

T
669.722
B356



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica



**”Fabricación de Discos de
Aluminio Obtenidos de Lingotes y
Reciclados de Aleaciones AA-3xx
para Producción de Ollas Repujadas”**

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:

G. Manuel Bayancela Ortega



Guayaquil

Año

Ecuador

1996

AGRADECIMIENTO

**Al Ing. Ignacio Wiesner
Director de Tesis, por su
invalorable ayuda y cola-
boración para la realiza-
ción de este trabajo.**

DEDICATORIA

A MI MADRE

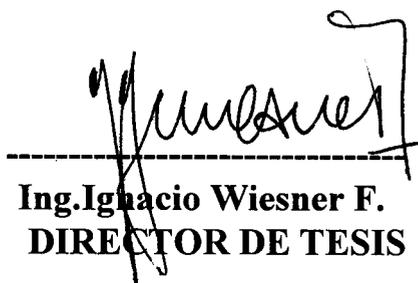
A MIS HERMANOS

A MI ESPOSA E HIJOS

TRIBUNAL DE GRADO



**Dr. Alfredo Barriga R.
DECANO DE LA U.M.**



**Ing. Ignacio Wiesner F.
DIRECTOR DE TESIS**



**Ing. Omar Serrano V.
Miembro del Tribunal**



**Ing. Antonio Viteri M.
Miembro del Tribunal**

DECLARACION EXPRESA

“ La responsabilidad por los hechos ,ideas y doctrinas expuestos en esta tesis , me corresponden exclusivamente ; y , el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL ”

(Reglamento de exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL)



G. Manuel Bayancela Ortega

RESUMEN

El presente trabajo es el producto de una investigación desarrollada en planta a fin de producir discos de aluminio, aptos para la fabricación de ollas repujadas, mediante mezclas de lingotes vírgenes y chatarras de aluminio provenientes de aleaciones pertenecientes al grupo 3xxx y que tradicionalmente han sido consideradas "no compatibles" con aluminio del grupo 1xxx que es el de uso extendido en la producción de ollas.

En la fabricación de los discos se empleó colado vertical semicontinuo, laminación en frío y tratamiento térmico de recocido.

Para lograr que los discos posean las propiedades mecánicas adecuadas, principalmente un tamaño de grano inferior a 300 micras, se realizaron una serie de pruebas tomando como base para el análisis al diseño de experimentos de tipo factorial con dos factores fijos. Esta experimentación permitió encontrar los niveles óptimos de las variables: porcentaje de reducción y temperatura de recocido.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	6
INDICE GENERAL.....	7
INDICE DE FIGURAS.....	9
INTRODUCCION.....	11
CAPITULO I: ANTECEDENTES.....	13
1.1. Descripción de la planta de fabricación.....	14
1.2. Aleaciones de Aluminio: Clasificación y Temples.....	18
1.3. Proceso de producción de discos de aluminio.....	20
1.4. Metodos de fabricación de ollas.....	37
CAPITULO II : DEFINICION DEL PROBLEMA.....	49
2.1. Análisis de la situación actual.....	49
2.2. Criterios Técnico-economicos para la susti- tución parcial de aluminio virgen por alumi- nio reciclado.....	52

CAPITULO III :	TRABAJO EXPERIMENTAL Y DISCUSION.....	57
3.1.	Obtención de la aleación considerada.....	57
3.2.	Cálculos para la composición química esperada.....	59
3.3.	Eliminación de Magnesio.....	59
3.4.	Análisis de muestras obtenidas.....	61
3.5.	Metodología del experimento realizado.....	63
3.6.	Construcción de tabla de análisis de varian- za e hipótesis.....	72
CAPITULO IV :	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
APENDICE.....		84
BIBLIOGRAFIA.....		89

