

Kubens Ochoa

6/3/03.

1
669.96
ORT
C.2



Escuela Superior Politécnica del Litoral
FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE
LA PRODUCCION



“Caracterización de la Aleación UNS-
A0713.0 Sometida a Envejecimiento
Artificial”

TESIS DE GRADO

Previa la Obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO

Presentada por:
VICTOR HUGO ORTA ZUÑIGA



Guayaquil - Ecuador

Año - 1998



DEDICATORIA

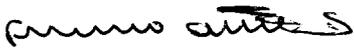
A mis padres : Víctor y Nelly que con su guía espiritual y sacrificio, supieron guiarme a lo largo de toda mi vida estudiantil.

A G R A D E C I M I E N T O

A DIOS

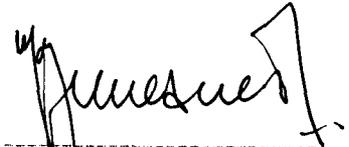
**Al ING. IGNACIO WIESNER F.
Director de Tesis, por su valiosa ayuda
y colaboración prestada en la
elaboración de este trabajo.**

TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing Francisco Andrade S

MIEMBRO DEL CONSEJO DIRECTIVO
DELEGADO POR EL DECANO



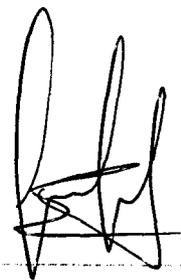
Ing. Ignacio Wiesner F

DIRECTOR DE TESIS



Ing Omar Serrano V

VOCAL



Ing. Julián Peña E

VOCAL

DECLARACION EXPRESA

“ La responsabilidad del contenido de esta Tesis Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

A handwritten signature in black ink, reading "Victor Orta Zuñiga", written in a cursive style. The signature is positioned above a horizontal dashed line.

VICTOR ORTA ZUÑIGA

RESUMEN

El desarrollo del presente trabajo comprende una fase de estudio bibliográfico que destaca los principios de tratamientos térmicos en los cuales se fundamenta este trabajo y, después un capítulo experimental que involucra las etapas o procesos mediante los cuales se obtienen las probetas con las condiciones de propiedades mecánicas de acuerdo a una norma americana, UNS A0713.0.

A continuación se expone de una manera rápida el desarrollo experimental.

El procedimiento involucra fundición y proceso de tratamiento térmico de envejecimiento artificial y natural de la aleación Aluminio - Zinc de aplicación aeronáutica ya que en nuestro medio se está utilizando para hacer moldes para conformado de plástico, y se han tenido problemas en obtener las propiedades finales . siendo el motivo principal de este trabajo el desarrollo de la aleación con ajuste a la norma americana

INDICE GENERAL

Resumen	V
Indice General	VI
Indice de Figuras	VIII
Indice de Tablas	X
Introducción	12
C APITULO 1. FUNDAMENTOS TEORICOS	14
1.1 Endurecimiento por Precipitación	14
1.2 Solubilización y Envejecimiento Artificial y Natural	32
1.3 Aleaciones de Aluminio - Zinc	44
1.3.1 Composición y propiedades de la Aleación UNS A07130	49
1.3.2 Aplicaciones de la Aleación UNS-A07130	52
CAPITULO 2. TRABAJO EXPERIMENTAL	54
2.1 Objetivo y Técnica experimental	54
2.2 Materiales y Equipo	56

2.3 Fusiones de pruebas.....	58
2.4 Ajuste de composición Química.....	70
2.5 Proceso de Envejecimiento Artificial y Natural.....	77
2.6 Ensayos de dureza en cada fase del proceso.....	81
2.7 Ensayos metalográficos y de propiedades mecánicas para homologación de la aleación.....	86
CAPITULO 3. ANALISIS DE RESULTADOS.....	95
3.1 Sobre el procedimiento.....	95
3.2 Sobre la calidad del material.....	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
BIBLIOGRAFIA.....	101

INDICE DE FIGURAS

Nº	Pág
1.1 Mecanismo de Orowan para el movimiento de dislocaciones.....	15
1.2 Solución sólida sobresaturada.....	16
1.3 Energía libre de una partícula de precipitado en función de su radio.....	22
1.4 Efecto de la temperatura de precipitación sobre la energía de una partícula en función de su radio.....	23
1.5 Cambio en la dureza durante el tratamiento de envejecimiento.....	25
1.6 Crecimiento de las partículas de precipitado.....	28
1.7 Nucleación heterogénea.....	29
1.8 Representación de una estructura de Widmanstätten.....	31
1.9 Diagrama de fase que muestra solubilidad parcial.....	36
1.10 Microestructura de una aleación 85A-15B.....	39
1.11 Cantidad de precipitado en función del tiempo.....	40
1.12 Tiempo para formar 100% de precipitado.....	41
1.13 Efecto de la temperatura sobre las curvas de envejecimiento.....	42
1.14 Designación para los grupos de aleación de aluminio.....	45
1.15 Diagrama de fase Al-Zn.....	49
2.1 Diagrama de flujo del proceso experimental.....	55

2.2 Horno a gas. vista interior.....	59
2.3 Horno a gas. ventilador. crisol usados en la fundición.....	68
2.4 Molde permenete (lingotera) usada en la fundición.....	69
2.5 Espectrofotómetro de absorción atómica.....	75
2.6 Horno de tratamiento térmico	80
2.7 Gráfico de Dureza vs Tiempo de envejecimiento natural	84
2.8 Gráfico de Dureza vs Tiempo de envejecimiento artificial.....	85
2.9 Dimensiones de probeta para ensayo de tracción	87
2.10 Módulo de tracción de la máquina de ensayos instron.....	88
2.11 Microestructura de la aleación recién colada y enfriada.....	91
2.12 Microestructura de la aleación envejecida	
naturalmente por 13 días.....	91
2.13 Microestructura de la aleación envejecida	
artificialmente a 120 °C por 12 horas	92
2.14 Microestructura de la aleación envejecida	
artificialmente a 120 °C por 16 horas	92
2.15 Ampliación de la microestructura Figura N° 2.1 1.....	93
2.16 Ampliación de la microestructura Figura N° 2.12.....	93
2.17 Ampliación de la microestructura Figura N° 2.13	94
2.18 Ampliación de la microestructura Figura N° 2.14	94

INDICE DE TABLAS

N°	Pág
I Cantidad en gramos de cada elemento usados en las fundiciones.....	.56
II Composición Química de la aleación 601 1.....	.65
III Cantidad en gramos de cada elemento en la fundición de un lingote.....	66
IV Mezcla ácida para disolución de muestra de la aleación UNS-A07 13.0..	.71
V Composición porcentual de cada elemento luego del análisis químico.....	.76
VI Dureza de Aleación UNS-A0713.0 luego de fundida y enfriada.....	81
VII Dureza de Aleación UNS-A07 13.0 luego del proceso de envejecimiento natural..	.82
VIII Dureza de Aleación UNS-A07 13.0 luego del proceso de envejecimiento artificial.....	.83
IX Resultados luego del ensayo de tracción.....	.89

INTRODUCCION

La utilización de materiales de poco peso que posean buenas características de : fundición, maquinabilidad, ductilidad, resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, autotemplabilidad, excelente acabado etc, en la conformación de accesorios mecánicos, fabricación inicial de planchas y perfiles que permitan la fabricación posterior de piezas aeronáuticas, cubiertas para torres de radios, y sistemas de comunicación en general, constituye cada día un continuo desafío para los ingenieros y metalurgistas.

Es por este continuo desafío que decidí en el presente trabajo utilizar la aleación cuya norma es: UNS - **A0713.0** de aluminio-zinc o también llamada: A.S.T.M - B108ZC81B registradas en el manual de la Sociedad Norteamericana para Metales (A.S.M), ya que cumple satisfactoriamente con las características antes mencionadas siempre y cuando sea sometida a un régimen de tratamiento térmico posterior establecido con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas.

Primeramente se va a efectuar **un** proceso de fundición que permita

obtener la composición química de la aleación registrada en el manual de la A.S.M, para luego realizar investigaciones y pruebas referentes al tratamiento térmico a utilizar para poder optimizar todos los parámetros involucrados en él, con el fin de poderlos encaminar en la fabricación de la aleación **con** las propiedades óptimas deseadas y **así** obtener las piezas mecánicas con las características que se requieren en la industria.

CAPITULO 1

FUNDAMENTOS TEORICOS

1.1 ENDURECIMIENTO POR PRECIPITACIÓN.

No es posible explicar en forma definitiva la manera en que las partículas de precipitado endurecen la matriz o red disolvente.

Parece que **hay**, por lo menos varios mecanismos de endurecimiento y que el predominante en una aleación no es necesariamente importante en la otra.

Sin embargo, puede decirse que el aumento de dureza es sinónimo de aumento en la dificultad de mover las dislocaciones. **Una** dislocación debe cortar a través de las partículas de precipitado en su trayectoria, o debe moverse entre ellas. En cualquier caso puede demostrarse que se necesita un aumento en el esfuerzo, sobre el requerido en una red perfecta para mover las dislocaciones a través de una red que contenga partículas de precipitado. Orowan ha propuesto el mecanismo que describe el movimiento de las dislocaciones en una red que contiene partículas de precipitado, mostrado en la Figura N° 1.1.

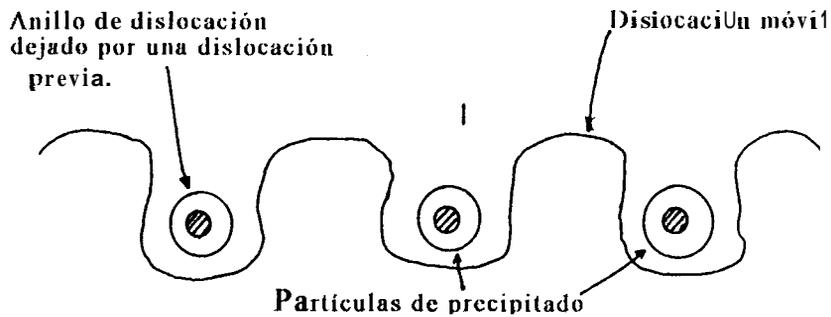


Fig N°1.1 Mecanismo de Orowan para el movimiento de dislocaciones a través de un cristal que contiene partículas de precipitado. (Ref.1)

En el presente caso, se supone que las dislocaciones se dobla en forma de anillos expansores alrededor de las partículas de precipitado. Cuando anillos adyacentes intersectan sobre el lado lejano de las partículas se cancelan entre ellos mismos. Esta cancelación permite que continúe la dislocación, pero deja un anillo de dislocación rodeando a la partícula, cuyo campo de esfuerzo aumenta la resistencia al movimiento de la dislocación siguiente.

Es creencia general, que un factor importante con respecto a la interacción entre las mencionadas partículas y las dislocaciones es la presencia de campos de esfuerzos que rodean a las partículas de precipitado. Esto es especialmente cierto cuando la partícula de precipitado es coherente con la matriz. La Coherencia se entiende

con la ayuda de la **Figura N° 1.2.**

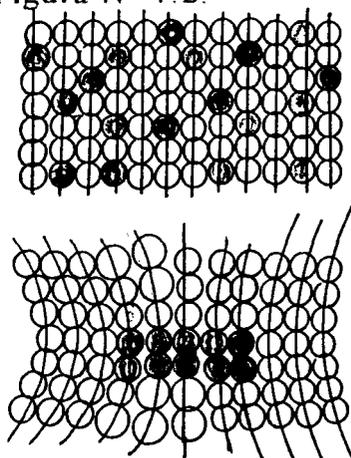


Fig N° 1.2 La figura superior representa una solución sobresaturada de átomos B (círculos oscuros) en una matriz de átomos A (círculos claros). La figura inferior muestra una partícula de precipitado coherente formada por el agrupamiento de átomos B. (Ref. 1)

La Figura superior representa a una solución sobresaturada de átomos A y B, suponiendo a la especie A como disolvente y a la B como soluto. Para simplificación, supongamos que las solubilidades de A en B y de B en A, son lo suficientemente pequeñas a la temperatura de precipitación por lo que se les puede considerar iguales a cero. Supongamos también que el proceso de precipitado no es un compuesto, sino la fase β (la estructura cristalina de los átomos B). Viendo la figura N°1.2, los átomos B serán atraídos unos con otros, y el primer paso en la formación de una partícula de precipitado será la formación de un agrupamiento de átomos B. En esta formación los planos reticulares serán en

general continuos con los planos de la matriz, y se dice que el agrupamiento es una partícula coherente.

Si el diámetro de los átomos de soluto como se muestra en la Fig. N°1. 2 difiere de los átomos del disolvente, entonces la matriz y el núcleo serán deformados por la presencia del ultimo. La deformación, asociada con su núcleo, se agrandará según aumenta su tamaño, pero su tamaño no puede aumentar indefinidamente. Con el tiempo, la partícula tiene que separarse de la red de la matriz y cuando esto ocurre se forma una superficie, o límite de grano, entre las dos fases . Esta pérdida de coherencia reduce grandemente el estado de deformación asociado con la partícula de precipitado.

Nucleación de Precipitados. La formación de los núcleos y su crecimiento durante la precipitación es de gran interés. Sin embargo en aleaciones específicas comercialmente importantes es muy difícil y complicado de resolver. En muchos casos se cree que la fase de precipitado no se origina en su estructura final, sino que se forma en las estructuras cristalinas intermedias que posteriormente se transforman en la estructura final. Es

complicado de determinar la naturaleza de estos procesos debido a que el tamaño de las partículas de precipitado es excesivamente pequeño en el momento de su nucleación , o aún cuando hayan crecido hasta el punto donde la aleación ha alcanzado su dureza máxima. Cuando el metal está bastante avanzado en su fase de sobreenviejamiento, las partículas solo se pueden visualizar bajo un microscopio.

La naturaleza de las partículas de precipitado en un sistema de aleación determinado solamente se puede deducir de la evidencia indirecta obtenida por estudios de la difracción de rayos **X**, o por consideraciones basadas en los cambios de las propiedades físicas de las aleaciones que ocurren durante el progreso de la precipitación, propiedades como la dureza que ya ha sido discutida, resistencia eléctrica, fricción interna etc.

En un cristal, el movimiento de electrones constituye una *corriente eléctrica*, este movimiento se efectúa con mayor dificultad cuando el cristal tiene un segundo componente en solución sólida.

En otras palabras la resistencia de una solución sólida metálica

aumenta con la concentración de soluto; a diferencia de la resistencia eléctrica que disminuirá según decrezca la concentración de soluto.

En lo que se refiere a la *fricción interna* se entiende a la habilidad de un metal para absorber energía vibracional, uno de los medios en que se puede realizar esto tiene que ver con la presencia de los átomos de soluto en solución sólida en un metal, provisto que el soluto deforme a la red del metal en forma no isotrópica (Calidad de tener iguales propiedades en todas las direcciones).

Otras propiedades físicas, además de las mencionadas anteriormente se utilizan también en el estudio de la precipitación.

Nucleación heterogénea contra homogénea. Una partícula de precipitado puede ser nucleada en dos modos básicos. NUCLEACION HETEROGENEA en donde la formación de una partícula de segunda fase se facilita y se engendran dentro de los defectos reticulares internos tal como: dislocaciones, nudos de dislocación (intersección de dos o más dislocaciones), partículas de impureza, o discontinuidades en los límites de grano.

