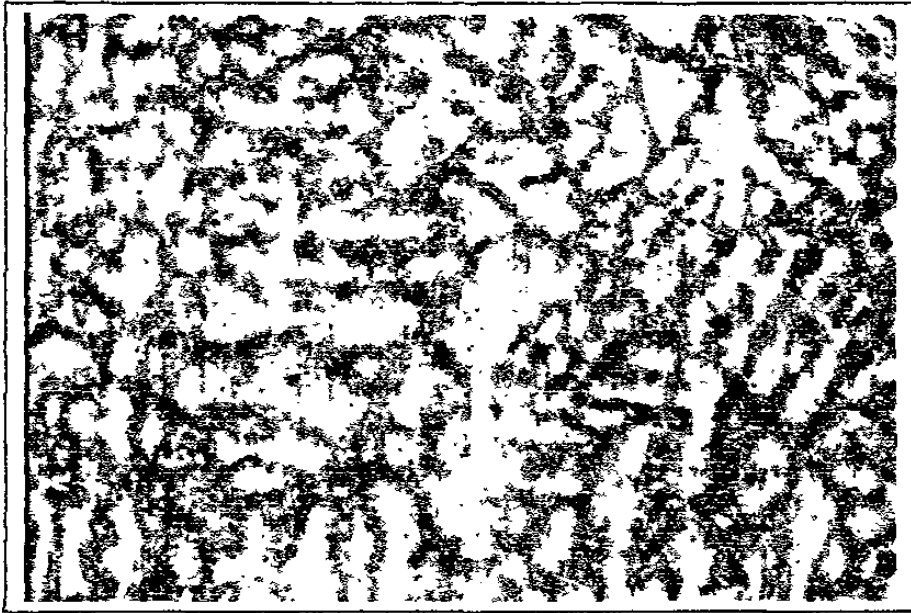
Figuras 6.1. Microestructura con 150 partes por millón de Antimonio en la aleación de aluminio A319



Figuras 6.2. Microestructura con 250 partes por millón de Antimonio en la aleación de aluminio A319



Figuras 6.3. Microestructura con 350 partes por millón de Antimonio en la aleación de aluminio A319



Figuras 6.4. Microestructura con 500 partes por millón de Antimonio en la aleación de aluminio A319

Las siguientes figuras se tomaron directamente del microscopio electrónico de barrido, en ellas podemos observar tanto el crecimiento dendrítico, la distribución del hierro en relación a las partes por millón de Antimonio, la forma diferente del eutéctico en relación al Antimonio.

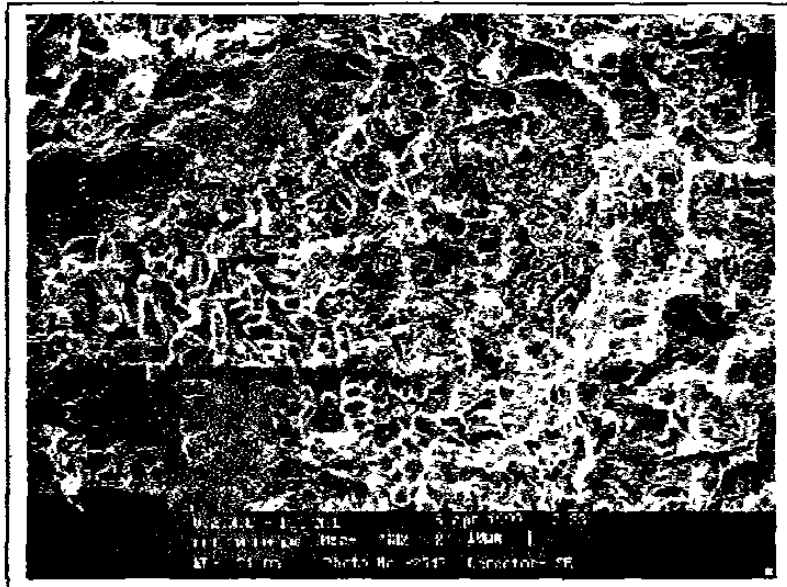


Figura 6.5 Crecimiento dendritico 500x, 150 ppm de Antimonio.



Figura 6.6 La figura muestra el hierro segregado a 150 ppm de Antimonio, en las fronteras de grano, en tonos rojos

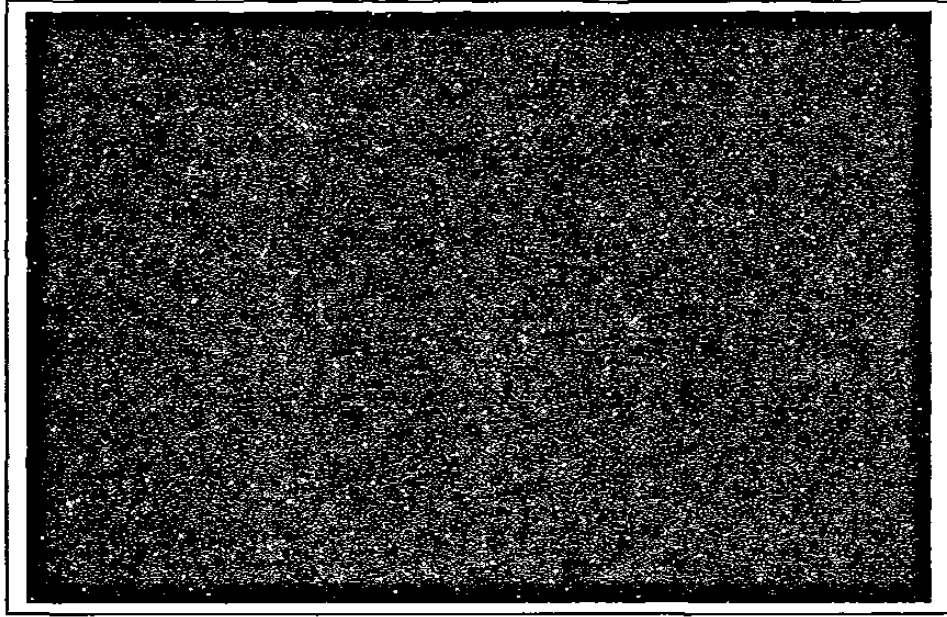


Figura 6.7 La figura muestra el hierro segregado a 500 ppm de Antimonio, en las fronteras de grano, en tonos rojos.

CAPITULO 7

RESULTADOS Y DISCUSION.

7.1.- Introducción.

En los ensayos de tensión realizados en las muestras con diferentes porcentaje de Antimonio se obtuvieron los siguientes resultados.

7.2.- Ensayos de tensión.

Con los valores de carga y deformación registrados en los ensayos de tensión se obtuvieron gráficas de esfuerzo- deformación ingenieriles de cada una de las muestras.

Utilizando el método offset con criterio de deformación del 0.2% se determinó el esfuerzo de cedencia σ_{yp} con los siguientes resultados:

7.3. Gráficas Esfuerzo-deformación ingenieriles.

Los valores esfuerzo y deformación ingenieriles de tensión se calculan a partir del área y longitud inicial de la probeta, con ellos se obtienen las gráficas que nos permiten observar el comportamiento del material para cada condición, las cuales se muestran de la figura 7.1 a la 7.4.