INDICE DE FIGURAS

1.- Distribución de la planta.....	15
2.- Solubilidad de Hidrógeno en aluminio.....	27
3.- Comparación entre diferentes agentes refinadores de grano.....	30
4.- Diagrama de flujo en fabricación de discos Temple "O".....	35
5.- Diagrama de flujo en fabricación de discos Temple "H12".....	38
6.- Inicio del proceso de embutición en prensas hidráulicas.....	43
7.- Final del proceso de embutición en prensas hidráulicas.....	43
8.- Centrado del disco en proceso de repujado.....	47
9.- Conformado del recipiente mediante repujado.....	47
10.- Alisado de las paredes laterales del recipiente en repujado.....	48
11.- Recorte de excedentes y bordeado en repujado.....	48
12.- Grafico temperatura - tiempo en horno de recocido.....	70
13.- Tamaño de grano en discos AA-1050-O. Espesor 0.5 mm.....	77
14.- Tamaño de grano en discos AA-1050-O. Espesor 0.7 mm.....	77
15.- Tamaño de grano en discos AA-1050-O. Espesor 1.5 mm.....	78
16.- Tamaño de grano en discos AA-1050-O. Espesor 1.8 mm.....	78

17.- Tamaño de grano en discos con aleación de prueba, tratamiento A4B2.....	79
18.- Tamaño de grano en discos con aleación de prueba, tratamiento A4B3.....	79

INTRODUCCION

Para la producción de utensilios domésticos hechos en base a discos de aleaciones de aluminio, se emplean los siguientes procesos : la embutición mecánica, la embutición hidráulica y el repujado. Los dos primeros métodos requieren de discos con un control preciso en cuanto a la aleación de trabajo, el tamaño de grano, la isotropia y dureza del disco; cualquier anomalía en estas características impiden una conformación adecuada, presentando defectos que deslucen la apariencia del producto final o producen su rechazo. Esto es debido a que las velocidades de conformación son elevadas, pues para el efecto se utilizan prensas con una alta tasa de producción.

En la conformación de utensilios por medio de repujado, las características que debe presentar el disco no son tan rigurosas; Pues, al ser éste un proceso artesanal, en el cual la fuerza del operador produce la conformación del recipiente, las velocidades de producción son significativamente más bajas en comparación con la embutición. Sin

embargo es un proceso utilizado extensivamente en el país por la pequeña inversión que se requiere en cuanto a maquinaria.

El trabajo aquí presentado, que se basa en estas particularidades del proceso de repujado, trata sobre la producción de discos que sin ser "óptimos" en cuanto a sus características, puedan ser repujados.

Evidentemente que esta disminución en cuanto a las propiedades de los discos se compensa con su costo de producción menor, mediante la utilización de reciclados provenientes de chatarras seleccionadas previamente.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

En el país, la oferta de utensilios de cocina fabricados con aluminio fraguado proviene de dos sectores: producción nacional y producción de otros países.

La oferta proveniente del exterior representa aproximadamente el 10 % del total e ingresa a nuestro país de dos formas: a través de las importaciones realizadas por las cadenas de almacenes de distribución de productos de consumo masivo y a través del contrabando.

A su vez, la oferta derivada de la producción nacional se divide en dos:

Una que representa el 60 % del consumo nacional y proviene del grupo

Umco, el mismo que cuenta con empresas productoras de discos, productoras de ollas y comercializadoras ; y la otra que representa el 30 % restante es producida por un grupo heterogéneo de empresas y talleres artesanales cuyo suministro de discos de aluminio lo reciben de las empresas laminadoras ubicadas en la ciudad de Guayaquil.

En definitiva, la producción nacional de aluminio para artículos de menaje, que es de aproximadamente (110-120) toneladas/mes y abastece al 90 % del mercado nacional, se fabrica en un grupo reducido de aleaciones: AA-1050, AA-1100 y AA-3003. Las dos primeras aleaciones son para ollas convencionales, tapas, pailas, etc; mientras que la última se emplea exclusivamente en la fabricación de ollas de presión.

1.1. DESCRIPCION DE LA PLANTA DE FABRICACION.

Como puede verse en la Figura No.1, las plantas que suministran discos de aluminio, están constituidas por cinco zonas : Fusión, Laminación, Corte, Recocido y Empaque.