NUCLEACION HOMOGENEA , por otra parte, es la formación espontánea de núcleos a través de las fluctuaciones de composición del soluto. Aquí los átomos de soluto se agrupan en la red de la matriz y comienza el crecimiento de una partícula de segunda fase en el que de otra forma sería un cristal perfecto. La nucleación por medios homogéneos ocurre únicamente con dificultad considerable, por ejemplo la solidificación de un líquido para formar un sólido es también un proceso de nucleación y crecimiento. La nucleación en este caso es predominantemente heterogénea, comenzando en las paredes del molde, o en las partículas de impureza en el líquido mismo. La dificultad principal en el modo de formar núcleos homogéneamente se relaciona con la superficie que debe crearse cuando se nuclea una partícula de segunda fase.

La formación de una partícula va acompañada de un cambio en la energía libre del sistema, como se puede expresar por la siguiente ecuación (1):

$$\Delta F = - \Delta F_v + \Delta F_s + \Delta F_m \quad \text{Ec (1)}$$

en donde el término ΔF_v es la energía libre asociada con la formación del volumen de cementita y cuyo signo es considerado negativo simplemente para modificar el valor del cambio en el volumen de energía libre. El segundo término ΔF_s , es la energía de la superficie creada entre la cementita y la ferrita la cual siempre es positiva. El término último ΔF_d , representa la energía de deformación que se produce de la formación de la partícula, esto incluye tanto la energía de deformación en la matriz (ferrita) como en la partícula y es causada por el hecho de que el volumen de la partícula de cementita no es necesariamente igual al volumen de ferrita que desplaza. El término energía de deformación varía directamente según el volumen de la partícula de precipitado.

En la presente discusión cualitativa se supone entonces que ΔF_m es cero, sin alterar las conclusiones básicas; puesto que la energía libre volumétrica depende del volumen de la partícula y ΔF_s del área de la misma podemos escribir la ecuación anterior de la siguiente manera suponiendo una partícula esférica:

$$\Delta F = -A_1 r^3 + A_2 r^2 \quad \text{Ec. (2)}$$

en donde Λ_1 y Λ_2 son constantes y r es el radio de la partícula, visualizando la Figura N° 1.3 que representa la ecuación anterior se puede observar que a radios pequeños, la energía libre superficial ($\Lambda_2 r^2$) es mayor que la energía libre de volumen ($\Lambda_1 r^3$) y la energía libre total es positiva.

Pero, la situación cambia según el radio aumenta de tamaño, lo cual es cierto que con radios grandes la energía libre se vuelve negativa.

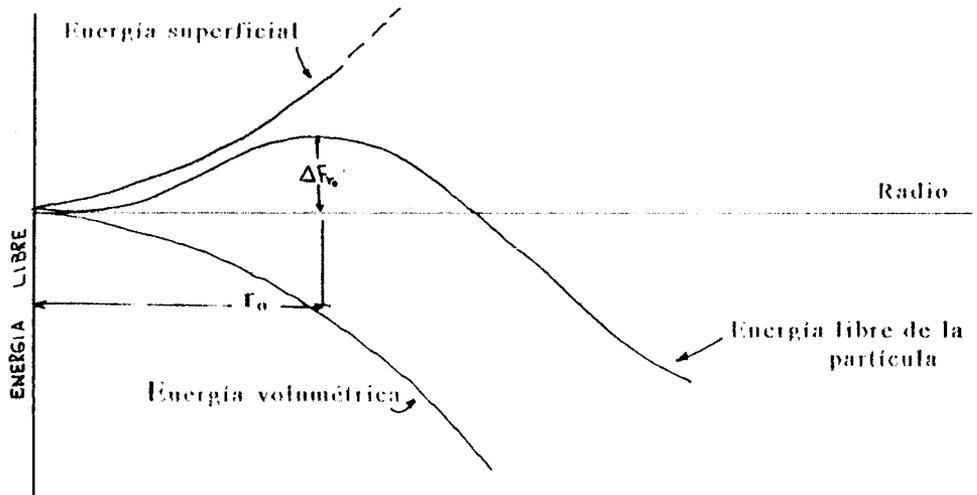


Fig. N° 1.3 Energía libre de una partícula de precipitado en función de su radio (Ref. 1)

$$\Delta F_0 = \frac{4}{3} \pi r_0^3 \Delta F_v$$

El radio r_0 es conocido como *radio crítico*.

Por debajo de este valor, una partícula baja su energía libre disminuyendo su tamaño, lo que significa que las partículas con

radios menores de r_0 tienden a disolverse y regresar a la solución. Lo que al contrario una partícula, con radio mayor a r_0 experimenta una disminución en energía libre con el aumento en el radio. Por esta razón son estables y continúan creciendo.

En la nucleación homogénea se requiere que las fluctuaciones térmicas produzcan partículas lo suficientemente grandes para que excedan a r_0 , de otra manera no se puede nuclear una segunda fase. Es costumbre llamar a un núcleo que sea de radio menor que el r_0 (subcrítico) un *embrión*. Consideremos ahora como varía el tamaño de un núcleo estable con su temperatura, lo cual lo podemos ver por medio de la Figura N° 1.4.

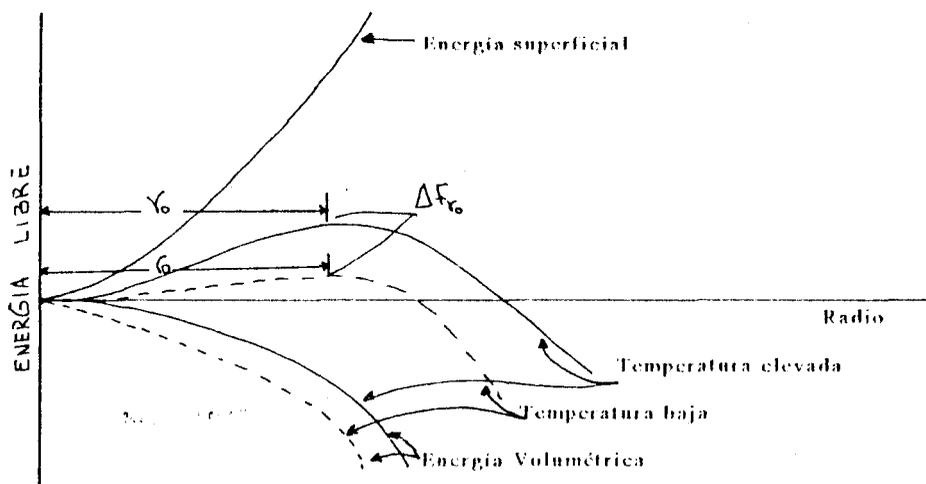


Fig N° 1.4 Efecto de la temperatura de precipitación sobre la energía libre de una partícula de precipitado en función de su radio. (Ref 1)

Refiriéndonos a la ecuación anterior sobre la energía libre se puede

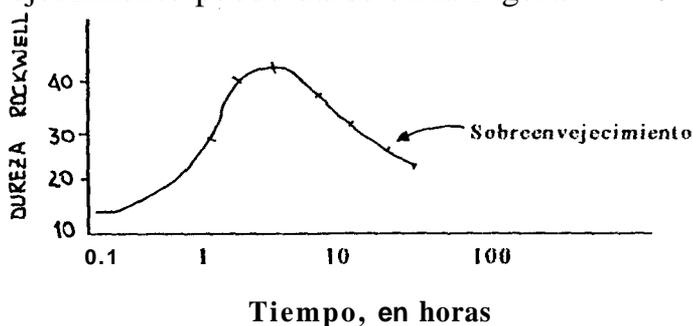
decir como primera aproximación que el término energía superficial no cambia con la temperatura. A diferencia de la energía libre volumétrica que varía con la temperatura, volviéndose mayor a temperaturas bajas debido a que el grado de sobresaturación aumenta (disminuye la solubilidad) según descende la temperatura. También se puede observar que el radio crítico decrece con el descenso de la temperatura

A temperaturas por debajo de la línea de "solvus", r_0 es muy grande. Por tanto, la velocidad de nucleación homogénea es muy pequeña a esta temperatura, según se baja la temperatura el radio crítico disminuye rápidamente en tamaño así como la energía necesaria para formar un embrión crítico.

Por otra parte en las reacciones de precipitación, la nucleación depende también de la habilidad del soluto para difundirse por la red del disolvente. Esto se convierte en el factor de control a temperaturas muy bajas. Cuando se detiene efectivamente la difusión, lo hace también la precipitación.

El ΔG^* es la energía de activación

de una aleación que resulta de un envejecimiento prolongado. En algunas aleaciones endurecidas por envejecimiento esto aparece corrientemente con la pérdida de coherencia por el precipitado, pero en cualquier caso puede establecerse que se relaciona con el crecimiento continuado de partículas de precipitado. El crecimiento continuará durante tanto tiempo la aleación sea mantenida a una temperatura fija. Una gráfica de Sobreenvejecimiento puede darse en la Figura N° 1.5.



FigN° 1.5 Cambio en la dureza durante el tratamiento de envejecimiento. La Aleación es hierro más 0.015%C, y la temperatura de envejecimiento 90°C. (Ref 1)

Tal aseveración no significa que todas las partículas continúan creciendo, debido a que esto es imposible una vez que el soluto ha obtenido una concentración de equilibrio.

Significa sencillamente que ciertas partículas (las más grandes) continúan creciendo, en tanto que otras (las más pequeñas), desaparecen.. Según progresa el envejecimiento, el tamaño de las

partículas aumenta, pero el número de ellas desaparece. Pudiéndose concluir que “El endurecimiento máximo está asociado con un tamaño óptimo de partículas pequeñas y un gran número de ellas; en tanto que el sobrevejecimiento está asociado con partículas relativamente grandes”.

El crecimiento de las partículas de precipitado se relaciona directamente con la tensión superficial en la intercara entre la matriz y las partículas. Debido a la energía del límite de grano, la energía libre por átomo en una partícula de precipitado grande es menor que la de una pequeña, esta diferencia en la energía libre es la fuerza impulsora que ocasiona la disolución de las partículas pequeñas y el crecimiento de las grandes dando origen al sobrevejecimiento.

A continuación daremos una explicación rápida de aquello, y tomando en cuenta la suposición anterior de que el precipitado tiene una forma esférica, como la mostrada en la Figura N° 1.6 nos referimos a la última ecuación dada anteriormente la cual fué:

$$AF = -A_1r^3 + A_2r^2 \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde ΔF es la energía libre total de una cantidad determinada de precipitado. Si a esta ecuación la dividimos por unidad de volumen de la partícula obtenemos la energía libre por unidad de volumen de precipitado:

$$\begin{aligned}\Delta F' &= \Delta F / (4/3\pi r^3) \\ &= -A'_1 + A'_2/r\end{aligned}$$

en donde $\Delta F'$ es la energía libre por unidad de volumen, y A'_1 y A'_2 son respectivamente:

$$A'_1 = A_1 r^3 / (4/3\pi r^3) \qquad A'_2 = A_2 r^2 / (4/3\pi r^3)$$

La energía libre por átomo de precipitado F_a es proporcional a la energía libre por volumen unitario $\Delta F'$, por lo que F_a varía inversamente al radio de la partícula. A radio mayor, más negativa la energía libre del átomo de segunda fase y , en consecuencia más estable es el precipitado. Lo que al inverso a radio menor menos estable es. En tales condiciones, los átomos de soluto tienden a dejar las partículas **más** pequeñas para entrar en la matriz, mientras que al mismo instante dejan la matriz para entrar en las partículas

grandes. Mediante este proceso puede continuar la difusión de soluto a través de la matriz.

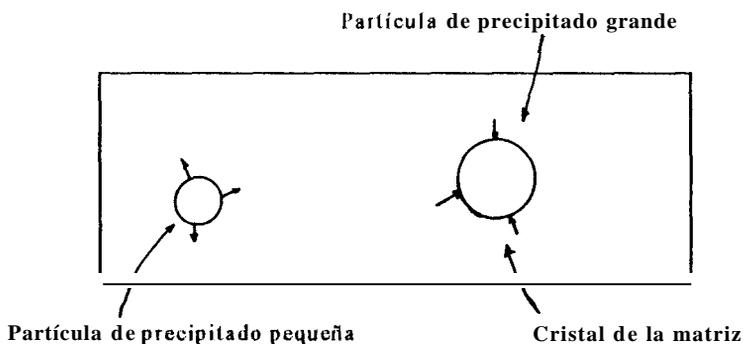


Fig N° 1.6 Crecimiento de partículas de precipitado. Las flechas pequeñas en la superficie indican la dirección actual del flujo de los átomos solutos. (Ref. 1)

Factores adicionales en el endurecimiento por precipitación.-

En muchas aleaciones, el endurecimiento por precipitación se hace aún más complicado por el hecho de que la nucleación ocurre tanto homogénea como heterogéneamente.

Los lugares preferidos para la nucleación heterogénea en estas aleaciones son **los** límites de grano y **los** planos de deslizamiento, porque **como** heterogénea se entiende por nucleación fácil, la precipitación tiende **a** ocurrir en estos lugares. Esto introduce un retardo entre las respuestas **al** envejecimiento en áreas que experimentan nucleación heterogénea y en **las** de nucleación homogénea, **y** el sobre-envejecimiento ocurre con frecuencia en los

límites de grano mucho antes que la precipitación en la matriz tenga oportunidad de desarrollarse totalmente.

Otro efecto de la precipitación rápida en los límites de grano es que las partículas de precipitado pueden crecer en tamaño y, como resultado, agota el soluto de las áreas adyacentes a los límites, entonces se deja una banda de metal , libre de precipitación sobre cada lado del límite, esto se puede visualizar muy fácilmente en la Figura N°1.7.

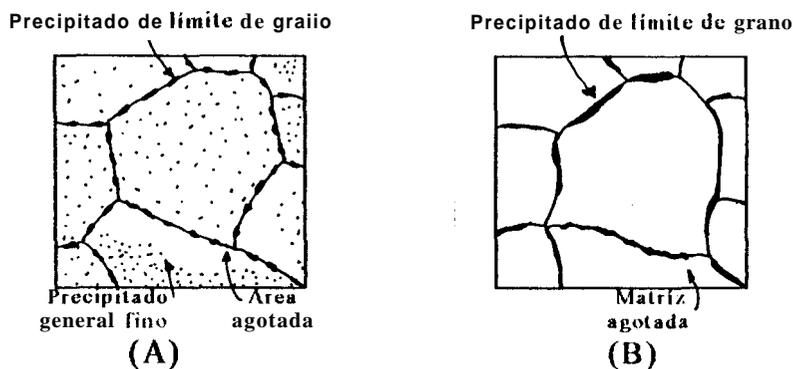


Fig.N°1.7 Nucleación heterogénea en límites de grano. (A) Una velocidad de enfriamiento moderada puede resultar, tanto en nucleación heterogénea en límites de grano como en nucleación homogénea en el centro de los granos. (B)Un enfriamiento muy lento puede dar como resultado que el precipitado ocurra únicamente en límites de graiio. (Kef.1)

Este efecto se puede amplificar grandemente si se calienta la aleación a la temperatura de tratamiento de la solución y se enfría lentamente; en el enfriamiento lento, la nucleación comienza a temperaturas justamente por debajo de la línea de "solvus". En un

enfriamiento lento y continuo, el precipitado en los límites de grano continúa creciendo mediante la difusión del soluto desde la matriz al precipitado. Al mismo tiempo, la concentración del soluto en la matriz se reduce continuamente y la solución nunca se vuelve grandemente sobresaturada. En esta manera casi todo el soluto encuentra su camino a la segunda fase en los límites y no se produce precipitación general en la matriz. La Figura N°1.7B es representativa de una aleación enfriada lentamente con precipitación de límite de grano

En los planos de deslizamiento la nucleación heterogénea es inducida con frecuencia por esfuerzos del enfriamiento rápido que se desarrollan cuando el metal se enfría rápidamente desde la temperatura de tratamiento de la disolución. La relevación de estos esfuerzos a través de deformación plástica por deslizamiento deja gran número de segmentos de dislocación a lo largo de planos de deslizamiento los cuales actúan como puntos para la nucleación heterogénea.