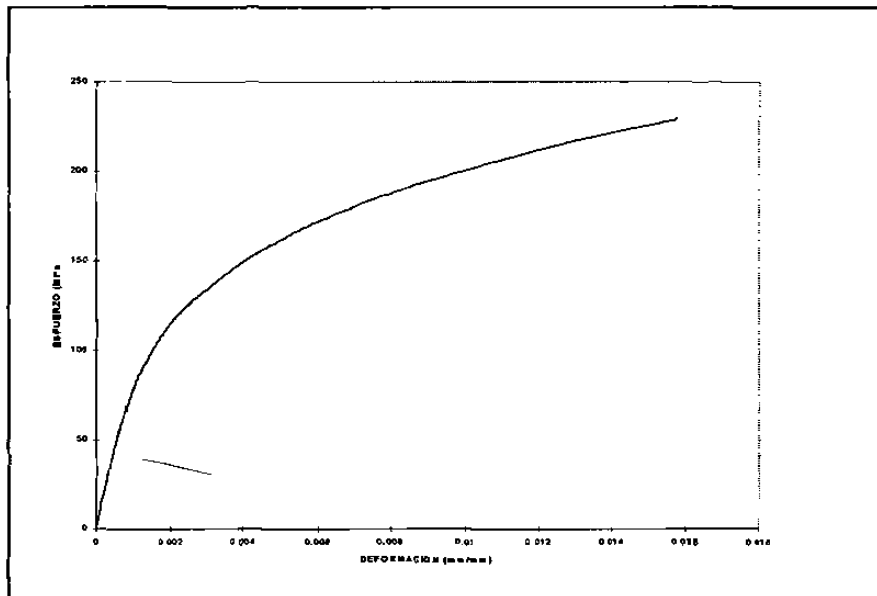


Fig 7.1 Ensayo Estático de tensión para 150 ppm de Antimonio.

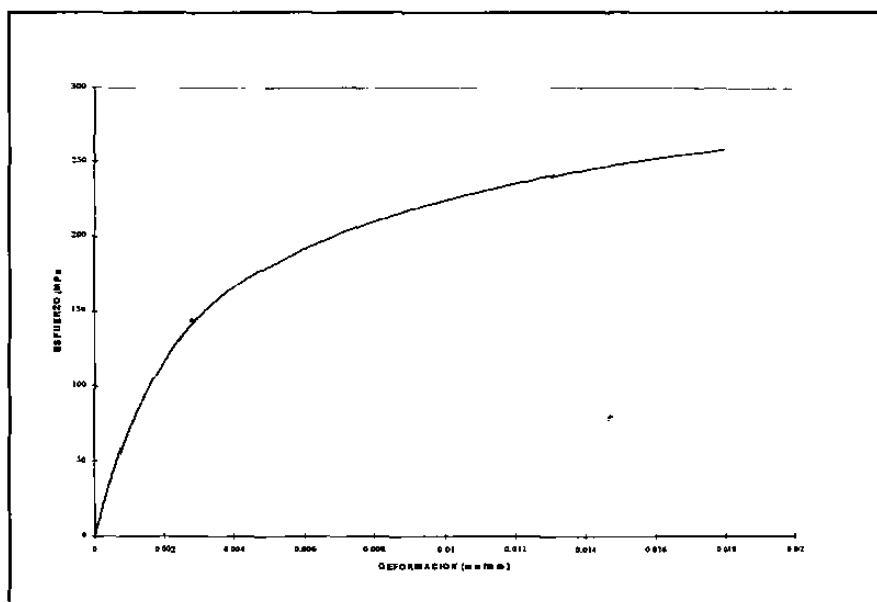


Fig 7.2. Ensayo Estático de tensión para 250 ppm de Antimonio.

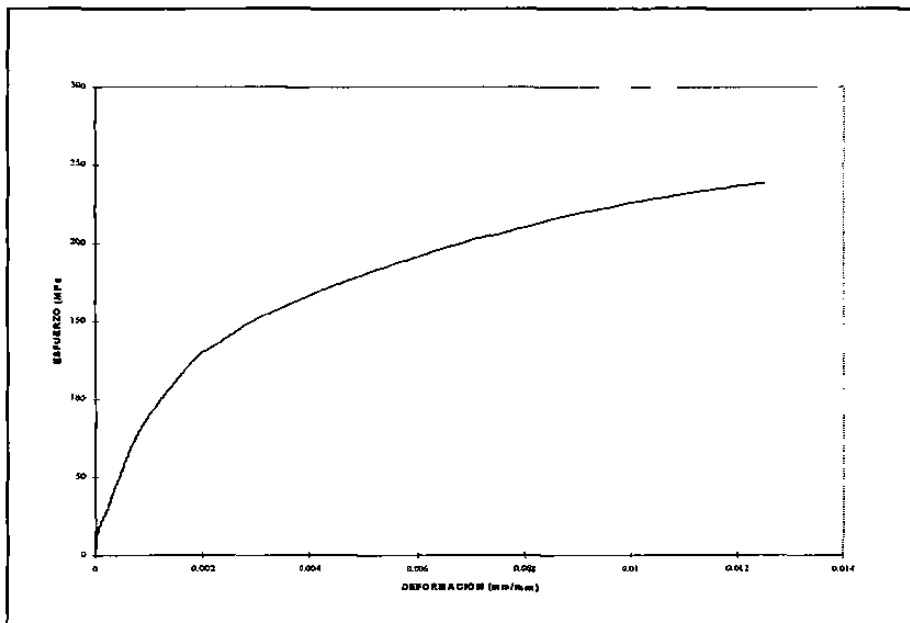


Fig 7.3 Ensayo Estático de tensión para 350 ppm de Antimonio.

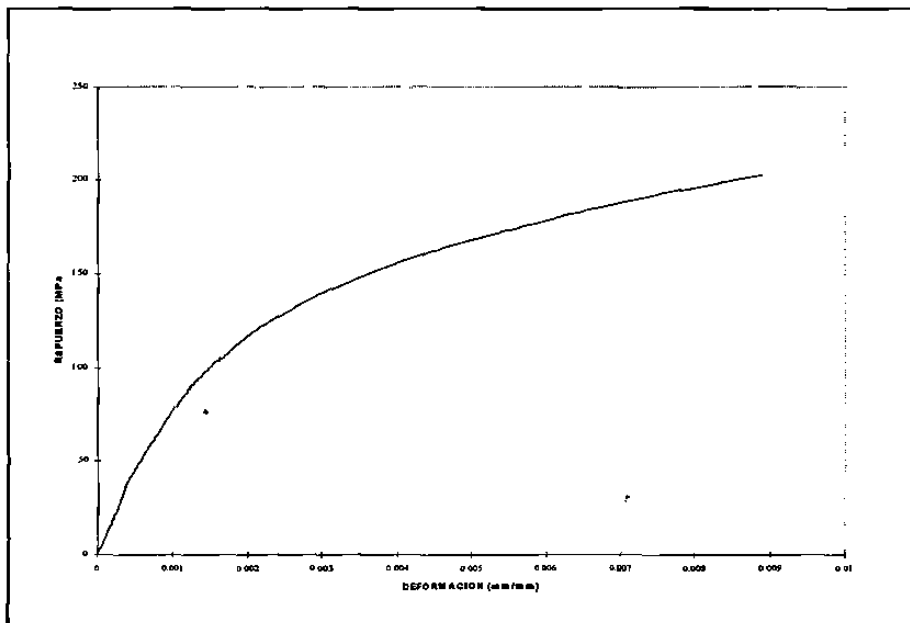


Fig 7.4 Ensayo Estático de tensión para 500 ppm de Antimonio.