ZONA DE FUSIÓN.- En esta zona, cuyo objetivo fundamental es el de suministrar placas a los laminadores, se establecen cuatro áreas: la

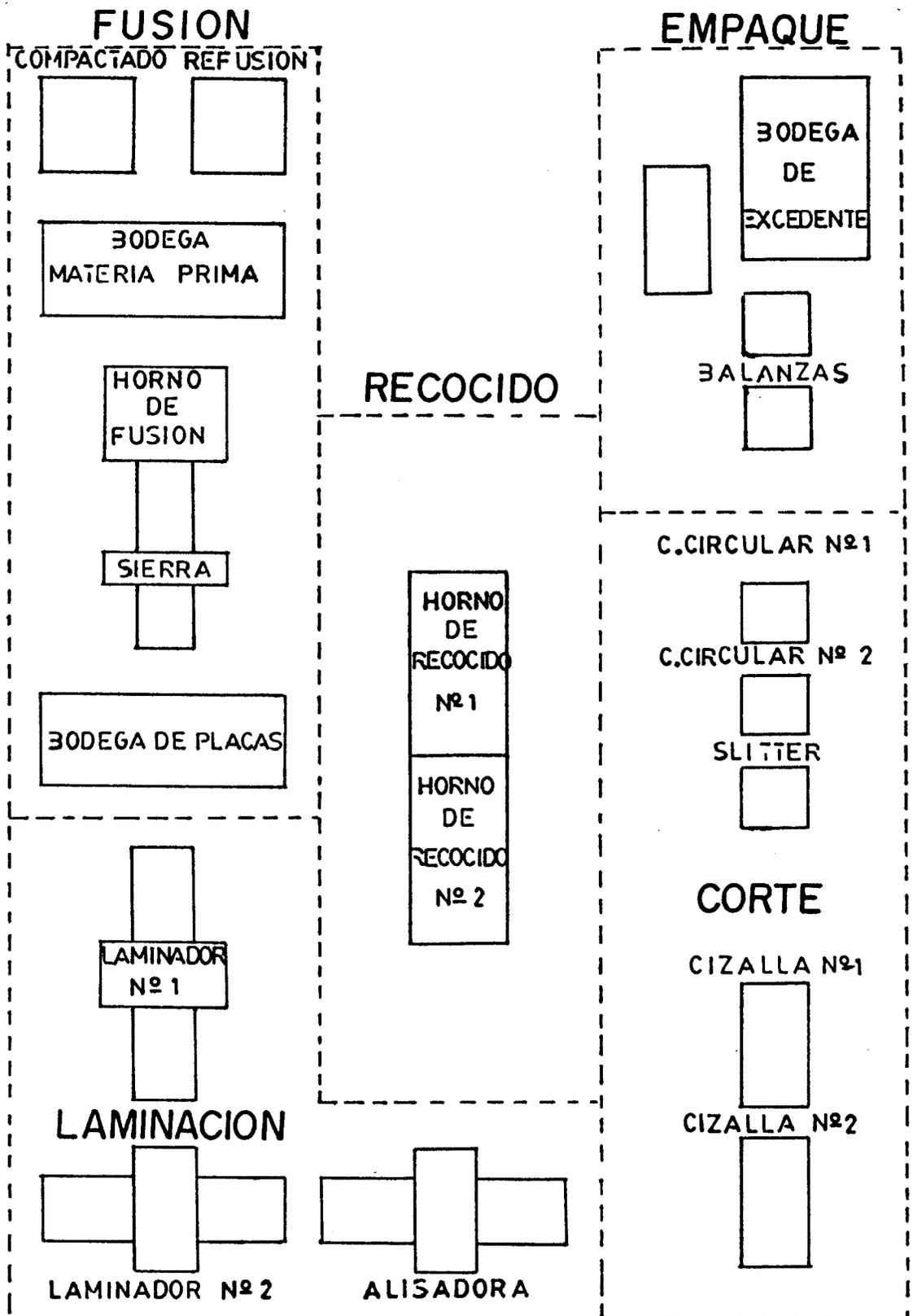


FIGURA Nº1: ESQUEMA DE LA DISTRIBUCION DE UNA PLANTA PARA LA FABRICACION DE DISCOS DE ALUMINIO

primera de ellas, sirve como bodega de materia prima en la cual se almacenan los lingotes virgenes, los lingotes provenientes de la refusión de chatarras y residuos de fabricación. Estos residuos se almacenan sueltos en el caso de materiales con espesores superiores a los 2 mm y los residuos finos son previamente compactados y almacenados en forma de briquetas.