En muchos casos, el fenómeno de la precipitación algunas veces se complica más por la ocurrencia de la recristalización durante la

formación del precipitado. Cuando esto sucede, es la matriz la que recristaliza los átomos para formar nuevos cristales.

Sin embargo, cabe señalar que las partículas de precipitado no son siempre de forma esférica, con frecuencia el precipitado tiene una forma semejante a placas e incluso acicular. En muchos casos las partículas de precipitado en forma de placas o de agujas crecen en tal forma que se alinean a lo largo de planos cristalográficos específicos o direcciones de cristales de la matriz.

Este tipo de crecimientos del precipitado puede dar como resultado interesantes figuras geométricas. Es costumbre llamar a tales formaciones *estructuras de Widmanstätten*. Una muestra esquemática de la estructura de Widmanstätten es la que se presenta en la Figura N° 1.8.

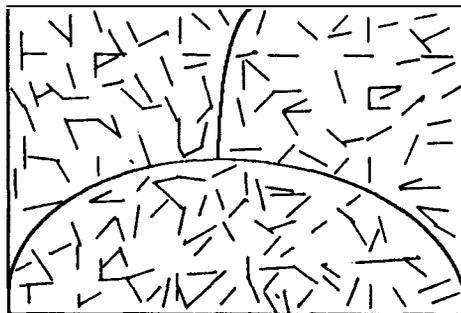


Fig. N° 1.8 Representación esquemática de una estructura de Widmanstätten. Las líneas cortas oscuras representan partículas de precipitado en forma de placas que están alineadas sobre planos cristalográficos específicos de los cristales de la matriz. (Ref 1)

1.2 SOLUBILIZACIÓN Y ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL Y NATURAL.

Hemos estudiado el tratamiento térmico de endurecimiento por precipitación en la sección anterior, el cual es el principal en aleaciones no-ferrosas siendo la nuestra de este tipo.

Para que el tratamiento térmico de Precipitación pueda aplicarse, la aleación debe presentar solubilidad sólida parcial, esto es que la pendiente de la línea de solubilidad o de “**solvus**” debe ser tal que haya mayor solubilidad a una temperatura mayor que a una menor temperatura, este requisito principal debe representarse en el Diagrama de equilibrio de la aleación el cual lo presentaremos más adelante.

A continuación estudiemos brevemente que se entiende por solución sólida. Una solución sólida se la conoce cuando ocurre mezclas homogéneas de dos o más elementos en estado sólido. Cualquier solución está constituida por dos partes: un soluto y un solvente. El soluto es el de menor proporción en la solución, o sea el material disuelto; en tanto que el solvente constituye la mayor porción de la solución. Es posible tener

soluciones que incluyan gases, sólidos y líquidos.

Una solución puede tener una de tres condiciones: no saturada, saturada y sobresaturada. Si el solvente disuelve menos cantidad de soluto del que podría disolver a una temperatura y presión dada la solución es **no saturada**; si el solvente disuelve la cantidad límite de soluto la solución es **saturada**; y por último, si se disuelve más cantidad de soluto de lo que se debiera de disolver, en condiciones de equilibrio, la aleación estaría **sobresaturada**, que sería un estado de inestabilidad.

La última condición de sobresaturación se puede obtener efectuando un trabajo sobre la solución (como movimientos de agitación) o previniendo condiciones de equilibrio mediante un enfriamiento rápido de la solución. La condición de sobresaturación es inestable; así, si se dá un tiempo suficiente o poca energía la aleación tenderá a estabilizarse o saturarse, mediante el rechazo o precipitación del exceso de soluto.

En la solución sólida sustitucional los átomos de soluto sustituyen **los** átomos de solvente. Existen varios factores que

controlan el intervalo de solubilidad en los sistemas de aleación gracias a estudios efectuados por Hume Rothery, tales como:

Factor de la estructura del cristal.- La solubilidad sólida completa o total de dos elementos jamás se logra, a menos que los elementos tengan el mismo tipo de estructura reticular cristalina.

Factor de tamaño relativo.- En la formación de una solución sólida este factor **es** favorable cuando la diferencia en radios atómicos es menor que el **15%**. Si este factor es mayor que **8%** y menor que **15%** el sistema de aleación mostrará un mínimo. Si este factor de tamaño relativo es mayor que **15%** la formación de una solución sólida es muy limitada.

Factor de afinidad química.- Este factor nos dice que cuanto mayor es el grado de afinidad química entre dos metales mas restringida será su solubilidad sólida y mayor la tendencia a formar compuestos. Se puede concluir diciendo que mayor será la afinidad química entre dos elementos cuanto más alejados estén **éstos** elementos en la tabla periódica.

Factor de Valencia relativa.- Si son distintas las valencias del metal soluto como la del metal solvente, el número de electrones de Valencia por cada átomo, llamado razón electrónica cambiará. Las estructuras cristalinas son más sensibles a un decremento en la razón electrónica que a un aumento en la misma. Es decir que un metal de menor Valencia tiende a disolver más a un metal de mayor Valencia que viceversa.

Se puede determinar alguna estimación de la solubilidad sólida de un metal en otro al considerar estos cuatro factores anteriores. Es importante notar que el solo factor de tamaño relativo desfavorable es suficiente para limitar la solubilidad a un valor bajo; en cambio si es favorable el factor de tamaño relativo entonces debe considerarse los otros tres factores para decidir el probable grado de solubilidad sólida. Las reglas de Hume-Rothery son una muy buena guía para estudiar la solubilidad sólida , sin embargo hay excepciones a las mismas.

Generalmente , la estructura reticular de una solución sólida es la del metal solvente, con ligeros cambios en el parámetro reticular.

Si el átomo de soluto es mayor que el del solvente habrá una expansión en tanto, que si es menor habrá una contracción.

Una vez que hemos estudiado los factores que nos sirven de guía en el estudio de la solubilidad sólida, veamos gráficamente como se presenta el requisito de la "solubilidad sólida" que mencionamos al principio de esta parte 1.2 en el siguiente diagrama de fase que muestra solución parcial en el estado sólido, a través de la Figura N° 1.9

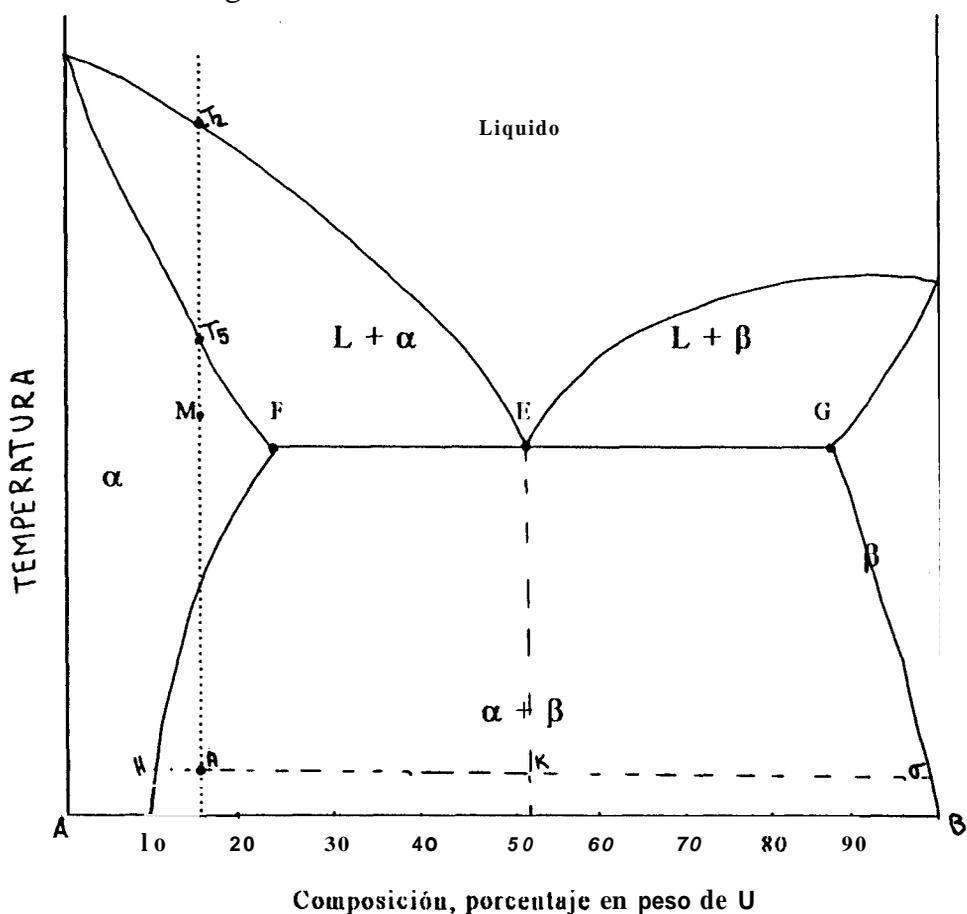


Fig N°1.9 Diagrama de fase que muestra solubilidad parcial. (Ref 2).

Consideremos la parte izquierda del gráfico (Fig. N°1.9) que muestra solución sólida a. Las composiciones de aleación que pueden endurecerse por precipitación (envejecimiento) son las que están comprendidas entre el punto F, con 20% de B, y el punto H con 10% de B.

Cuando se endurece una aleación por envejecimiento, generalmente la mayoría de ellas se escogen de composiciones a la izquierda del punto F, aunque se conseguiría un máximo efecto de endurecimiento por una aleación con 20% de B. La fase disuelta puede ser una solución terminal (como en este caso) o una fase intermedia de la aleación.

Básicamente se necesitan dos etapas en una tratamiento térmico para producir endurecimiento por envejecimiento los cuales son:

- Tratamiento de solución
- Tratamiento o proceso de Envejecido.

Tratamiento de Solución.- Tomando una aleación como la número (1) en el gráfico anterior, y su microestructura de la Figura N°1.10. Si aquella se la recalienta hasta el punto M, todo el

exceso de la solución sólida β se disolverá y la estructura será una solución homogénea .

Debe reconocerse que esta solución sólida obtenida a temperatura del punto M , no es una solución saturada porque contiene menos de la concentración de equilibrio. Estudiemos el efecto del enfriamiento rápido sobre la aleación anterior después que ha sido transformada en una solución sólida. Se puede obtener un enfriamiento muy rápido de la aleación calentadas, sumergiéndolas en un medio refrigerante líquido, por ejemplo, agua. Este tipo de operación se conoce generalmente como templado. En el presente caso un enfriamiento muy rápido prevendrá una difusión apreciable de los átomos del elemento β , de manera que se puede suponer que la solución sólida que existió a temperatura del punto M es llevada a la temperatura ambiente sin cambio esencial. La aleación que estaba ligeramente insaturada en la temperatura más alta está ahora extremadamente sobresaturada. Todos los cambios en la microestructura de la aleación se presentan en la Figura N° 1. 10.

En conclusión: se puede resumir que una aleación apropiada se calienta a una temperatura a la cual se disuelve una segunda fase

(presente generalmente en menor cantidad) en la cantidad más abundante.

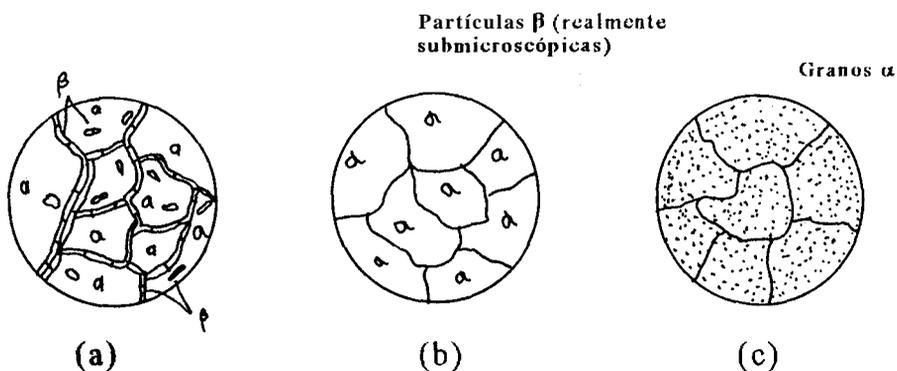


Fig. N°1. 10 Microestructura de una aleación 85A - 15B

a) Después de enfriar lentamente

b) Después de recalentar y enfriar rápidamente o temperatura ambiente

c) Después de envejecer.

(Ref 2)

Si se deja el metal ó aleación a esta temperatura hasta obtener una solución sólida homogénea, y entonces se la enfría rápidamente a una temperatura menor para crear una condición de sobresaturación (inestabilidad) en la aleación. Este ciclo también se le conoce a parte de tratamiento de solución como tratamiento de disolución, en tanto que la segunda parte que se denomina tratamiento de envejecimiento viene a continuación.

Tratamiento de Envejecimiento.- Recordando lo que ya estudiamos en la parte I.; se puede decir que la precipitación de la cementita desde la ferrita sobresaturada ocurre por un proceso de nucleación

y crecimiento. Primero hay que formar los orígenes de los cristales de la cementita, un proceso llamado nucleación.

Siguiendo la nucleación, las partículas de cementita crecen en tamaño **como** resultado de la difusión del carbono desde la ferrita de los alrededores hacia las partículas. Esto se denomina Crecimiento. **No** puede producirse precipitación hasta que comience la nucleación, pero una vez comenzada ésta, la solución sólida puede perder su carbono en dos formas ya sea por crecimiento de las partículas ya formadas o en la formación de núcleos adicionales , lo que en otras palabras sería que la nucleación puede continuar simultáneamente con el crecimiento de las partículas previamente formadas .

El progreso de la precipitación a una temperatura dada viene dado en la Figura-N° 1.11

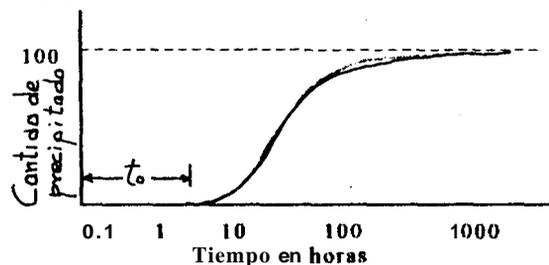


Fig.N° 1.11 Cantidad de precipitado como una función del tiempo en una aleación hierro-carbono (0.018% C) dejada precipitar desde una solución sobresaturada a 76°C. (Ref 1).