PARTES POR MILLON DE ANTIMONIO	ESFUERZO DE CEDENCIA (MPA)
150	148.19
250	176.31
350	166.22
500	160.82

Tabla 7.1 Variación del esfuerzo de cedencia a diferentes partes por millón de Antimonio

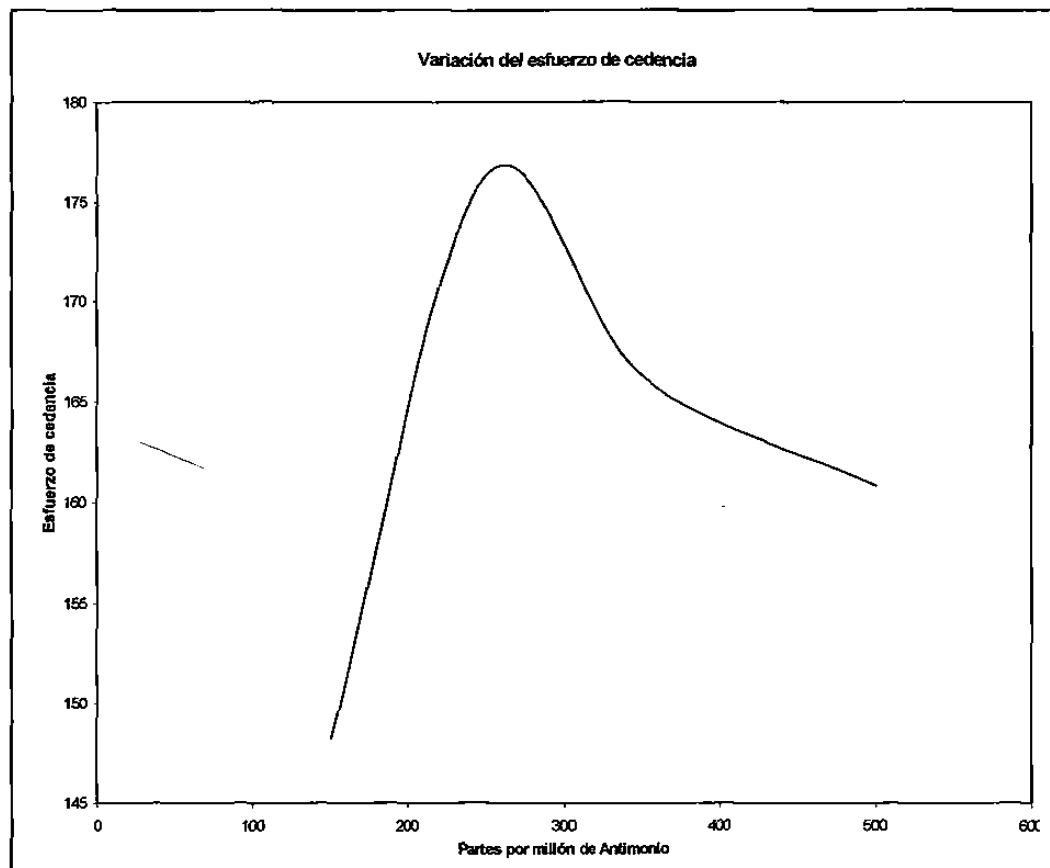


Figura 7.5-Gráfica de la variación del esfuerzo de cedencia contra partes por millón de Antimonio.

7.4. Composición química.

El análisis químico realizado para cada una de las muestras reveló que los elementos de aleación estaban presentes con los siguientes porcentajes en peso.

Si	Cu	Fe	Mn	Mg	Zn
7.37	3.21	0.569	0.394	0.288	0.556
Ti	Cr	Sn	Ni	Pb	Na
0.092	0.025	0.013	0.033	0.033	0.0003
Sr	P	B	Ca	Sb	Al
0.0008	0.0008	0.0001	0.0016	0.0143	87.4

Tabla 7.2 Composición química para 150 partes por millón de Antimonio.

Si	Cu	Fe	Mn	Mg	Zn
7.27	3.28	0.542	0.377	0.292	0.557
Ti	Cr	Sn	Ni	Pb	Na
0.093	0.022	0.013	0.034	0.034	0.0002
Sr	P	B	Ca	Sb	Al
0.0008	0.0007	0.0001	0.0015	0.0246	87.46

Tabla 7.3 Composición química para 250 partes por millón de Antimonio.

Si	Cu	Fe	Mn	Mg	Zn
7.33	3.14	0.582	0.406	0.293	0.556
Ti	Cr	Sn	Ni	Pb	Na
0.095	0.024	0.013	0.032	0.034	0.0002
Sr	P	B	Ca	Sb	Al
0.0008	0.0007	0.0001	0.0015	0.0361	87.46

Tabla 7.4 Composición química para 350 partes por millón de Antimonio.

Si	Cu	Fe	Mn	Mg	Zn
7.28	3.20	0.612	0.423	0.336	0.571
Ti	Cr	Sn	Ni	Pb	Na
0.080	0.023	0.013	0.034	0.035	0.0002
Sr	P	B	Ca	Sb	Al
0.0006	0.0007	0.0001	0.0014	0.0484	87.34

Tabla 7.5 Composición química para 500 partes por millón de Antimonio.

7.5. Gráficas comparativas

En la siguiente sección se analizarán las gráficas esfuerzo-deformación a tensión para las diferentes partes por millón de Antimonio, dureza y esfuerzo de cedencia contra partes por millón de Antimonio.

En la figura 7.6 se hace una comparación entre las gráficas de esfuerzo-deformación de las muestras para las diferentes partes por millón de Antimonio.

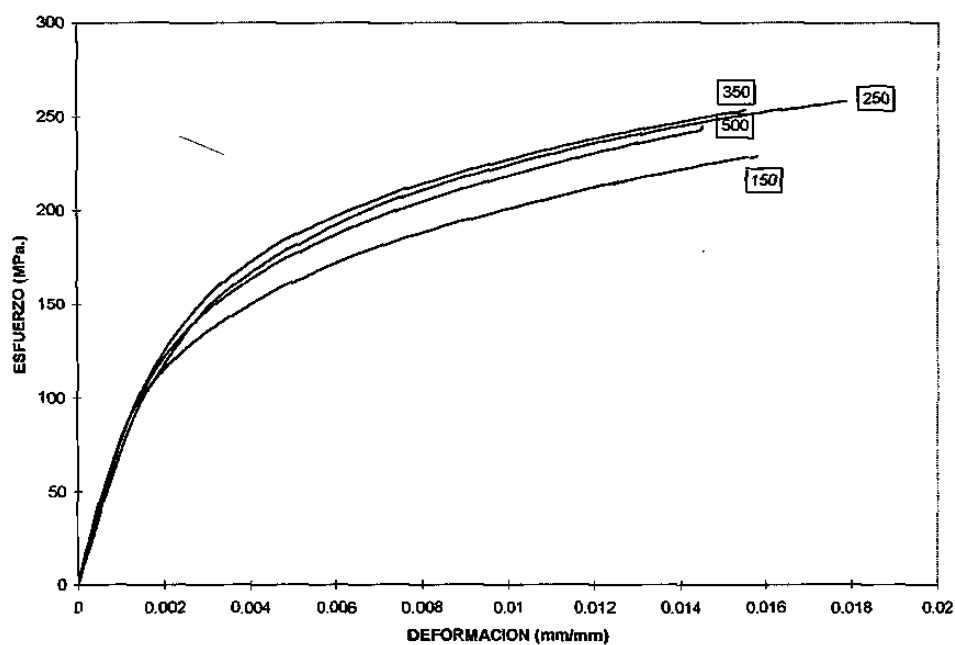


Figura 7.6 Comparación entre las gráficas esfuerzo-deformación a tensión de las muestras.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones:

- Si se ve el efecto positivo (benefico) del Antimonio.
- El efecto decae a altas concentraciones de Antimonio (500 ppm).
- Decae debido a que en la microestructura se presenta un cambio en la fase eutéctica.
- Existe una caída en el nivel de modificación a altas concentraciones de Antimonio.