En la segunda área se encuentra ubicada la máquina compactadora y ésta es una zona de tránsito pues los materiales finos luego del compactado van a la bodega de materia prima.

En la tercera área está ubicado el horno de recuperación y es aquí donde se obtienen los lingotes provenientes de las chatarras adquiridas localmente.

La última área de la zona de fusión está constituida por el horno principal, el sistema de colado horizontal, el mecanismo automático de corte de placas y una bodega para almacenamiento de placas.

ZONA DE LAMINACION.- Esta segunda zona está formada por los laminadores, en este caso dos, y la máquina alisadora; todas ellas, con sus respectivas mesas y áreas adyacentes para almacenamiento temporal de los productos en proceso. Es práctica normal destinar un laminador

para transformar las placas en láminas de alrededor de 6 mm de espesor, mientras que el otro laminador es utilizado en operaciones finales.

La máquina alisadora sirve para dar planeidad a las láminas provenientes del segundo laminador luego de la última pasada.

ZONA DE CORTE.- La tercera zona está conformada por 2 cizallas para corte de láminas, 2 cizallas para corte circular y 1 cizalla (slitter o tajadera) para corte de flejes. Al igual que en el caso anterior debe disponerse de zonas adyacentes para almacenamiento temporal de productos en tránsito.

ZONA DE RECOCIDO.- Esta cuarta zona está constituida por los hornos de recocido y sus paneles de control; Las áreas aledañas a los hornos son utilizadas para estibar toda la carga que debe ser recocida, de acuerdo a las órdenes de producción. La ubicación de estos hornos es de gran importancia para el normal flujo de materiales. La disposición mostrada en la figura No. 1 es la más adecuada pues permite un fácil acceso desde la zona de laminación (para recocido de proceso) y desde la zona de corte (para recocido final).

ZONA DE EMBALAJE.- La quinta y última zona, está provista de balanzas y todos los dispositivos necesarios para realizar un adecuado

embalaje de los bultos de discos que pasarán inmediatamente a la bodega.

En esta zona también existe una bodega para almacenar los “excedentes” de discos por cada medida en cada orden de producción. Esta producción más allá de lo solicitado se da por la imposibilidad, sobre todo en discos con poco peso, de que la cantidad de placas que van al laminador produzcan la cantidad exacta de discos solicitados.

1.2. ALEACIONES DE ALUMINIO: CLASIFICACION Y TEMPLES.

La presente clasificación, es utilizada ampliamente y es además el sistema adoptado por las empresas productoras de aluminio más grandes del mundo: Alcoa, Pechiney, Reynolds, Alcan, etc. y se basa en una recomendación realizada por la “aluminum Association”.

La recomendación describe un sistema numérico de 4 dígitos para designar al aluminio fraguado y sus aleaciones.

El primero de los cuatro dígitos indica el grupo de aleaciones, de acuerdo a la siguiente tabla:

Aluminio, mínimo 99.00 %.....	1XXX
Cobre.....	2XXX
Manganeso.....	3XXX
Silicio	4XXX
Magnesio.....	5XXX
Magnesio y Silicio.....	6XXX
Zinc.....	7XXX
Otros elementos.....	8XXX.

En el grupo 1xxx, para contenidos de aluminio de 99.00 % y más, los últimos dos dígitos en la designación indican el mínimo porcentaje de aluminio. Estos dígitos son los mismos que aquellos que van a la derecha del punto decimal en el porcentaje mínimo de aluminio, cuando éste se expresa hasta aproximación centesimal.