En donde la cantidad de precipitado, en porcentaje del máximo, se grafica en función del tiempo. Se utilizan unidades logarítmicas en la escala del tiempo debido a que las reacciones espontáneas de esta naturaleza comienzan rápidamente y terminan con lentitud. El tiempo t , que se aprecia en el gráfico corresponde al tiempo que se requiere para la precipitación sea detectable ya que no comienza inmediatamente, o en otras palabras para formar núcleos estables visibles; éste tiempo t , se llama período de incubación. La curva muestra como el proceso de precipitación termina muy lentamente efecto que debía de esperarse en vista de la continuada pérdida de soluto desde la solución.

Otro parámetro del proceso de precipitación (envejecimiento) también es la temperatura al cual ocurre éste. La Figura N° 1.12 muestra como la velocidad del precipitado varía con la temperatura.

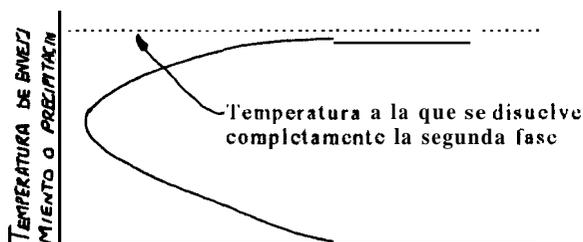


Fig. N° 1.12 Tiempo para formar 100% de precipitado en una aleación sobresaturada. (Kcf 1)

A temperaturas bajas, se requieren tiempos más largos para completar la precipitación debido a que la velocidad de difusión es muy lenta. A temperaturas por debajo de la línea de solubilidad la velocidad es también lenta por ende se necesitaría bastante tiempo.

Pero a temperaturas intermedias, entre los dos extremos antes mencionados, la velocidad de precipitación aumenta a lo máximo así que el tiempo para completar la precipitación es muy corto.

Pero el parámetro más importante, es ver como varía la curva de endurecimiento (Dureza) de la aleación en función de la temperatura a la cual se produce el proceso de precipitado; La Figura N°1.13 muestra aquello.

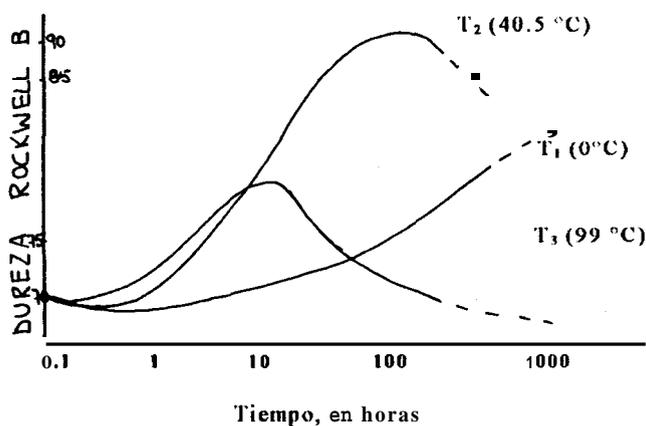


Fig. N°1.13 Efecto de la temperatura sobre las curvas de envejecimiento durante el endurecimiento por precipitación. Las curvas son para el acero 0.06% de C. (Ref 2)

La curva marcada por la temperatura de T_1 representa un envejecimiento a temperatura muy baja, en este caso es tan lento el movimiento atómico que no se produce precipitación apreciable y el endurecimiento es muy pobre. Si se produjera un envejecimiento por debajo de esta temperatura T_1 se detendría toda la precipitación y evitaría el endurecimiento. En la industria aeronáutica se hace uso de este hecho cuando los remaches de aleación de Aluminio tratados previamente en condición de sobresaturación son puestos en refrigeración para evitar que envejecan a temperatura ambiente. hasta que se los coloca definitivamente en la pieza que se esté fabricando.

A la temperatura T_3 también se produce un rápido endurecimiento debido a una rápida difusión pero **no** es el mayor, además se aprecia también un rápido ablandamiento de la aleación.

Se puede observar claramente, que la curva que representa a la temperatura óptima es la T_2 , en la cual se obtiene el mayor valor de endurecimiento dentro de un período razonable de tiempo.

Cuando la precipitación en la aleación tiene lugar a temperatura

ambiente de modo que se obtiene su resistencia después de varios días , tales aleaciones reciben el nombre *de Aleaciones a Envejecimiento Natural*.

Cuando la precipitación en la aleación tiene lugar a temperatura por encima de la natural (ambiente) pero por debajo de la solubilización, tales aleaciones reciben el nombre *de Aleaciones a Envejecimiento Artificial*.

1.3 ALEACIONES DE ALUMINIO - ZINC

Antes de comenzar a estudiar las aleaciones de Aluminio-Zinc , quiero hacer un breve estudio del Aluminio y de sus propiedades cuyo símbolo químico es Al ; así como también estudiar la codificación y la designación del temple para las diferentes aleaciones de aluminio.

La característica **más** conocida del Aluminio es su peso ligero, su densidad es como una tercera parte de la del acero o de las aleaciones de cobre. Ciertas aleaciones de aluminio tienen mejor proporción resistencia-peso que la de los aceros de alta resistencia, tiene buena maleabilidad y formabilidad, alta

resistencia a la corrosión y gran conductividad térmica y eléctrica (62% del cobre).

Una forma de aluminio ultrapuro se utiliza para reflectores fotográficos con el fin de aprovechar sus características de alta reflectividad a la luz y de no coloración superficial, no es tóxico, ni magnético, y no produce chispa.

El aluminio puro aleación 1100 (99% de Al.) tiene una resistencia tensil de 13000 lb/pulg² (psi). Sin embargo algunas aleaciones tratadas térmicamente se aproximan a 100000 psi.

Existen gran variedad de elementos con los cuales el aluminio puede formar aleaciones para lo cual The Aluminum Association en 1954 codificó a las aleaciones de Aluminio, Figura N°1.14

	Número de asociación de aluminio
Aluminio, 99% y mayor T ₁ (99 °C) principal elemento de aleación	1xxx
Cobre	2xxx
Manganeso	3xxx
Silicio	4xxx
Magnesio	5xxx
Magnesio y Silicio	6xxx
Zinc	7xxx
Otro elemento	8xxx
Series no utilizadas	9xxx

Fig.N° 1.14 Designación para los grupos de Aleaciones de Aluminio
(Ref 2)

Se puede apreciar que cada grupo de aleación consta de cuatro dígitos , el primero indica el grupo de aleación , el segundo señala el cambio de la aleación original o límites de impureza, el cero se utiliza para la aleación original , y los enteros del 1 al 9 indican las modificaciones de la aleación. En los grupos del 2xxx al 8xxx, los dos últimos dígitos sirven solo para identificar las diferentes aleaciones de aluminio en el grupo.

También existen varias designaciones de temple para las aleaciones de Aluminio forjadas **y** fundidas según The Aluminum Association Temper Designation System, adoptada en 1948.

Estas designaciones se basan en las secuencias de los tratamientos básicos utilizados para producir los diversos temple. El sistema estándar de designación de temple consta de una letra que indica el temple básico . Hay **5** temple básicos :

-F :Condición de fabricado.- Aplicado a productos que adquieren algún temple como resultado de las operaciones de manufactura. En esta condición de temple no hay garantía de propiedades mecánicas.

-O :Recocido, recristalizado.- Es el temple más suave de los productos de aleación forjados.

-H :Endurecido por deformación.- Aplicado a productos susceptibles de incrementar sus propiedades mecánicas mediante trabajado en frío solamente.

-W :Tratados térmicamente en solución.- Es un temple inestable que se aplica sólo a aleaciones que envejecen espontáneamente a temperatura ambiente después del tratamiento térmico en solución; debido al envejecimiento natural esta designación es específica sólo cuando se indica el período de envejecimiento; por ejemplo, **2024-w** (1/2 h_r).

-T :Tratado térmicamente.- Se aplica a productos tratados térmicamente, con o sin endurecimiento por deformación suplementario, para producir temples estables. La letra T sigue de los números 2 al 10, designando una combinación específica de operaciones básicas. Las variaciones deliberadas de las condiciones, que dan lugar a características significativamente distintas para el producto, se indican añadiendo uno o más dígitos

tales como:

T2 : Recocido (solo productos fundidos)

T3 : Tratados térmicamente a solución y luego trabajada en frío.

T4 : Tratados térmicamente a solución y envejecida en forma natural hasta una condición sustancialmente estable.

T5 : *Solo envejecido artificial. Se aplica a productos envejeciúvs artificialmente después de un proceso de .fabricación a alta temperatura seguido por enfriamiento rápido, tal como fundición o extrucción.*

T6 : Tratados térmicamente y en solución luego envejecida artificialmente.

T7 : Tratados térmicamente y en solución luego estabilizada: **se** aplica a productos en que las condiciones de temperatura y tiempo para estabilización son tales que la aleación se lleva más allá del punto de dureza máxima, proporcionando control de crecimiento y/o esfuerzos residuales.

T8 : Tratados térmicamente en solución , trabajo en frío y luego envejecida en forma artificial.

T9 : Tratado térmicamente en solución, envejecida artificialmente y luego trabajo en frío.

T10 : Envejecida artificialmente y luego trabajada en frío, lo

mismo que en T5, pero seguida por trabajado en frío a fin de mejorar la resistencia.

Diagrama de fase . Estudiemos ahora el Diagrama de fase de las aleaciones Aluminio-Zinc (Al-Zn), el cual se aprecia en la Figura N° 1.15 ;se puede ver que el requerimiento principal para que se produzca tratamiento de envejecimiento (precipitación) se cumple ya que la solubilidad del Zinc en Aluminio es de 31.6% a 275°C, disminuyendo hasta 5.6% a 125°C.

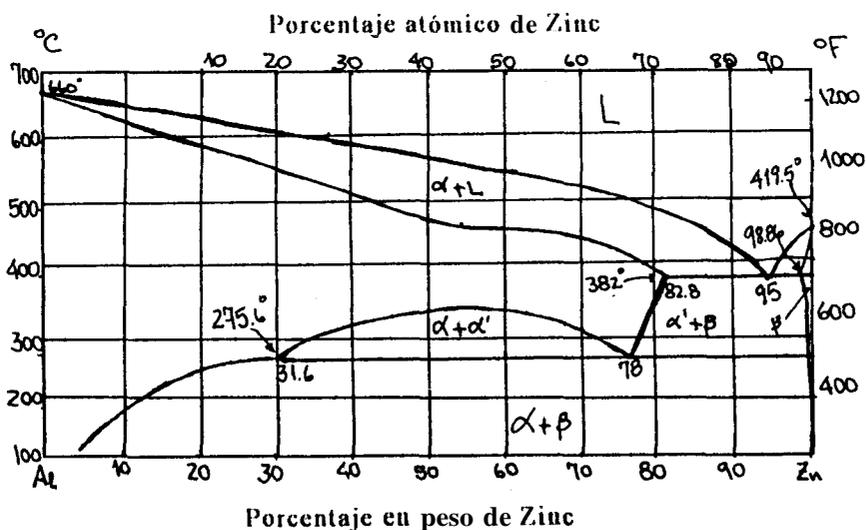


Fig N°1.15 Diagrama de Fase Al-Zn . (Ref 2)

1.3.1 COMPOSICION Y PROPIEDADES DE LA ALEACION UNS-A07130.

La composición de la aleación es la siguiente:

0.40 - 1.0 % Cu
 0.20 - 0.5 % Mg
 0.60 máx de Mn
 0.25 máx de Si
 1.10 máx de Fe
 0.35 máx de Cr
0.15 máx de Ni
7.0 - 8.0 % Zn
 0.25 máx de Ti
 0.10 máx otros (cada uno)
 0.25 máx otros (total)
 el resto Aluminio **(Al)**

Las propiedades a continuación se describen son para cuando la aleación fue colada en molde permanente (metálico) y tratada térmicamente bajo el régimen **T5:**

Propiedades mecánicas.-

Resistencia a la tensión	220 Mpa (32ksi) .
Esfuerzo de cedencia	150 Mpa (22ksi)
Esfuerzo de Fatiga	60 Mpa (9 ksi a $5 * 10^8$ ciclos)

Elongación 3% en 50mm (2")

Propiedades térmicas.-

Temperatura de fusión 595 a 640 °C (1100 a 1185 °F)

Conductividad térmica 140 W/m °K a 25°C (77°F)

Coeficiente de Expansión 24.1 μm/m°K (a 20-200°C)
térmica lineal

Característica de masa.-

Densidad 2,810 Kg/m³ (0. 102 Lb/in³)

Características del Tratamiento Térmico.-

Aleación típica para el régimen **T5**: Envejecimiento a temperatura ambiente (de fugar) por espacio de **10** a **14** días ó envejecimiento artificial (no a temperatura ambiente) a una temperatura de **120 ± 5.5 °C (250 ± 10 °F)** por espacio de **16** horas.

Característica de fabricación.-

La aleación después de fabricada presenta buena maquinabilidad y características de pulimento. **Muy** buena estabilidad dimensional.

Después de envejecido completamente el material , éste presenta un decremento en la longitud ,menor que **0.1 min/in** de longitud inicial (antes de envejecer).El producto resultante es una fundición completamente libre de esfuerzos.

Propiedades Químicas .-

La aleación presenta buena resistencia a la corrosión, que se la puede comparar con las aleaciones de Aluminio-Silicón.

Un típico exámen para medir el grado de corrosión de la aleación demuestra que no ha presentado desgaste ni pérdidas en las propiedades mecánicas después **de 90 días** en una solución al 3% de agua sal (aireada).

1.3.2 APLICACIONES DE LA ALEACION UNS-A07 13.0.

Esta aleación tiene **como** uso típico la conformación de moldes de aluminio y otras muy variadas aplicaciones de fundición las cuales requieren altos

esfuerzos con tratamiento térmico en el exterior y buena respuesta contra la corrosión.