- Un efecto adicional se presenta a los intermetalicos de hierro, estos presentan un cambio de morfología de la escritura china a poligonos cuando el contenido de Antimonio es de 250 partes por millón como se muestra en la figura 6.2.
- Este efecto es semejante al observado en aleaciones de Aluminio-Silicio con contenidos de Estroncio cercanos a las 300 partes por millón. La figuras 6.6 y 6.7 muestran la tendencia del Antimonio a interactuar con la fase Silicio y con los intermetalicos de Hierro.
- Si se comparan las figuras de la 7.1 a la 7.4 observamos que el efecto del antimonio en 250 partes por millón la cedencia se eleva en 18.98% siendo este el aumento mas considerable de cedencia, ya que para 350 y 500 partes por millón decrece de manera gradual. La condición para que se presente este efecto debe ser en algún cambio de la microestructura como se muestra en las figuras 6.1 a 6.4.
- Se observa que la modificación por Estroncio en muestras adicionales es afectada por el Antimonio ya que reduce el nivel de modificación.

8.2. Recomendaciones:

- Realizar ensayos de tensión, compresión y dureza para un rango mas amplio de partes por millón en el la aleación de aluminio tipo A319.
- Así mismo pruebas donde intervenga la temperatura, realizando tratamientos térmicos a las muestras.
- Ensayos con diferentes velocidades de aplicación de carga.
- Realizar ensayos de conductividad térmica, impacto, fatiga, para observar el efecto del Antimonio en diferentes tipos de trabajo.
- Realizar análisis con rangos diferentes de estroncio y antimonio para determinar máxima cantidad de Antimonio que puede ser permitida en la aleación sin afectar los niveles de modificación.
- Evaluar el efecto del Antimonio en aleaciones de aluminio tipo A319 con altos y bajos contenidos de fierro para determinar su influencia en intermetalicos de fierro.

BIBLIOGRAFÍA.

A.S.M. Handbook.
Mechanical Testing.
Volumen 7,1990.

A.S.M. Handbook.
Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials.
Volumen 2, 1990.

Donal R Askeland.
La Ciencia e Ingeniería de los Materiales.
Grupo Editorial Iberoamericana, 1987.

Sidney H. Avner.
Introducción a la Metalurgia Física.
Editorial Mc. Graw Hill 2a. Edición, 1988.

Lawrence e. Doyle.
Materiales y Procesos de Manufactura Para Ingenieros.
Editorial Prentice Hall 3era. Edición, 1994.

Peter A. Thornton, Vito J. Colangelo.
Ciencias de Materiales Para Ingeniería.
Editorial Prentice Hall 2a. Edición, 1988.

1020130048

APENDICE A

ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL

A.1.- Introducción.

Las cargas de compresión se aplican a muchas estructuras de ingeniería, en el formado de metales son muchos mas comunes que las de estirado, procesos importantes en la industria comprenden el laminado, forjado y extrusión.

En el ensayo de compresión una probeta preparada se somete a una carga gradualmente creciente en sus extremos, la cual produce una acción aplastante, hasta que ocurre la falla, es de los ensayos mecánicos el mas simple. No esta limitado a al determinación de las propiedades de un material en forma estandarizada se puede utilizar en materiales manufacturados, piezas fabricadas y miembros estructurales.

A.2.- Requisito para ser un elemento a compresión.

Existen dos tipos de elementos sometidos a carga de compresión, elementos cortos (falla por compresión o aplastamiento) y elementos largos (columnas falla por pandeo).

Es necesario que la probeta trabaje a compresión y no a la acción de elementos estructurales como columnas, a medida que la longitud aumenta se presenta una tendencia hacia la flexión de la pieza, con la consiguiente distribución no-uniforme de esfuerzo.

La relación entre la longitud y sección de una probeta, se conoce como relación de esbeltez y esta dado por el cociente entre la longitud inicial y el radio de giro.

$$\text{Relación de esbeltez} = L_0 / \rho$$

Donde :

L_0 = Longitud inicial

ρ = Radio de giro

El radio de giro es la raíz cuadrada del momento de inercia de la sección respecto al área transversal de la probeta.

$$\rho = (I / A)^{1/2}$$

Donde :

ρ = radio de giro.

I = momento de inercia menor de la sección.

A = área de la sección transversal.

Cuando la relación de esbeltez es mayor que 40 se considera un elemento corto, si es mayor de 60, columna larga y con un valor entre 40 y 60, columna intermedia.

A.3.- Forma de las probetas.

Para que el esfuerzo sea uniforme en la probeta de compresión, una sección circular es preferible a otras formas, sin embargo la sección cuadrada o rectangular se usa frecuentemente para piezas manufacturadas, por ejemplo el azulejo y el ladrillo.

A.3.1.- Probetas en forma cilíndrica.

Se recomienda que las probetas estandarizadas sean de formas cilíndricas circular sólida, tres formas de probetas son recomendadas por la ASTM E-9, designadas como corta para usarse en placas, mediana para uso general y larga para ensayos que determinen el modulo de elasticidad fig. A.1, se sugiere una relación entre longitud y diámetro (L/D) de 10 como limite superior practico.

La probeta no debe variar en diámetro, en mas de 0.05 mm, los extremos deben de ser planos para no causar concentraciones de esfuerzos y perpendiculares al eje de la pieza para no causar flexión debida a la carga concéntrica.

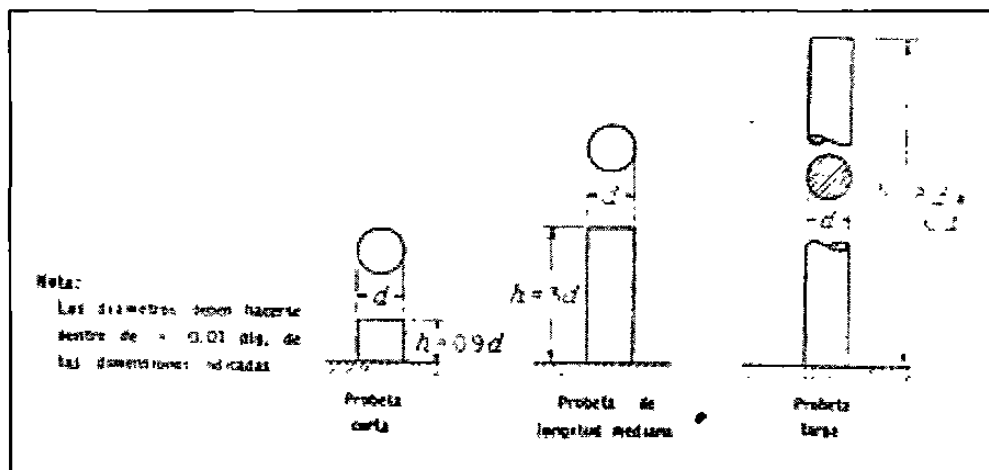


Figura A.1 Probetas para ensayo de compresión en materiales metálicos ASTM E-9.