El segundo dígito en la designación indica las modificaciones en los límites para impurezas o elementos aleantes.

Si el segundo dígito es cero, significa límite natural para las impurezas y enteros entre 1 y 9, que son designados consecutivamente, según sea necesario, indican un control especial sobre una o más impurezas o elementos aleantes.

En los grupos de aleaciones desde 2xxx hasta 8xxx, los dos últimos dígitos en la designación, no tienen ningún significado especial y sirven solamente para identificar las diferentes aleaciones dentro de un mismo grupo. El segundo dígito en la designación de la aleación indica modificaciones en la misma. Si el segundo dígito es cero, indica que la aleación es original. Enteros entre 1 y 9, que son asignados consecutivamente, indican modificaciones en la aleación.

Cabe mencionar que, para propósitos de codificación, se define al elemento aleante como aquel elemento que es intencionalmente añadido para cualquier propósito que no sea refinar el grano y para el que se especifican el límite mínimo y máximo.

Finalmente, la Aluminum Association recomienda que los análisis para elementos aleantes e impurezas sean expresados respetando la siguiente secuencia: Si, Fe, Cu, Mn, Mg, Cr, Ni, Zn, Ti, Otros elementos cada uno, otros elementos total y Aluminio.

La parte que tiene que ver con la clasificación de Temple para aluminio fraguado, se trata como apéndice al final.

1.3. PROCESO DE PRODUCCION DE DISCOS DE ALUMINIO.

ALEACIONES MAS UTILIZADAS .

Para la fabricación de discos de Aluminio que serán luego transformados en artículos de menaje de tipo convencional, las aleaciones que mayor uso tienen en la industria, son aquellas que pertenecen al grupo 1xxx, y de entre ellas: AA-1050, 1045, 1040, 1035, 1030 y 1100.

A su vez, de las aleaciones mencionadas anteriormente, las de mayor desarrollo en el país son AA-1050 y AA-1100. En la tabla No 1. se muestran los límites de impurezas máximos permisibles para estas aleaciones:

Otros

ALEACION	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	c/u	Tot.	Al mín
AA-1050	0.25	0.40	0.05	0.05	0.05	—	—	0.05	0.03	0.03	—	99.50
AA-1100	Si+Fe 0.95 %		0.20	0.05	0.05	—	—	0.10	0.05	0.05	0.15	99.00

TABLA 1: LIMITES PARA ALEANTES EN AA-1050 Y AA-1100

Estas aleaciones tienen como aleantes principales Hierro y Silicio y es usual emplear una relación Fe/Si de 2.5 (Fe = 0.30, Si = 0.12) para AA-1050 y una relación de 2.8 (Fe = 0.60, Si = 0.21) para AA-1100.

Para la fabricación de ollas de presión, se utiliza para cuerpo y tapa, discos de AA-3003. Es de anotar que estas ollas solo las fabrica el Grupo Umco.

La tabla No. 2 muestra los límites máximos para aleantes de esta aleación.

Otros

ALEACION	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	c/u	Tot	Al min.
AA - 3003	0.60	0.70	0.20	1.0-1.5	0.05	—	—	0.10	0.03	0.05	0.15	Resto

TABLA 2. LÍMITES PARA ALEANTES EN AA-3003

FUSION.

A continuación, se hará una explicación mas o menos detallada del proceso de fusión, resaltando las distintas operaciones necesarias para obtener placas sólidas y sin defectos.

CARGA AL HORNO.- Normamente esta carga está compuesta de lingotes virgenes, despuntes y residuos propios del proceso de fabricación de discos y lingotes provenientes de la recuperación de chatarras.

La primera parte de la carga, necesaria para formar el pie de baño, se compone de los materiales más gruesos ; es decir, materiales con baja relación superficie/Volumen. Esta práctica nos permite reducir la oxidación del metal, generar menos escoria y minimizar el riesgo de proyecciones de metal líquido; pues, es conocido que las piezas más pesadas pueden contener cavidades húmedas.