CAPITULO II

TRABAJO EXPERIMENTAL

2.1 OBJETIVO Y TECNICA EXPERIMENTAL

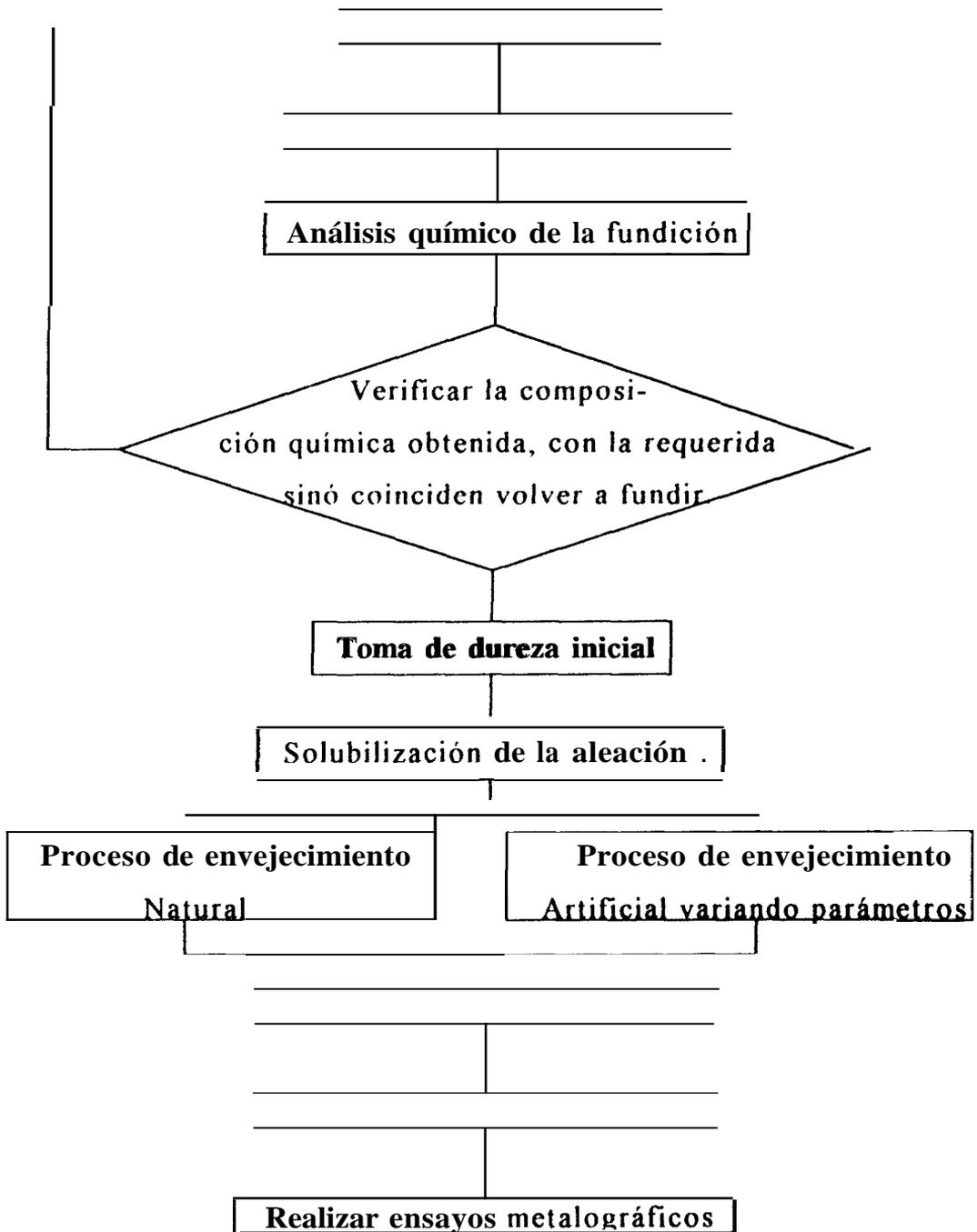
El Objetivo de la presente tesis consiste en determinar las variables óptimas del proceso de envejecimiento a **fin** de obtener una máxima Dureza de la aleación **UNS-A0713.0** cuando **se** la someta al tratamiento térmico de envejecimiento Natural como también al envejecimiento Artificial bajo el régimen de tratamiento térmico T5 tal como propone el Metal Handbook ; novena edición Vol.2 de la American Society for Metals. (**ASM**), también como varían las propiedades mecánicas de la **misma**.

La técnica experimental o proceso **a** seguir en este capítulo para conseguir nuestro objetivo lo voy a presentar en una forma muy general mediante un Diagrama **de** Flujo, Fig N° **2.1** de la siguiente página.

La forma de presentación de los resultados de lo dicho anteriormente, lo voy **a** hacer mediante tablas de resultados y gráficos.

Fig 2.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

EXPERIMENTAL



2.2 MATERIALES Y EQUIPOS

En la Tabla N° 1, podemos ver la cantidad que se requirió de cada elemento para las varias coladas realizadas.

Tabla N° 1

**Cantidad en gramos de cada elemento
para las varias coladas realizadas.**

Elemento	Cantidad (gr)
Cobre	20
Magnesio	3
Manganeso	6
Silicio	4
Hierro	10
Cromo	10
Níquel	5
Zinc	300
Titanio	6
Aluminio	3000 (aleación 6011)

También se **usó** un elemento desgasificante en la fundición de la aleación que es el hexacloretano. Entre los equipos utilizados tenemos:

Una balanza digital analítica para pesar los porcentajes de cada elemento

Un horno de crisol a gas.

Una varilla de acero inoxidable como **campana** de inmersión en la operación de desgasificación.

Papel de aluminio para envolver los elementos **en polvo a** introducir en el crisol.

Un molde permanente metálico (lingotera) .

Un Espectrofotómetro de Absorción Atómica. Marca: **Perkin-Elmer**. modelo 30308, usado en el proceso de análisis químico.

Un horno de tratamientos térmicos.

Un durómetro para dureza Brinell.

Un módulo de control - graficador de la máquina de ensayos de tracción marca Instron.

Un módulo de tracción de la máquina de ensayos, marca Instron,

Un microscopio para ensayos metalográficos

2.3 FUSIONES DE PRUEBA.

Las fusiones de prueba se refieren al estado líquido que debemos tener en cada uno de los elementos de la aleación, para poder obtener así la mezcla de los mismos y conseguir la aleación con su composición química requerida. Consecuentemente una vez obtenida la aleación proceder a colarla en una lingotera Figura 2.4 pág N°69 , para una manipulación adecuada de la misma en forma de barras cilíndricas que serán cortadas para obtener las probetas a utilizar en el envejecimiento. Estudiemos en forma breve como se debe proceder a la fusión de los elementos constituyentes en la obtención de la aleación con una mínima contaminación alguna.

Como ya dijimos anteriormente vamos a usar un horno a gas, que tiene la ventaja de ser un medio de fusión muy rápido y de bajo costo.

Una desventaja en éste horno a gas en donde el crisol está expuesto a los productos de la combustión, es la **absorción** de gases indeseables como el hidrógeno, por el metal que se está fundiendo.

La llama del quemador debe ser tangencial al crisol para que el calentamiento sea uniforme , con un espacio mínimo de 2.5 cm entre las paredes del horno y del crisol. La Figura N°2.3 de la pág N° 68 es el horno usado en la fundición hecha en el metal-taller de “industria de las Transformaciones Metalúrgicas.” (Intramet), en donde se aprecia el horno, el ventilador para una buena presencia de oxígeno , las válvulas de entrada de **gas**.

La mayoría de las operaciones de fundición y **colado** se efectúan al aire, con o sin cubiertas protectoras parciales, pero es necesario tener vacío o una atmósfera de fusión formada de **gas** noble para evitar la presencia del hidrógeno.

El aluminio después de fundirse tiene una alta afinidad con el oxígeno, pero la película de óxido que se forma sobre la superficie **de** la fundición protege de forma efectiva la oxidación ulterior. entonces se debe usar hornos en los cuales **se** produzca la mínima turbulencia en la superficie **del** metal fundido, de manera **que** la película de óxido permanezca **en** forma íntegra.

La densa capa de óxido que aparece en la superficie del aluminio y sus inclusiones obstaculiza la interacción del metal con **el** aire u otros gases a bajas temperaturas. Sin embargo a temperaturas elevadas la humedad, así como **los** compuestos de amoníaco **y** azufre destruyen la capa de óxido, al entrar en reacción con **el** metal , lo cual es perjudicial.

Cuando la humedad y el aluminio se combinan, aparece el hidrógeno atómico que se difunde con facilidad dentro del metal y se desprende en **el** mismo en forma molecular. **Esto** puede provocar la formación de burbujas en **la** superficie **de** los subproductos, la oxidación a alta temperatura , la porosidad **y** el oscurecimiento de la superficie.

Entre las fuentes más comunes de humedad que dan lugar a la producción de hidrógeno en la atmósfera de la fusión tenemos en una escala de más a menos:

- Productos de la combustión en la atmósfera del horno.
- Vapores de agua en la atmósfera de la propia fundición.
- Productos de la corrosión.
- Humedad condensada .
- Recipientes y herramientas de fundición mal secadas

Una de las causas más frecuente para el rechazo de vaciados de la aleaciones de aluminio, **es** la porosidad debido a la liberación durante la solidificación de hidrógeno que haya sido disuelto por el metal en alguna etapa del proceso de fusión. Este hidrógeno **se** produce generalmente como resultado de una reacción química entre el aluminio fundido y el vapor de agua de alguna otra fuente, no se produce de la cantidad de gas que haya presente alrededor de la atmósfera de la fusión.

El aluminio fundido fácilmente absorbe hidrógeno aún cuando éste se encuentre en su estado atómico. Un metro cúbico de aire puede

contener hasta 13 gr de vapor de agua. La solubilidad del hidrógeno en el aluminio sólido es muy baja, pero al fundirse el metal la solubilidad aumenta muy rápidamente, lo que a su vez, al solidificarse el aluminio fundido la solubilidad del hidrógeno disminuye de modo que éste es expulsado de la aleación. Debido a que han comenzado ya a formarse las dendritas de metal, las pequeñas burbujas de gas quedan atrapadas entre los brazos de formación, produciendo burbujas en el vaciado resultante.

En aleaciones que contienen Zinc o Magnesio, es importante que no se sobrecalienten, porque el primero se perdería por volatilización mientras que el segundo se oxida fácilmente a temperaturas elevadas, una manera de evitar el sobrecalentamiento es evitando que los cuerpos que entran a la fundición entren relativamente fríos, entonces hay que precalentarlos previamente.

Para poder eliminar la existencia del hidrógeno en la fundición si ésta hubiese absorbido, se procede antes de colar la fundición a un proceso llamado **desgasificación**.

Como agente desgasificador se usa mucho el cloro, el cual tiene

una ventaja adicional de limpieza sobre el metal que se está fundiendo.

En nuestra práctica, el agente desgasificador fué un compuesto orgánico llamado *hexacloretano*, que al ponerse en contacto en la parte inferior de la fundición (caldo) libera cloro.

Otro punto importante es que la superficie de la fundición se la debe tratar con un fundente que sirve también como agente limpiador de impurezas. Este fundente debe presentar densidad menor en estado líquido que el material fundido a fin de que pueda diluirse rápidamente a través de la superficie fundida. Una vez que se haya colocado el fundente y agitado sobre la superficie de la fundición a fin de que disuelva todas las impurezas se debe retirar todo lo que quede sobre la superficie con un objeto apropiado previamente calentado.

Elaboración de lingotes.- Para saber la cantidad de material de aleación a fundir procedimos a medir el volumen del lingote de la lingotera y con la densidad de la aleación sacamos la cantidad de material a utilizarse en cada lingote a fundirse, considerando un

10% de material como pérdida

$$r = 2 \text{ cm}$$

$$h = 14 \text{ cm}$$

$$V = \pi r^2 h = 44,02 \text{ cm}^3$$

$$\delta = 2,810 \text{ gr/cm}^3$$

$$m = V \cdot \delta = 123,7 \text{ gr}$$

$$10\% \text{ de pérdida} = 12,37 \text{ gr}$$

Total de cantidad de aleación en un lingote = **136 gr.**

Hay que tomar en cuenta que el aluminio que se utilizó como aluminio puro, fué el de cabic que se usa en conexiones eléctricas, que tiene una composición química propia que debe ser considerada y que es la aleación **6011** la cual la presento en la Tabla N°II, pág N° **65**.

Entonces al realizar los cálculos para determinar la cantidad de gramos de cada elemento en la aleación y tomando en cuenta la aleación **6011** de aluminio como materia prima, nos damos cuenta que para fundir un lingote de aleación se requiere, lo muestro en la Tabla N° 111, pág N° **66**

TABLA N°II**Composición Química de la Aleación 6011**

Elemento	Composición
Silicio	0.3 Y_o máx
Hierro	0.7 Y_o máx
Cobre	0.2 % máx
Manganeso	0.2 Y_o máx
Cromo	0.1 % máx
Zinc	0.25 % máx
Magnesio	0.5 - 1.1 % máx

Tabla N° III**Cantidad en gramos de cada elemento en un lingote**

Elemento	Cantidad en gramos (gr)
Cobre	0.75
Magnesio	0.00
Manganeso	0.2
Silicio	0.00
Hierro	0.15
Cromo	0.2
Níquel	0.15
Zinc	10.0
Titanio	0.25
Aluminio	125.0

Procedimos a elaborar 5 lingotes lo cual fué necesario 1 Kg de aleación para luego seguir la secuencia expresada en el diagrama de flujo.

Es importante citar que los lingotes una vez solidificados fueron retirados inmediatamente del molde permanente (lingotera) que generalmente es de acero, con una temperatura de **260 °C a fin** de enfriarlos en agua para obtener en ellos una solución sobresaturada, que es el requisito para que se produzca precipitación durante el envejecimiento.

Luego se limpió muy bien una probeta dejándola libre de grasa e impurezas con el **fin** de taladrarla y así obtener muestra de la aleación fundida (viruta de la probeta) con el objeto de realizar el análisis químico correspondiente y así concordar con la composición química **de** los elementos que se debe tener al final de la fundición según la norma americana.

A continuación presento las fotos **correspondientes** al horno a gas Figura N° 2.3; como la lingotera Figura N° 2.4; **usados en** el proceso de fundición **la** misma que fue realizada en INTRAMET.



Fig. 2.3 Horno a gas, ventilador, crisol.

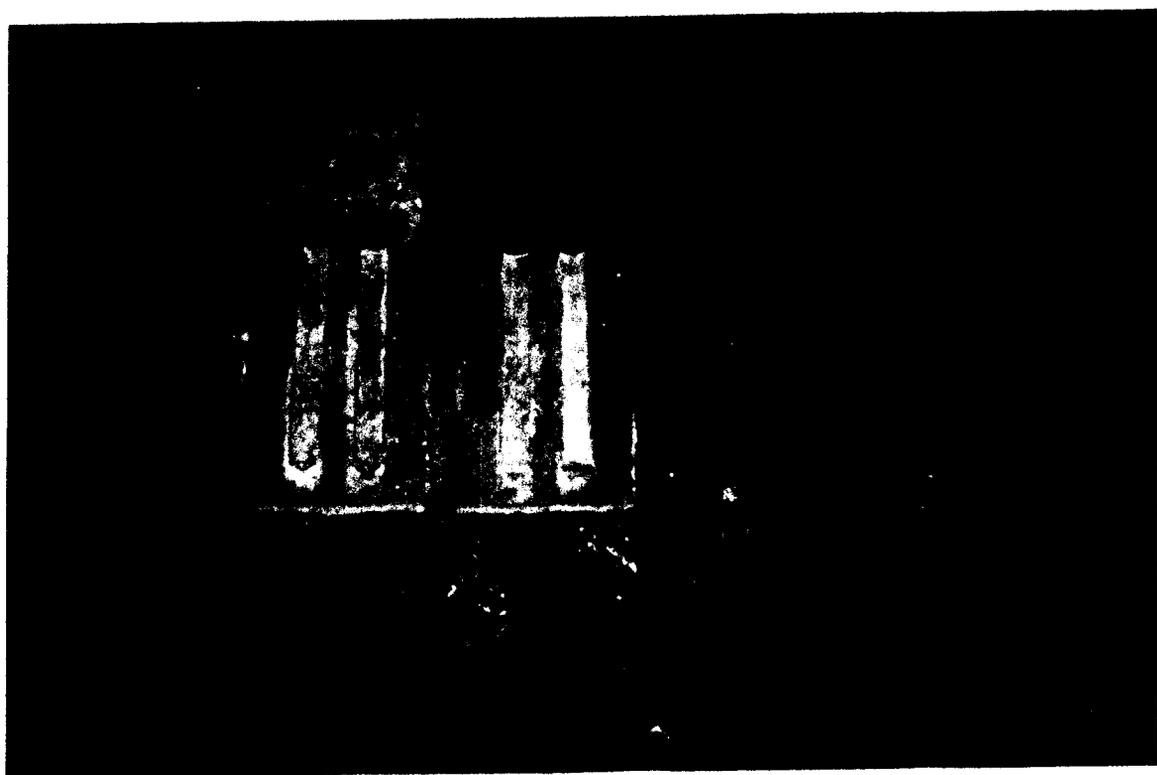


Fig. N°2.4 Molde permanente (Lingotera)

2.4 AJUSTE DE COMPOSICION QUIMICA

Una vez obtenida la muestra en virtud de la aleación se procedió a realizar el análisis de la composición química de la misma. Este análisis se lo realizó en el Laboratorio Químico del Instituto de Ciencias Químicas de la E.S.P.O.L.