A.3.2.- Probetas rectangulares.

Probetas en forma rectangular se pueden utilizar con un largo y ancho que depende de la junta usada para soportar la muestra. El largo debe ser el suficiente para cortar la probeta la cantidad requerida para definir el punto o esfuerzo de cedencia, pero no tan largo que permita buleo.

A.4.- Precauciones al hacer el ensayo.

Las dimensiones deben determinarse con precisión, el largo y el diámetro de la probeta se miden con un micrómetro o vernier, en las probetas cilíndricas, deben hacerse dos mediciones de diámetros perpendicularmente. Los extremos de la probeta y las caras de los bloques de apoyo deben limpiarse con acetona o con cualquier otro solvente adecuado para quitar la grasa y el aceite que pudiera influir en la restricción friccional de las superficies. Debe tenerse mucho cuidado para lograr el centrado y la alineación de la probeta y los bloques de apoyo en la maquina de ensayo.

La velocidad del ensayo no debe ser mayor que aquella a la cual las lecturas de carga y deformación puedan tomarse con el grado de exactitud deseado, estos valores servirán para obtener la gráfica esfuerzo-deformación.

A.5.- Gráfica esfuerzo-deformación.

La gráfica de esfuerzo contra deformación es la relación que describe las propiedades mecánicas de los materiales. Hay dos tipos, el ingenieril (e, S) y la real (ϵ, σ), esta última es la más significativa con los estudios relacionados con las operaciones de formado.

A.5.1.- Gráfica ingenieril.

El esfuerzo y deformación ingenieriles en un ensayo de compresión se definen con respecto la longitud y área original del espécimen. el esfuerzo se obtiene:

$$S = P/A_0$$

Donde:

S = esfuerzo ingenieril (Mpa, Ksi)

P = carga (N, Lb)

A₀ = área inicial (mm², pulg²)

La deformación ingenieril se define como:

$$e = \delta / L_0$$

Donde :

e = deformación ingenieril (mm/mm, pulg/pulg).

δ = deformación total (mm, pulg).

L₀ = longitud inicial (mm, pulg).

A.5.2.- Gráfica real.

El esfuerzo real en cualquier momento dado durante la prueba, es menor que el esfuerzo de ingeniería, ya que el área instantánea sobre la cual la carga esta distribuida es mas grande que el área inicial. El valor de esfuerzo que se obtiene al dividir la carga aplicada entre el valor instantáneo del área se definen como esfuerzo real.

$$\sigma = F/A$$

Donde:

σ = esfuerzo real (Mpa, Ksi).

F = fuerza (N,Lb).

A = área real instantánea que resiste la carga (mm^2 , pulg^2).

La deformación real se define como:

$$\epsilon = \int_{L_0}^L dL / L = \ln(L / L_0)$$

Donde:

L = Longitud instantánea.

L_0 = Longitud inicial.

En la curva esfuerzo- deformación tiene dos regiones, que indican formas distintas de comportamiento, uno elástico y otro plástico. La diferencia entre las curvas real e ingenieril se da en la región plástica, la figura A.2 muestra curvas ingenieriles características para materiales dúctiles y no dúctiles en compresión, la línea punteada es la curva real, en compresión es mas baja debido al aumento de sección en la probeta.

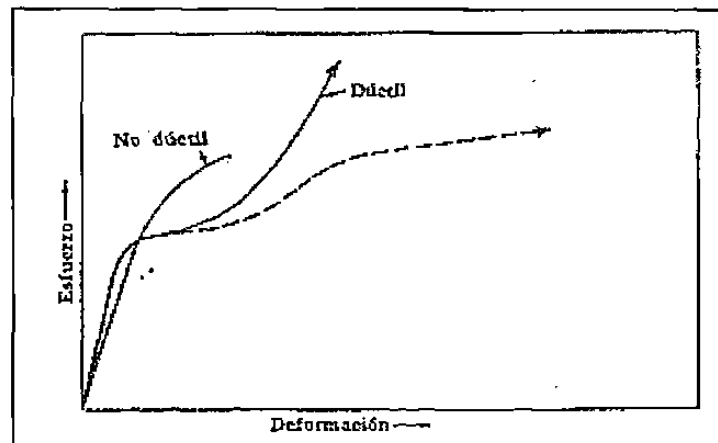


Figura A.2 Relaciones entre esfuerzo y deformación en muestras sometidas a compresión.

El esfuerzo y deformación real se relacionan con los ingenieriles mediante las expresiones:

$$\sigma = S (1 - e)$$

$$\varepsilon = \ln (1 - e)$$

A.6.- Limitaciones al realizar el ensayo.

Los datos de esfuerzo y deformación calculados pueden ser erróneos cuando en la probeta sometida con presión suceden los siguientes fenómenos:

- Pandeo o Bucleo (*Buckling*).
- Abarrilamiento (*Barreling*).

Los riesgos del Bucleo (*Buckling*) se pueden reducir si se tiene cuidado en el alineamiento de la probeta para aplicar la carga axial.

Cuando una probeta cilíndrica es comprimida, la expansión de Poisson ocurre, si es restringida por la fricción entre los extremos de la probeta y los dados de la maquina, da como resultado la característica de abarrilamiento como se muestra en la figura A.3, a causa de esta fricción se generan esfuerzos tridimensionales difíciles de analizar.

A.7.- Propiedades que se obtienen en el ensayo de compresión.

En un ensayo comercial una propiedad que generalmente se determina es la resistencia máxima a la compresión que es el esfuerzo máximo que el material es capaz de desarrollar, un material quebradizo posee un valor definido, en el caso de materiales dúctiles en valor que se obtiene es arbitrario dependiendo del grado de deformación que se requiera.

Propiedades como el esfuerzo de cedencia, modulo de elasticidad y resiliencia se pueden obtener para cualquier material en un ensayo de compresión.

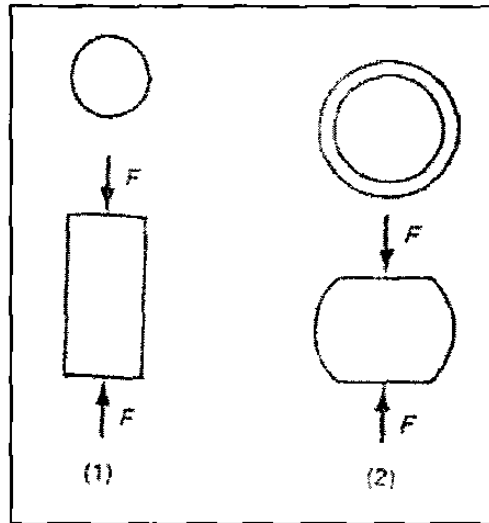


Figura A.3 Efectos de abarrilamiento en ensayos de compresión. (1) Inicio del ensayo (2) después del ensayo de compresión.

A.8.- Reducción de la fricción.