Los pasos que se siguieron en el presente análisis químico fueron lo que a continuación se detallan:

1. Lavar la muestra con abundante agua, a fin de quitar cualquier tipo de suciedad, grasa etc.
2. Se peso tres cantidades de muestras de 0.25 gr cada una, en una balanza analítica del laboratorio.
3. Se colocó cada muestra pesada en un vaso de precipitación
4. Se tuvo que preparar una mezcla ácida que sea capaz de diluir completamente las muestras, la composición química de tal mezcla ácida se la prescribió a continuación en la Tabla N° IV

Tabla N° IV

Mezcla Acida para disolución de muestra

Elemento	Composición (%)
Acido Perclórico	50
Acido Clorhídrico	14
Acido Nítrico	38

(Fuente ICQ)

5. Como la tres muestras **en total pesaban 0.75 gr, se** preparó 150 ml de la mezcla ácida. **lo** cual procedimos a tomar 75 ml de ácido **pérclórico**, 21 ml de ácido clorhídrico y 57 ml de ácido nítrico, para obtener la mezcla.

6. Una vez que se tenía **diluída** completamente las muestra se procedió a la medición química **ya** de cada elemento, ésta medición se realizó en un aparato llamado **Espectrofotómetro de Absorción Atómica**, cuyo estudio breve **lo** detallaré a continuación:

El Espectrofotómetro de Absorción Atómica, es un aparato

que sirve para medir la cantidad de masa de un elemento que se encuentra dentro de otro

Para que una muestra pueda ser analizada en éste aparato en mención **es** requisito fundamental que se encuentre **liquida**, como en nuestro caso la muestra fue sólida tuvimos que diluirla en una mezcla ácida .

Consta básicamente de una lámpara que **esta** construida del mismo elemento que **se** esté analizando en la **muestra**, **la** cual expulsa una luz , y de un quemador donde se **combustiona** una mezcla especial de gases aire que **es** un oxidante que sirve para obtener una llama **más fuerte** , acetileno u **óxido** nitroso acetileno.

El procedimiento de como mide la cantidad del **elemento** a analizar **es** la mezcla de gases entra **al nebulizador**, o sea un auxiliar **por** donde entra **aire** a base de un efecto de arrastre de la **muestra**. **Al** introducir **el** capilar **en** la **muestra liquida**, hay una absorción de **esta** muestra hacia adentro, ingresa por un venturi, **y** del interior sale pulverizada, pero para que haya una repartición uniforme de la muestra, hay una especie de ventilador que hace que ésta se

difunda homogéneamente a través **de** una celda, **y en** el quemador **donde** se produce la mezcla **de** los gases de la combustibles salta una chispa producida por **una** bujía y enciende la llama (mezcla de aire y acetileno) En consecuencia, **en** el quemador sale muestra **líquida** que se **esta** analizando y mezcla **de** aire que se **está** combustionando, **en** ese **instante** la muestra líquida **se** torna gaseosa y **se** produce un vapor atómico

Los átomos en ese estado están en su estado fundamental o basal, es decir rodeados de electrones en sus órbitas normales, y “de acuerdo a la cantidad de átomos presentes va a ver una absorción de energía que está pasando por la lámpara de cátodo” que vibra a una longitud de onda determinada.

Una vez **que** el aparato absorbió la energía internamente realiza una relación, *“absorbancia de energía versus concentración del elemento”*, e imprime **el** valor de la concentración **de** cada elemento linealizando la curva absorbancia versus concentración

Esto es en síntesis, de como funciona el aparato de **ahí** que quede

por delante en forma ya manual, hacer los cálculos de la cantidad del elemento con los datos de: concentración dado por el espectrofotómetro, la cantidad de muestra (peso), y el número de disoluciones que se hayan hecho de la siguiente manera:

Dividiendo el valor de concentración dado por el aparato para el producto de las disoluciones y multiplicando por *dos* factores de reducción; y así obtener el porcentaje constitucional del elemento analizado en la muestra

La figura N° 2 5 mostrada en la siguiente página representa el Espectrofotómetro de Absorción Atómica, fotografía tornada en el Laboratorio de Química

El resultado de la composición química de cada elemento en la aleación de las muestras ensayadas fueron, los cuales se pueden ver mejor en la Tabla N° V, de la pág N° 76

Refiriéndonos a los resultados obtenidos de la Tabla en mención, se puede apreciar un resultado satisfactorio de la

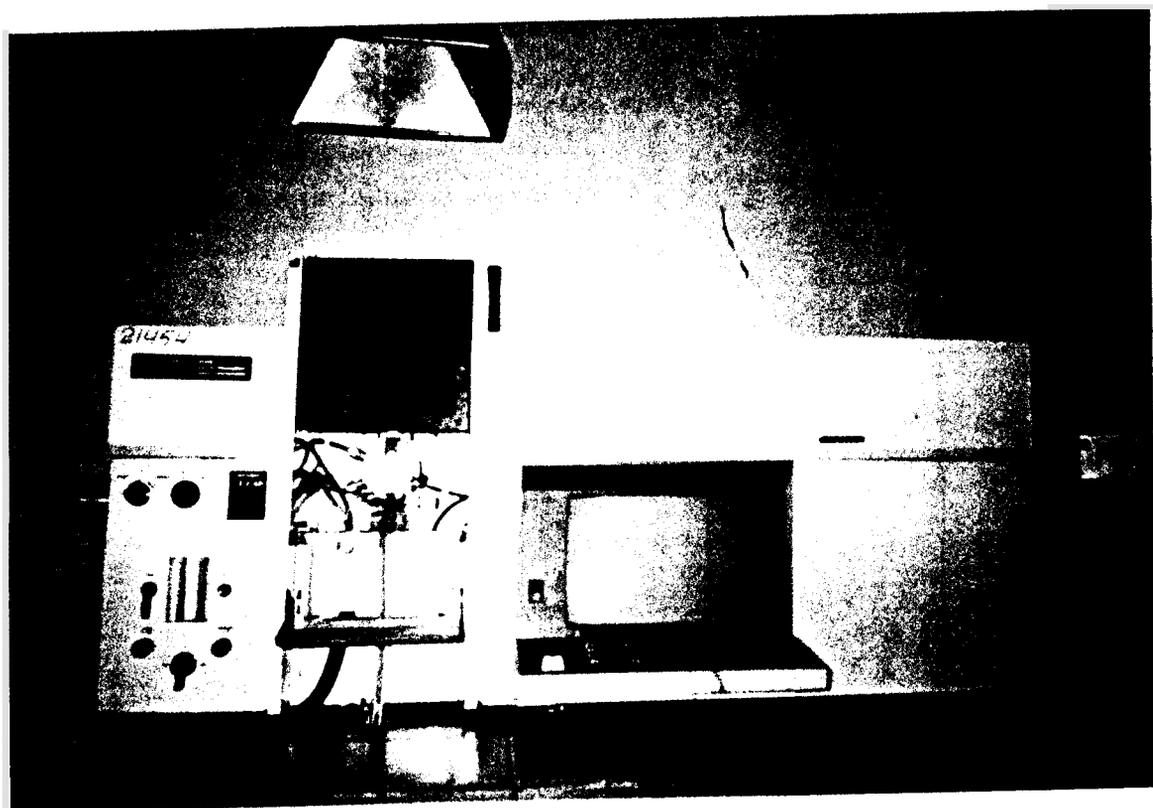


Fig N° 2.5 Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Foto Laboratorio de Química. E.S.P.O.L.

Tabla N°V

Composición porcentual de cada elemento de la aleación UNS-A07130

Elemento	Muestra 1(%)	Muestra 2(%)	Muestra 3(%)	Muestra 4(%)
Cu	0.51	0.60	0.55	0.55
Mg	0.25	0.24	0.21	0.32
Mn	0.24	0.28	0.25	0.26
Si	0.14	0.	0.14	0.15
Fe	0.51	0.42	0.47	0.47
Cr	0.09	0.12	0.13	0.11
Ni	0.10	0.08	0.08	0.09
Zn	7.79	7.21	7.10	7.37
Ti	0.09	0.14	0.15	0.13
Al	91.59	90.73	90.93	91.08

composición química porcentual de cada elemento por cuanto cada una está dentro del rango permisible. Sin embargo, cabe anotar que estos resultados fueron del cuarto ensayo de fundición realizado, por cuanto los tres primeros no todos los elementos, concordaban con lo que debía de esperar

Mientras se realizó todo el proceso del ajuste de la composición química de la aleación, fué necesario que todas las probetas de cada ensayo de los cuatro en total, sean puestas en refrigeración inmediatamente después que fueron sacadas del recipiente con agua para prevenir el envejecimiento natural de las mismas.

2.5 PROCESO DE ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL Y NATURAL.

Una vez conocido los resultados del análisis químico, procedemos a sacar de refrigeración solamente las #4 probetas que corresponden al cuarto ensayo de fundición, que fué el que **más se** ajustó a la composición química de la aleación. En esta parte procedimos a cortar cada probeta en **#12** probetitas cada una de 2 cm de altura, que en total obtuvimos **#48**; de las cuales

separamos #12 para el envejecimiento natural y las restantes para el envejecimiento artificial.

Para el Envejecimiento Natural, se procedió de la siguiente manera:

1. Se colocaron ordenadamente las #12 probetas a condiciones ambientales.
2. A partir del día tercero hasta el día décimo cuarto se procedía diariamente al control de la dureza y los resultados los prescrito en la Tabla N° VII.
3. Con los resultados diarios de la dureza se procedió a realizar una gráfica DUREZA vs TIEMPO DE ENVEJECIMIENTO NATURAL, el cual lo presentaré en la sección siguiente

En el Envejecimiento Artificial se procedió de esta itiariera en el Laboratorio de Metalurgia de la E S P 0.1, con la utilización del horno de tratamientos térmicos, que lo podemos ver en la Figura N° 20 de la págN° 50

1. **Las 36 probetitas dispuestas para el envejecimiento Artificial se dividieron en tres grupos de 12 probetas cada uno.**
2. Se tomó un grupo **y** se las colocó dentro del horno **en** una forma apropiada para que se calentaran uniformemente.
3. Cuando **el** horno marcó **110 °C**, se procedió a **estabilizarlo** a esa temperatura.
4. **A** la temperatura estabilizada se procedía a retirar una probeta a **las : 2-3-4-6-8-10-11-12-13-14-15-16** horas, se las enfriaba en agua, **y** luego **se** medía **su** dureza.
5. Lo mismo se realizó con los **dos** grupos restantes, **un** grupo a **120 °C**, **y** el otro a **130 °C**.
6. **Al** igual que **en** envejecimiento artificial, se procedió a realizar un gráfico: **DUREZA vs. TIEMPO DE EMVEJECIMIENTO**

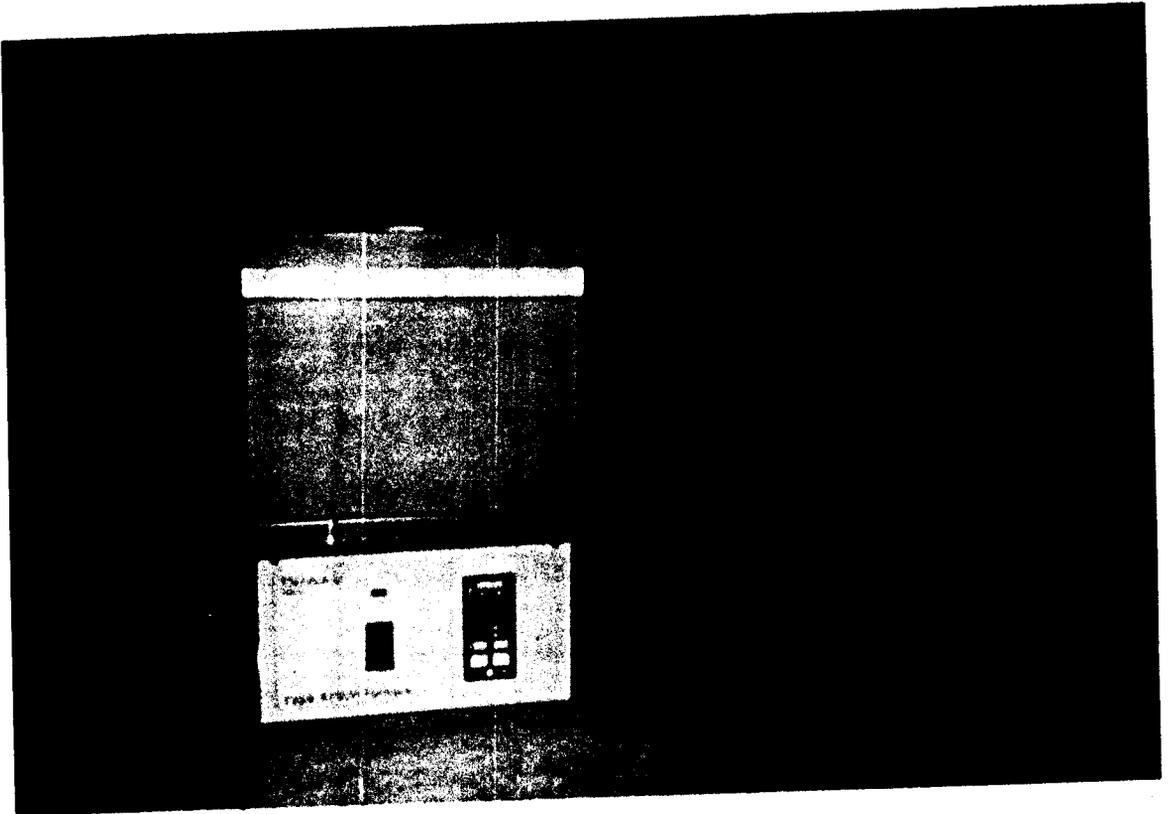


Fig. N°2.6. Horno de Tratamientos Térmicos. Foto en el Laboratorio de Metalurgia.

2.6 ENSAYO DE DUREZA EN CADA FASE DEL PROCESO.

Este ensayo también se lo efectuó en el Laboratorio de Metalurgia, con la utilización del Durómetro Brinell con una carga de **500 Kg** y una bola de **10** mm de diámetro.

Se hicieron tres mediciones de dureza la primera corresponde a: la aleación sin envejecer, es decir después de fundida y enfriada, cuyos resultados se muestra en la Tabla N° VI, pág N° 81; la segunda: al proceso de envejecimiento natural, cuyos resultados se presenta en la Tabla N° VII de la pág. N° 82, y su Gráfica (figura)N° 2.7 en la pág N° 84; la tercera: al proceso de envejecimiento artificial tanto a 110, 120 y 130 °C; cuyos resultados se presentan en la Tabla N° VIII de la pág. N° 83, y su Gráfica (figura)N° 2.8 en la pag N° 85.

Tabla N° VI

Dureza inicial de las coladas luego de fundidas

# de Fundición	Dureza(BHN)
1	55
2	56
3	55
4	57

Tabla N° VII

**Dureza de la colada N° 4 sometida
a envejecimiento natural**

Tiempo (días)	Dureza (BHN)
4	59
5	60
6	61
7	65
8	68
9	70
10	72
11	72
12	73
13	73
14	73

Tabla N° VIII.

Dureza de la colada N° 4 sometida
a envejecimiento artificial

DUREZA BHN

Temperatura (°C) Tiempo (hr)	110	120	130
2	54	55	55
3	57	58	59
4	57	61	63
6	58	65	67
8	61	66	71
10	65	69	72
11	68	70	81
12	72	76	78
13	73	a2	70
14	76	76	67
15	75	71	66
16	71	68	64

FIGURA N°2.7
DUREZA VS. TIEMPO DE ENVEJECIMIENTO NATURAL

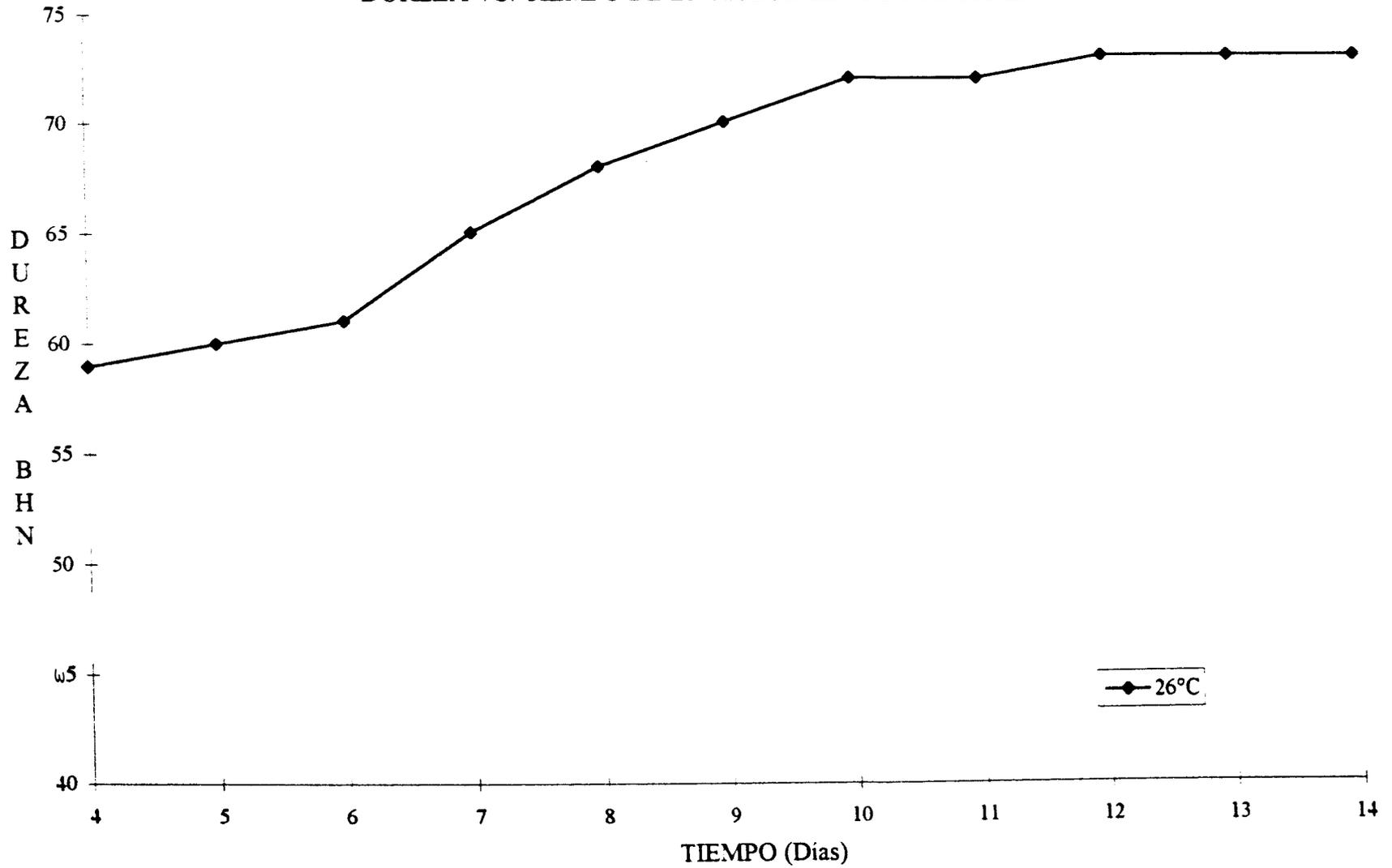
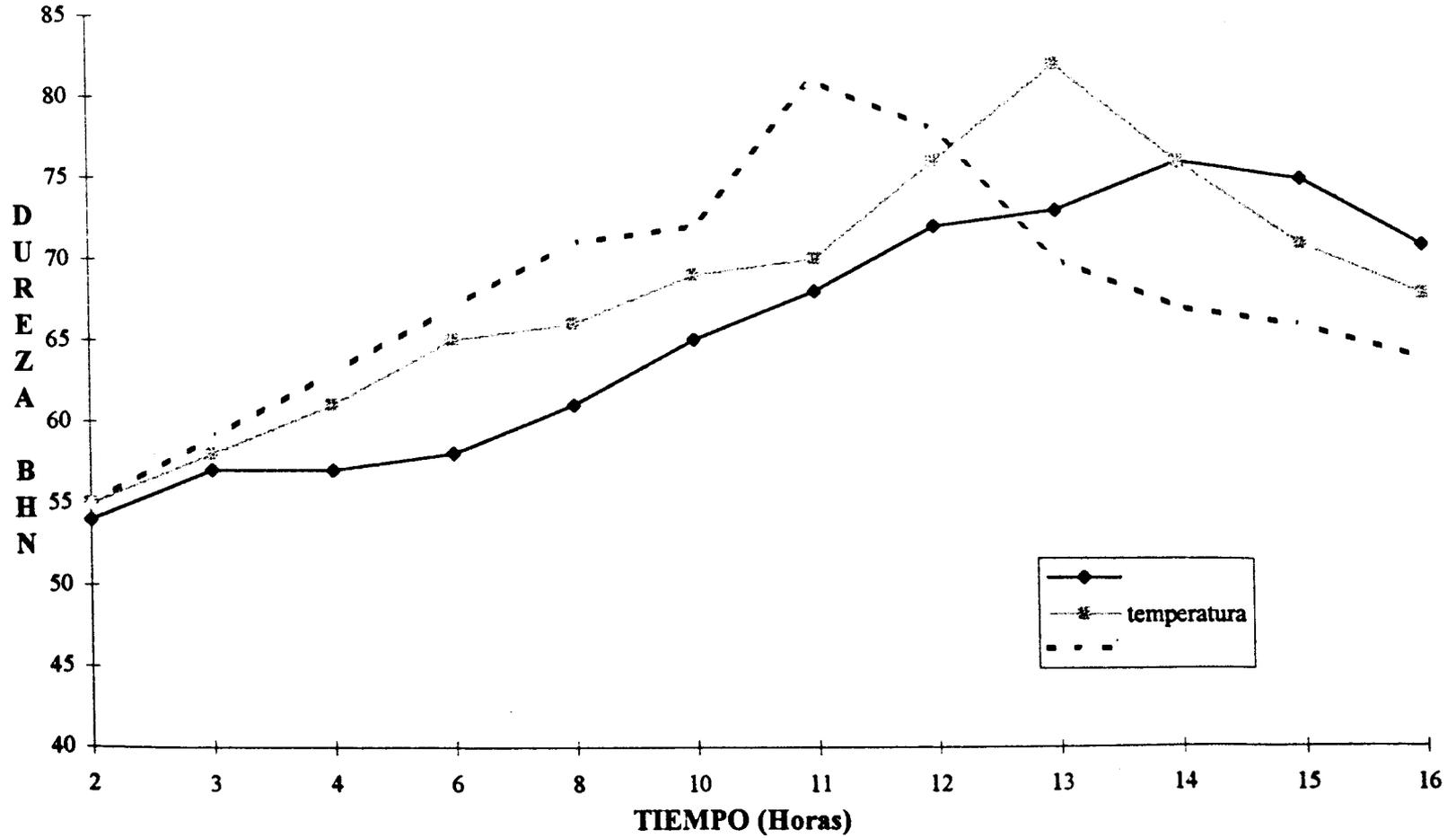


FIGURA N°2.8
DUREZA VS. TIEMPO DE ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL



2.7 ENSAYOS METALOGRAFICOS Y DE PROPIEDADES MECANICAS HOMOLOGACION DE LA ALEACION.

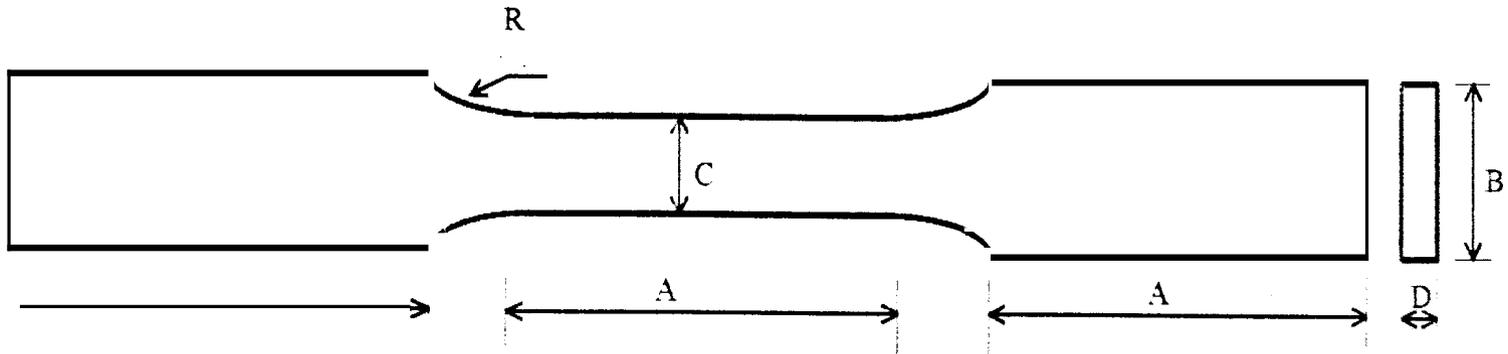
Para conocer las propiedades mecánicas de la aleación, realicé el ensayo de tracción de la misma , en el Laboratorio de Mecánica de Sólidos de la E S P O I

Utilicé como forma de la probeta en el ensayo la sugerida en la norma B557-M de la ASTM, cuyas dimensiones las muestro en la Figura N° 2-9 de la pag. N° 87. Tales probetas fueron coladas en molde de arena

En el ensayo de tracción se utilizó: el módulo de control - graficador y el módulo de tracción de la máquina de ensayos INSTRON cuyas foto de este ultimo es la Figuras N° 2-10, pág N° 88. Vale indicar que las probetas deben estar muy bien pulidas a fin de que en el área en que se produzca la rotura de la misma no exista peligro de error en la toma de los datos por culpa de la superficie.

Los resultados de este ensayo los presento en la tabla N° IX de la pág. N° 89

FICURA N°2.9
DIMENSIONES DE PROBETA PARA ENSAYOS DE TRACCIO



$A = 50.0 \text{ mm}$ $B = 19.0 \text{ mm}$ $C = 12.7 \text{ mm}$ $D = 3.0 \text{ mm}$ $R = 25.0 \text{ mm}$ (mínimo)

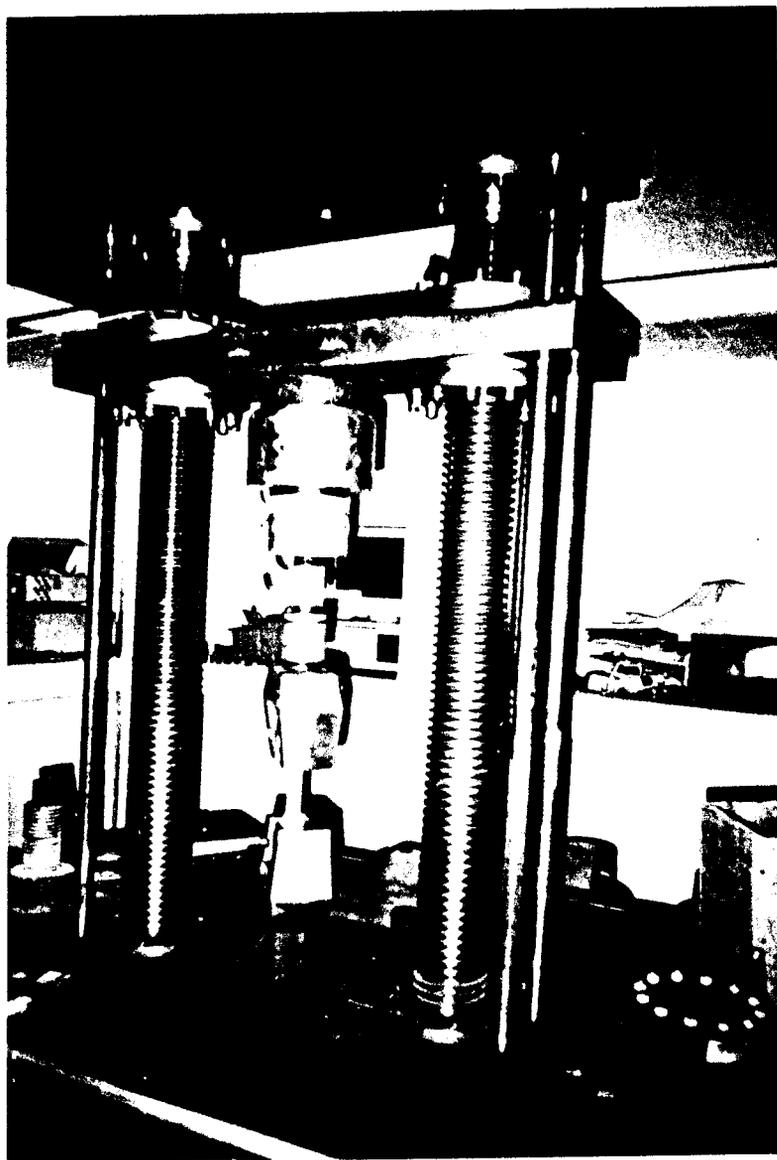


Fig. N° 2-10 Módulo de tracción de la máquina de ensayos INSTRON, con la probeta antes de romperla. Foto Lab. de sólidos

Tabla N° IX

Resultados del Ensayo de Tracción.

# de ensayo	1	2	3	4
Temperatura de Envejecimiento (°C)	Ambient	110	120	130
Tiempo de envejecimiento(hr)	11 ^{vo} día	11	11	11
Resistencia a la tracción. (MPa)	215	215	223	219
Sección inicial (mm ²)	100	102	99	103
Sección final (mm ²)	97	99	97	98
Reducción en sección (%)	3	2.94	2.02	4.85

En lo que se refiere a los ensayos metalográficos, los realicé para poder visualizar los cambios que se debían de producir en la microestructura de la aleación en cada faceta del proceso que se siguió.