El uso de un lubricante entre la probeta y los aditamentos de la maquina reduce la fricción, un material de uso muy común es el teflon en cinta de 0.1 mm de espesor, también puede utilizarse de fluocarbono o bismuto de molibdeno, la acción del lubricante puede mejorar si las caras de las probetas son pulidas.

A.9.- Fracturas en el ensayo de compresión.

Las probetas de todos los materiales se fracturan cuando se comprimen, las grietas se inician en la superficie exterior.

En algunos materiales ocurre en la superficie el efecto cascara de naranja antes de la falla, en particular en algunas aleaciones de aluminio, un ejemplo es el mostrado en la figura A.4 para la aleación 7075-T6.

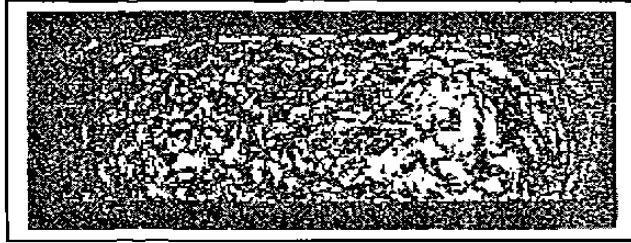


Figura A.4 Vista de una aleación de aluminio 7075-t6 comprimida un 72 % mostrado el efecto piel de naranja y agrietamiento.

Hay casos en los que se presentan macrogrietas como se muestra en la figura A.5, corresponde a un acero AISI-SAE 4340, revenido a 240 °C con una dureza de 52 HRC, apareció una grieta cuando la deformación alcanzo 30% y otras mas aparecieron al termino del ensayo con 72% de deformación.

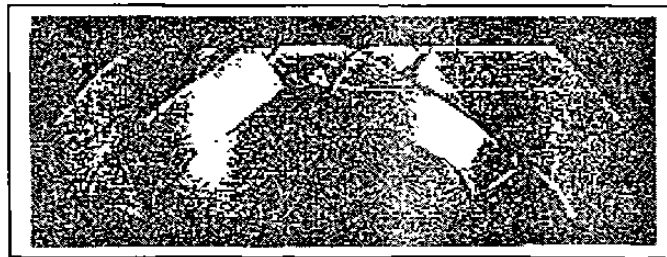


Figura A.5 Macrogrietas en una probeta de acero AISI-SEA 4340 comprimida un 42%.

A.10.- Coeficiente de ovalidad (Ov).

El coeficiente de ovalidad (Ov) se define como la razón de los diámetros máximos y mínimos de la pieza deformada.

$$Ov = d_{max} / d_{min}$$

La ovalidad puede ocurrir por causa de los efectos de textura y microestructuras en la deformación.

A.11.- Coeficiente de altura (H).

El coeficiente de altura (H) es la razón de la desviación de cuatro medidas de altura de la pieza deformada medidas en el centro y a intervalos de 120^0 en la orilla, dividida entre el promedio de las mismas.

$$H = Sh_f/h_f$$

Donde:

Sh_f = desviación estándar de las cuatro medidas de altura.

H_f = promedio de las alturas.

Si H es igual o mayor que 0.04 la prueba es invalida, H da una indicación del paralelismo de deformación en la pieza.

APENDICE B

DUREZA

B.1.- Introducción.

El ensayo Rockwell es una prueba por indentación en la que un penetrador de diamante o un balín de acero puro es forzado a penetrar dentro de la superficie de un material mediante la aplicación de una carga. Posteriormente midiendo la profundidad permanente de la huella después de retirar parte de la carga.

Es probable que la prueba de dureza Rockwell sea el método de uso más amplio para pruebas de dureza. Los ensayos de dureza Rockwell usan cargas y penetradores mucho más pequeñas que el durometro Brinell.

La prueba Rockwell puede utilizarse para probar materiales en márgenes más amplios de dureza por que se dispone de muchas combinaciones de penetradores y carga. Puede usarse en plásticos lo mismo que en materiales metálicos.

En la figura B.1 se ilustra en diagrama esquemático de un probador de dureza Rockwell.

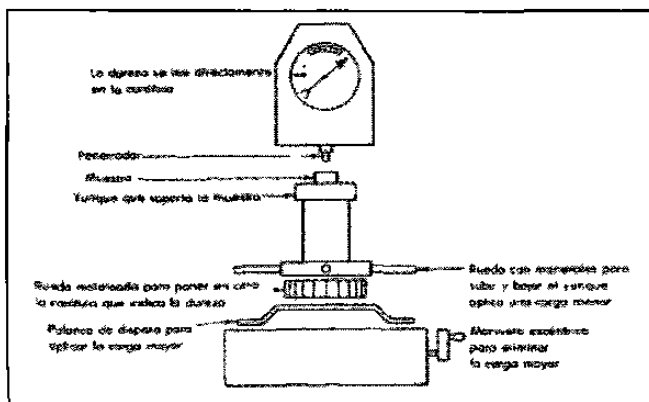


Figura B.1 Diagrama esquemático de un probador de dureza Rockwell.

B.2.- Penetradores para el ensayo Rockwell.

Los penetradores en las pruebas de dureza Rockwell están disponibles cuatro tamaños de balines de acero los cuales tienen las dimensiones siguientes: $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ in. de diámetro. También se utiliza un penetrador de diamante esfero-cónico que tiene 120° de inclinación con punta esférica de radio igual a 0.2mm, en la figura B.2 se muestra los penetradores para el ensayo Rockwell.



Figura B.2 Penetradores para el ensayo Rockwell.

Cada uno de los penetradores se selecciona de acuerdo al material a probarse y al tipo de prueba a realizar, las cuales se muestran en la tabla B.1.

Escala y Letra prefijo	Penetrador	Carga Mayor kg.	Reales Carátula	Aplicaciones típicas de las escalas
B	Bola de 1/16 de pulgada	100	Rojo	Aleaciones de Cobre, aceros suaves, aleaciones de aluminio, hierro maleable.
C	Cono de Diamante	150	Negro	Acero, hierro fundido duro, hierro maleable perlítico, acero de alto endurecimiento superficial.
A	Cono de Diamante	60	Negro	Carburos cementados, acero delgado, acero de bajo endurecimiento superficial.
D	Cono de Diamante	100	Negro	Acero delgado, acero de endurecimiento superficial mediano.
E	Bola de 1/8 De pulgada	100	Rojo	Hierro fundido, aleaciones de aluminio y magnesio. Metales para rodamiento.
F	Bola de 1/16 De pulgada	60	Rojo	Aleaciones de cobre templado, láminas metálicas delgadas y blandas.
G	Bola de 1/16 De pulgada	150	Rojo	Bronce fosforado cobre al berilio, hierro maleable
H	Bola de 1/8 De pulgada	60	Rojo	Aluminio, plomo, etc.
K	Bola de 1/8 De pulgada	150	Rojo	Materiales para rodamientos y otros materiales muy delgados y/o suaves.
L	Bola de 1/4 De pulgada	60	Rojo	Materiales para rodamientos y otros materiales muy delgados y/o suaves.
M	Bola de 1/4 De pulgada	100	Rojo	Materiales para rodamientos y otros materiales muy delgados y/o suaves.
P	Bola de 1/4 De pulgada	150	Rojo	Materiales para rodamientos y otros materiales muy delgados y/o suaves.
R	Bola de 1/2 De pulgada	60	Rojo	Materiales para rodamientos y otros materiales muy delgados y/o suaves.
S	Bola de 1/2 De pulgada	100	Rojo	Materiales para rodamientos y otros materiales muy delgados y/o suaves.
V	Bola de 1/2 De pulgada	150	Rojo	Materiales para rodamientos y otros materiales muy delgados y/o suaves.