Para los ensayos metalográficos, se debió preparar las superficies de las probetas, esto es con un pulido **final a base de** pasta de diamante y con un ataque químico de 1ml de HF (al 0.48%), **más 200 ml de H₂O.**

Se realizó la toma de **#4** fotografías donde: la primera corresponde a la microestructura de la aleación recién colada y enfriada (solubilizada),Figura N° 2.11 pág N° 91; la segunda a la aleación envejecida naturalmente por un tiempo de **13 días**, Figura N° 2.12 pág N° 91; la tercera a la aleación envejecida artificialmente a 120°C por un tiempo de **12 horas**, Figura N° 2.13 pág N° 92;y la cuarta a la aleación envejecida artificialmente a **120°C** por un tiempo de **16 horas**. Figura N° 2.14 pág N° 92. También se muestra las mismas fotos con aumento.Todo esto se realizó en el Laboratorio de Metalurgia de la E:S:P:O.L , y cuyas fotografías las muestro a continuación.

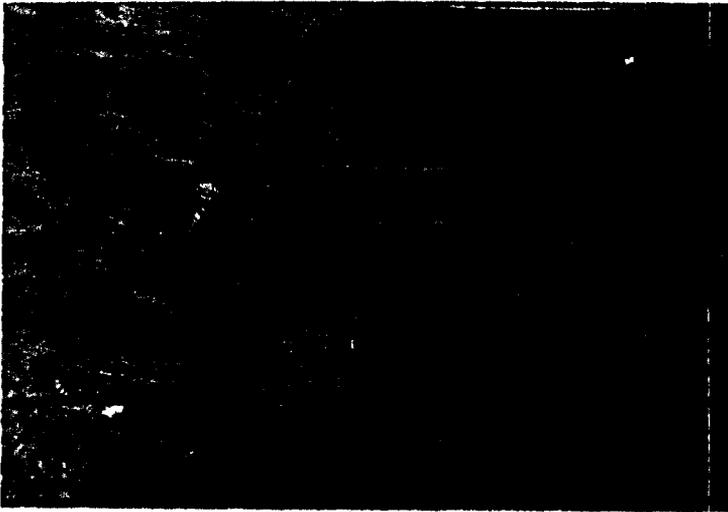


Fig N° 2.11. Microestructura de la aleación recién colada y enfriada (solubilizada). Ataque químico Keller's; (113X)

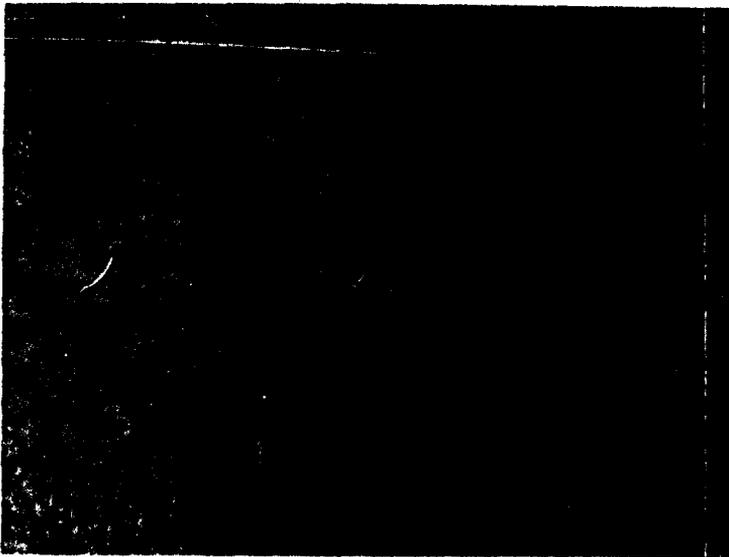


Fig N° 2.12. Microestructura de la aleación envejecida naturalmente por 13 días. Ataque químico Keller's; (113X)

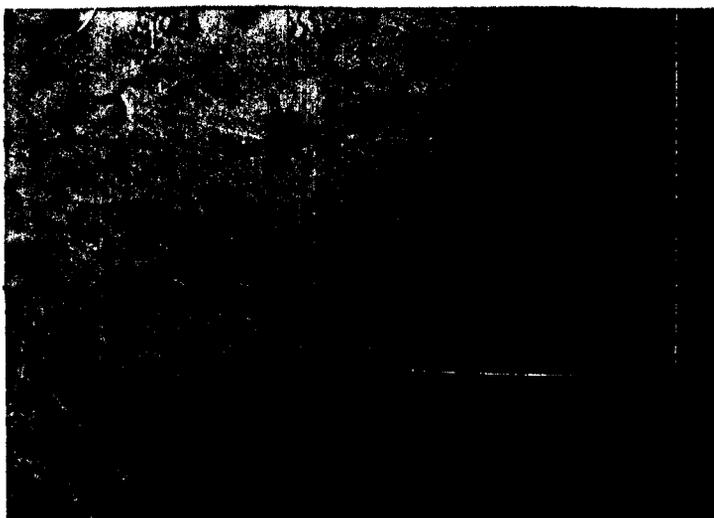


Fig N° 2.13. Microestructura de la aleación, envejecida artificialmente a 120 °C por 12 horas. Ataque químico Keller's. (113X)

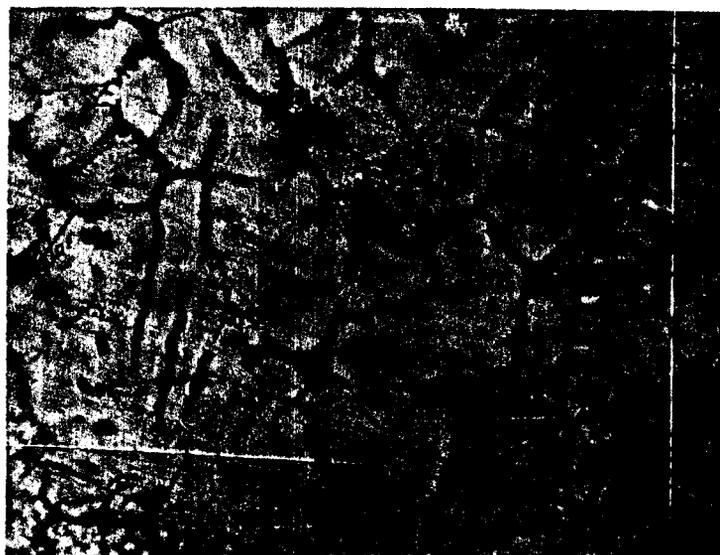


Fig N° 2.14. Microestructura de la aleación, envejecida artificialmente a 120 °C por 16 horas. Ataque químico Keller's. (113X)

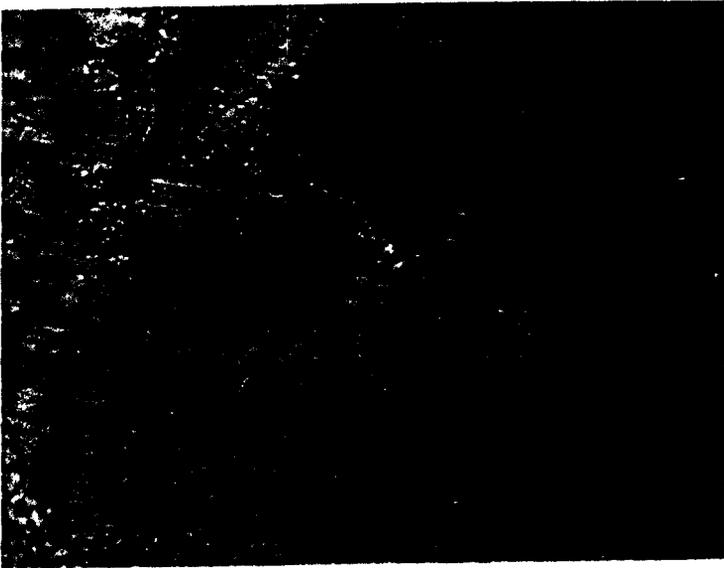


Fig. N° 2.15 Ampliación (226X) de la Figura N°2.11

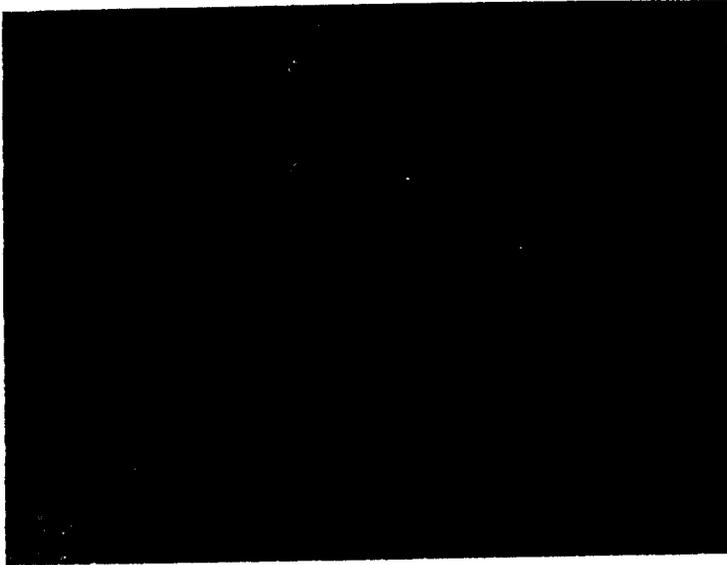


Fig. N° 2.16 Ampliación (226X) de la Figura N°2.12



Fig N° 2.17 Ampliacion (226X) de la Figura N° 2.13



Fig N° 2.18 Ampliacion (226X) de la Figura N°2.14

CAPITULO III

ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 SOBRE EL PROCEDIMIENTO

Queremos en el siguiente análisis formular criterios sobre el desarrollo comercial de la aleación UNS - **A07 13.0** fabricada a partir de materia prima de reciclaje, así también de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio realizadas como : dureza, envejecimiento natural, envejecimiento artificial, ensayo de tracción, ductilidad; analizar los mismos para obtener criterios sobre el tratamiento térmico realizado y así poder justificar su utilización en la obtención de la aleación con las propiedades mecánicas y químicas presentadas en la norma americana y requeridas en la industria metalúrgica.

Analizando el procedimiento seguido para la obtención de la aleación nos podemos dar cuenta por medio de la Tabla N° V de la pág. N° 76 que nos muestra los resultados de la composición química porcentual de cada elemento que conforma la aleación luego del análisis químico, que el porcentaje de cada elemento está dentro del rango

el manual, y que nos permite asegurar la técnica de fundición aplicada como exitosa en la obtención de la aleación.

Sin embargo, hay que mencionar que la similitud lograda de la composición química de la aleación luego del análisis químico con la propuesta en el manual, se debió a una serie de fundiciones previas realizadas tomando en cuenta también la composición química porcentual de los elementos que conforman el aluminio usado como materia prima y que nos indica la Tabla N° II de la pág N° 65. y al adiconamiento de cromo y magnesio que se debió aminorar para neutralizar sus efectos de reacción y oxidación en la aleación fundida.

Otro punto importante es que se protegió la aleación de la presencia de hidrógeno y de alguna impureza en la misma ya que ésta no presentó ningún tipo de porosidad, esto se llevó a cabo gracias al control de la temperatura de fusión, la presencia del desoxidante, y al precalentamiento previo de cada elemento próximo a ingresar en el caldo envueltos en papel de aluminio, como también de las lingoteras.

3.2 SOBRE LA CALIDAD DEL MATERIAL

En lo que se refiere al logro de la resistencia de la aleación luego de los envejecimientos, podemos decir a través de las Tabla N° VII y VIII de las paginas N° 83 y 84 respectivamente, que existe diferencia en cuanto someter la aleación a envejecimiento natural como a envejecimiento artificial, por cuanto en el primero se obtiene una dureza máxima de 73 BHN al doceavo día, y en el segundo una dureza también máxima de 82 BHN a 120 °C por espacio de 12 horas, que representa un aumento del 12.33 %.

Cabe manifestar que en el envejecimiento natural se aprecia un ascenso uniforme de la dureza, mientras que el artificial no existe esa uniformidad y más bien se manifiesta el sobre-envejecimiento de la aleación a las tres diferentes temperaturas ensayadas de 110, 120 y 130 °C.

La resistencia varía, podemos ver por medio de la Tabla N° IX de la pág N° 93, que se obtiene 215 MPa de resistencia en la aleación cuando se la somete a envejecimiento natural mientras que en el artificial a 120 °C por espacio de 12 horas se incrementa a 223 MPa lo cual significa un aumento del 3.72 %.

pero este aumento de resistencia significa una disminución en ductilidad del 32.67 %.

Cuando se somete a envejecimiento artificial a 120 °C por espacio de 16 horas se obtiene una reducción de área del 4,85%, lo que demuestra que a más tiempo la ductilidad aumenta pero la resistencia disminuye.

CONCLUSIONES.

1. Se ha conseguido fabricar una aleación a partir de chatarra que cumple con la norma americana **UNS-A0713.0** y que sirve como materia prima para la elaboración de piezas de comunicación, dispositivos aeronáuticos, **y** en la construcción de moldes para conformado de plástico.
2. **Se** ha demostrado que un medio aceptable de temple puede ser el agua , para obtener una buena solubilidad en la aleación **y** posteriormente la precipitación..
3. Con la ejecución de los dos envejecimientos natural **y** artificial **se** ha podido concluir que **el** artificial **es** mejor ya que presenta una mejor resistencia mecánica como una buena ductilidad.
4. Mediante la variación de la temperatura en el envejecimiento artificial se puede concluir que la temperatura óptima debe ser de 120°C, y a un tiempo de **11** a **13** horas.

RECOMENDACIONES

1. **Se** debe tener bastante control de la temperatura de fusión de la aleación, de la atmósfera donde se esté fundiendo, la utilización del desgasificante como también precalentar todos los elementos a usarse **en** la fundición para evitar la presencia del hidrógeno en la misma.
2. Controlar el tiempo de permanencia de aleación en los dos tipos de envejecimiento a fin de evitar el sobre-envejecimiento.
3. Ensayar la aleación bajo otros regímenes de tratamiento térmico, **a** fin de averiguar como varían sus propiedades.

BIBLIOGRAFIA

1. **INGENIEROS DEL GRUPO PECHINEY.** Enciclopedia del aluminio. Editorial Urmo. España 1981
2. **AVNER SIDNEY.** Introducción a la Metalurgia Física. Segunda Edición. Editorial Mc.Graw Hill. México 1985.
3. **AMERICAN SOCIETY FOR METALS.** Metals Handbook. Ninth Edition. Volúmen 2..
4. **AMERICAN SOCIETY FOR METALS.** Metals Handbook. Ninth Edition. Volúmen 1.
5. **CHAUSSIN C. HILLY G, CHEVERNARD P.** Metalurgia. Aleaciones Metálicas. Tomo 1. Editorial Urmo. España.
6. **HIGGINS RAYMOND A.** Ingeniería Metalúrgica Tomo II. Segunda impresión. Editorial C.E.C.S.A.
7. **KOLACHEV B.A. GABIDULLIN R.M, FIGUZOV V. U.** Tecnología de tratamiento térmico de metales y aleaciones no fe-

Editorial Mir. Moscú. 1983.. 1983.

- 8. REED-HILL BOBERT E. Physical Metallurgy Principles.
Second Edition. University series in basic engineering. PWS.
Engineering Boston USA. 1987.**