Tabla B.1 Escalas y letras de prefijos de la dureza rockwell.

B.2.1.- Cargas para el ensayo Rockwell.

Las cargas utilizadas en el ensayo Rockwell son de dos tipos: la carga menor de 10Kg. y otra adicional que sumada a la menor da una carga mayor de 60, 100 o 150 Kg.

B.2.2.- Consideraciones para las probetas del ensayo Rockwell.

Enseguida se nombraran las consideraciones que se deben de hacer durante un ensayo Rockwell:

- Las probetas deben de ser planas y de caras paralelas.
- Estar razonablemente pulidas y libres de impurezas.
- Todas las pruebas deben de realizarse sobre un solo lado de la probeta.
- Las pruebas deben hacerse con una separación entre una marca anterior o cualquier orilla por lo menos tres veces el diámetro de la huella.

B.3.- Procedimiento de prueba.

Se usan diversas combinaciones del penetrador y carga mayor y se denotan con una serie de letras. Las dos escalas de uso mas común son la escala Rockwell B y la escala Rockwell C, que corresponden al balón de 1/16 in con la carga mayor de 100 Kg. Y el penetrador de diamante con una carga mayor de 150 Kg. En general, los materiales muy duros se prueban con el penetrador de diamante. El acero suave puede tener una lectura Rockwell B de 90; el acero de aleaciones endurecido puede tener una lectura Rockwell C de 55 y se establece como $90 R_B$ y $55 R_C$.

El procedimiento de la prueba se define en la figura B.3 (en el caso que el penetrador sea diamante) y en la figura B.4 (en el caso que el penetrador sea balón).

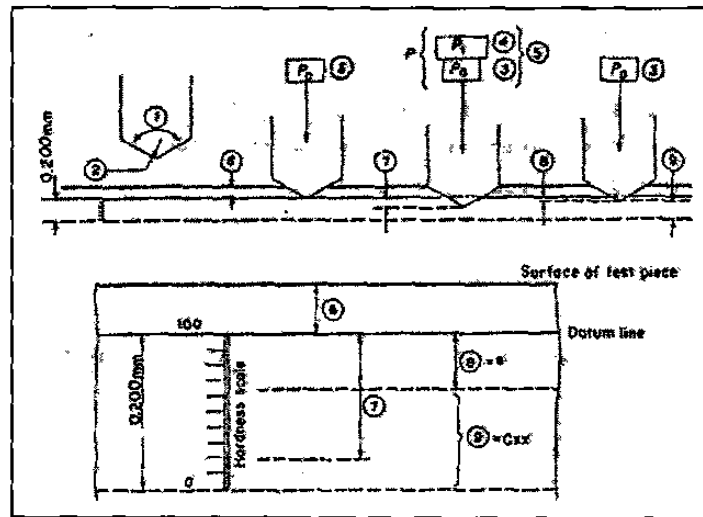


Figura B.3 Procedimiento del ensayo Rockwell para el penetrador de diamante.

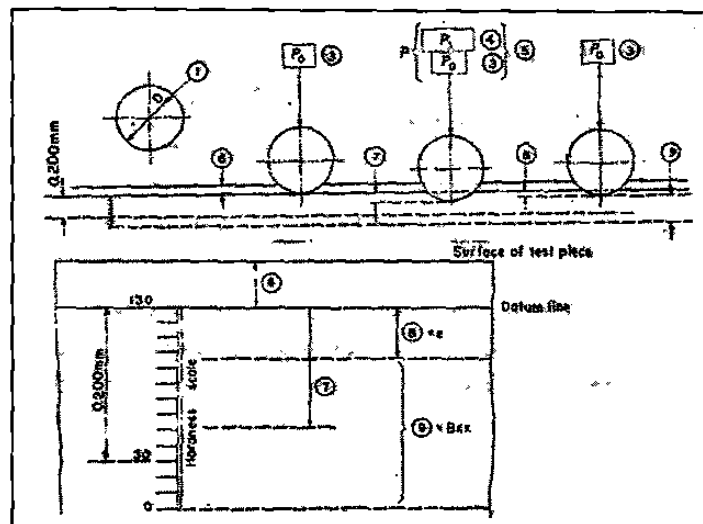


Figura B.4 Procedimiento del ensayo Rockwell para el penetrador de balín.

La probeta se coloca en el yunque de la máquina y el penetrador se asienta mediante una carga menor de 10 Kg., esto se logra haciendo girar el tornillo hasta que la aguja menor marque que fueron aplicados los 10 Kg. Inmediatamente después de la aplicación de la carga menor se aplica la carga adicional soltando la palanca de operación sin ningún impacto. Esta regresa dentro de los dos segundos después que se a detenido y con esto se retira la carga adicional, quedando aplicada la carga menor, el especimen

identado se recupera ligeramente y la profundidad final de penetración se registra en forma directa en la carátula indicadora como un número de dureza.

B.3.1.- Prueba de sondeo.

La escala a utilizar se selecciona de acuerdo a la tabla B.1 o bien se debe hacer una prueba Rockwell A que es la considerada de sondeo, después de hacer la lectura obtenemos si el material es duro, semiduro o suave y así seleccionamos la escala más adecuada.

GLOSARIO

Aluminio.- Metal blanco plateado, muy liviano, simbolo Al, numero atomico 13, peso atomico 26.97, ductil, maleable y excelente conductor de la electricidad, expuesto al aire se forma inmediatamente su superficie una capa invisible de oxido de aluminio que protege impidiendo la oxidacion. Se obtiene comercialmente por electrolisis del oxido de aluminio (bauxita), como es blando, se endurece agregandole pequeñas cantidades de magnesio, cobre, silicio y manganeso, reemplaza al acero en aplicaciones en que el poco peso y la resistencia especifica a la corrosion son mas importantes que la dureza.

Aluminio aleado.- Aluminio con cantidades de elementos de aleacion agregados para efectuar cambios en las propiedades mecanicas o fisicas.

Aleacion.- Sustancia con propiedades metalicas y compuesta por dos o mas elementos quimicos de los cuales por lo menos uno es metal.

Antimonio.- Metal blanco azulado brillante, pesado y tóxico, su simbolo es Sb. Con niveles de concentración igual o mayores al 0.05%, el Antimonio refina la fase eutéctica Aluminio-Silicio para una forma laminar en composiciones hipoeutécticas. La efectividad del Antimonio en alternando con la estructura eutéctica depende de la ausencia de fósforo y de una solidificación rápida. El Antimonio reacciona con ambos sodio y estroncio para formar intermetálicos burdos y efectos adversos sobre la capacidad de fundirse y la estructura eutéctica.

Densidad.- Masa por unidad de volumen de material, normalmente expresada en gr/cm^3

Diagrama de equilibrio.- Representación gráfica de los límites de temperatura y composición de campos de fase en un sistema de aleación como realmente existen bajo las condiciones específicas de calentamiento o enfriamiento.

Dendrita.- Estructura arboriforme del sólido que crece cuando nuclea un líquido subenfriado.

Diagrama de fase.- Diagrama que muestra las fases y sus composiciones para cada combinación de temperatura y composición en general.

Esfuerzo ingenieril.- Carga o fuerza aplicada dividida entre el área transversal original de la probeta.

Esfuerzo real.- Carga o fuerza aplicada dividida entre el área instantánea.

Eutéctico.- Reacción de tres fases en que una fase líquida se transforma en dos fases sólidas diferentes.

Fase.- Material que tiene la misma composición, estructura y propiedades en su totalidad en condiciones de equilibrio.

Matriz.- Típicamente el primer material sólido que se forma durante el enfriamiento de una aleación. Usualmente la matriz es continua y se precipita una segunda fase a partir de ella.

Mazarota.- Porción adicional de metal líquido unida a la masa principal de una pieza fundida. y la mazarota se enfría después que la pieza fundida, la mazarota puede proporcionar metal líquido adicional para compensar la contracción.

Microestructura.- Estructura de metales pulidos y atacados químicamente, revelada por un microscopio a una amplificación mayor a 10 diámetros.

Porosidad gaseosa.- Burbujas de gas atrapadas dentro de una pieza fundida durante la solidificación debido a la baja solubilidad del gas en el sólido en comparación con el del líquido.

Propiedades mecánicas.- Propiedades de un metal que revelan su comportamiento elástico e inelástico cuando se aplica fuerza, son ejemplos el módulo de elasticidad, la elongación, el punto de fluencia, etc.

Rechufe por contracción.- Hueco de gran tamaño y forma cónica en la superficie de una fundición causado por la contracción volumétrica que ocurre durante la solidificación.

LISTA DE FIGURAS

Figura	Contenido	Página
2.1	Diagrama de fases Aluminio-Silicio.	14
2.2	Placas tipo aguja de silicio en el eutéctico Aluminio-Silicio.	14
2.3	barras redondeadas de silicio en el eutéctico modificado Aluminio-Silicio.	15
2.4	El efecto del silicio y de la modificación sobre las propiedades de las aleaciones Aluminio-Silicio.	15
2.5	Diagrama de equilibrio Aluminio - Antimonio	16
3.1	Varios tipos de macrocontracción.	20
3.2	Contracción interdendrítica en una aleación de aluminio.	21
3.3	Solubilidad del hidrógeno gaseoso en el aluminio.	22
4.1	Muestra estándar para prueba a la tensión.	24
4.2	Defectos comunes en las probetas Planas.	25
4.3	Curvas de deformación de : (a) acero al bajo carbón, SAE 1025; (b) aleación de acero, Sae 4340; (c) mármol, CaCO ₃ .	26
4.4	Apariencia del espécimen de tensión en etapas diferentes de la prueba de tensión	27
5.1	Horno basculante.	31
5.2	Crisol de carburo de silicio de 17 Kg. de capacidad.	32
5.3	Bombardeo con argón a la carga.	32
5.4	Vaciado del aluminio	33
5.5	Probetas de tensión estandar ASTM E-8.	33
6.1	Microestructura con 150 ppm de Antimonio en la aleación de Aluminio A319.	37
6.2	Microestructura con 250 ppm de Antimonio en la aleación de Aluminio A319.	38
6.3	Microestructura con 350 ppm de Antimonio en la aleación de Aluminio A319.	39
6.4	Microestructura con 150 ppm de Antimonio en la aleación de Aluminio A319.	40
6.5	Crecimiento dendrítico 500x , a 150 ppm de Antimonio.	41
6.6	La figura muestra el Hierro segregado a 150 ppm de Antimonio, en las fronteras de grano, en tonos rojos	41
6.7	La figura muestra el Hierro segregado a 500 ppm de Antimonio, en las fronteras de grano, en tonos rojos.	42
7.1	Ensayo Estático de tensión para 150 ppm de Antimonio.	44
7.2	Ensayo Estático de tensión para 250 ppm de Antimonio.	44
7.3	Ensayo Estático de tensión para 350 ppm de Antimonio.	45
7.4	Ensayo Estático de tensión para 500 ppm de Antimonio.	45
7.5	Gráfica de la variación del esfuerzo de cedencia contra partes por millón de Antimonio.	46
7.6	Comparación entre las gráficas esfuerzo-deformación a tensión de las muestras	48
A.1	Probetas para ensayo de compresión en materiales metálicos.	54

A.2	Relaciones entre esfuerzo y deformación en muestras sometidas a compresión.	57
A.3	Efectos de abarrilamiento en ensayos de compresión	59
A.4	Vista de una aleación 7075-t6 comprimida un 72% mostrando el efecto piel de naranja agrietada.	60
A.5	Macrogrietas en una probeta de acero AISI-SEA 4340 comprimida un 42%	60
B.1	Diagrama esquemático de un probador de dureza Rockwell.	63
B.2	Penetradores para el ensayo Rockwell.	63
B.3	Procedimiento del ensayo Rockwell para el penetrador de diamante.	66
B.4	Procedimiento del ensayo Rockwell para el penetrador de balín.	66

LISTA DE TABLAS

Tabla	Contenido	Página
2.1	Efecto del mecanismo de endurecimiento en el aluminio y sus aleaciones	8
2.2	Designación de grado de endurecimiento para aleaciones de aluminio	11
3.1	Propiedades típicas de la aleación 319	19
7.1	Variación de esfuerzo de cedencia a diferentes partes por millón.	46
7.2	Composición química para 150 partes por millón de Antimonio.	47
7.3	Composición química para 250 partes por millón de Antimonio.	47
7.4	Composición química para 350 partes por millón de Antimonio.	47
7.5	Composición química para 500 partes por millón de Antimonio.	47
B.1	Escalas y letras de prefijos de la dureza Rockwell.	64

REFERENCIAS

Ref 1 Mikell P. Grovver

Fundamentos de Manufactura Moderna.

Ed. Prentice Hall 1ª Edición 1991.

Ref 2 Donald R. Askilland.

La ciencia e ingeniería de los materiales.

Ed. Grupo Editorial Iberoamericano 1987.

Ref3 ASM Handbook

Propierties and selection non ferrous alloys

And Special-Purpose Materials.

Vol 2, 1990.

Ref4 ASM Handbook

Heat Trating

Vol 4, 1990

Ref5 Davis, Troxell, Wiskocil

Ensaye e inspección en materiales en Ingeiería.

Ed. CECSA

Ref6 ASM Handbook

Mechanical Testing

Vol 7 1990

Ref7 B. Roebuck, J.D. Lord, RK. Varma y M.S. Loveday

Measuring Flow Stress in Hot Axisymmetric Compression Tests

Febrero de 1997

RESUMEN AUTOBIOGRAFICO

Oscar Atilano González Sánchez

**Candidato para el grado de
Maestro en ciencias con especialidad en materiales**

Tesis: Influencia de Antimonio en una fundición de aluminio 319 bajo carga de tensión.

Campo de Estudio: Ciencias Exactas.

Biografía:

Datos personales: Nacido en Monterrey N.L. el 15 de Octubre de 1954, hijo del señor José González González y Señora Eva Sánchez Garza.

Educación: Egresado de la FIME UANL, obteniendo el Grado de Ingeniero Mecánico Electricista en 1976.

Experiencia profesional: Catedrático de La FIME UANL, de 1974 a la fecha.