Seguidamente se cargan los materiales más livianos de acuerdo al orden creciente superficie/ volumen. Los materiales muy livianos, para evitar pérdidas importantes por oxidación, deben ser previamente compactados.

Mientras transcurre el tiempo de calentamiento y fusión deben respetarse las siguientes reglas básicas a fin de evitar la absorción de gases y oxidación del metal: evitar exponer el material directamente hacia la llama, evitar sobrecalentamientos por largos periodos , evitar toda traza de humedad en las herramientas e insumos que ingresen al horno e introducir cualquier herramienta previamente recubierta y precalentada.

ADICION DE LIGAS MADRES.- Debido a que las aleaciones se preparan siempre a partir de lingotes de alta pureza con contenidos bajos de Fe y Si, principalmente, se vuelve necesario entonces adicionar al

metal líquido materiales ricos en estos elementos (Liga-madre), a fin de ajustar sus contenidos a los valores propios de cada aleación.

Para esto, primero, hay que incrementar la temperatura del baño a valores de 780°C - 800°C , una vez que se ha alcanzado esta temperatura las ligas que vienen en forma de pastillas de aproximadamente 0.5 kg de peso cada una, se introducen en el baño a través de una campana de hierro , la misma que debe moverse lentamente por todo el volumen del baño hasta lograr la completa disolución de las pastillas colocadas en su interior.

APLICACION DE FUNDENTES.- Siendo el aluminio un metal que se oxida fácilmente a altas temperaturas, se vuelve necesario emplear fundentes que lo protejan de la oxidación, retengan las impurezas y eviten la interacción metal-gas de combustión.

En la literatura sobre aluminio pueden encontrarse con algún detalle, una variedad de fundentes utilizados para diversos fines tales como: limpieza, cobertura, desoxidación, afinantes, mixtos, de efectos especiales, etc.

En nuestro país los de mayor aplicación son los fundentes escorificantes-desoxidantes para hornos de reverbero.

A continuación, a manera de ejemplo se detallan las composiciones químicas de dos fundentes con estas características:

CINa.....	45 %	CIK.....	80 %
CIK.....	45 %	KAIF6.....	15 %
FNa.....	10 %	K ₂ O ₄	5 %

El fundente se aplica esparciéndolo por toda la superficie del baño, una vez que la temperatura ha descendido a 750°C y luego se remueve la colada para que el fundente se mezcle con el metal y pueda arrastrar los materiales extraños hacia la superficie. Se deja luego reposar por aproximadamente 15 minutos.

Los fabricantes recomiendan aplicaciones del 0.5 % al 1 % en peso con relación a la carga; evidentemente que, la cantidad de fundente a aplicarse es inversamente proporcional al porcentaje de lingote virgen en la carga.

DESESCORIADO.- Esta operación debe realizarse cuando la acumulación de escorias en la superficie del baño sea considerable. No se recomienda amontonarla en montículos sino más bien retirarla hacia la rampa cerca a la puerta del horno, dejarla escurrir y sacarla

inmediatamente. El momento ideal para realizar el desescoriado es cuando la espuma generada por la formación de óxidos de Mg y Al durante la fusión, aún permanece pastosa.

DESGASIFICADO.- En el caso del aluminio, el único gas que se disuelve en forma significativa es el hidrógeno y si bien, su reactividad es casi nula alrededor de la temperatura de fusión de la aleación, crece muy rápidamente llegando a valores de 1.3 cm³ de Hidrógeno por cada 100 gr de aluminio líquido cuando la temperatura es de alrededor de 760 ° C, conforme se muestra en el Figura No 2.

Cuando el metal fundido se enfría rápidamente desde altas temperaturas al realizarse el colado, el hidrógeno disuelto tiende a separarse de acuerdo a las condiciones de equilibrio. Sin embargo, esta separación es lenta e insuficiente, pues los gases pueden quedar atrapados en el interior de la masa y forman entonces burbujas subsuperficiales que aparecen en el producto final en forma de ampollas, originando el rechazo del mismo. Por ello se hace necesario realizar el desgasificado.

Para esto, pueden emplearse: gas cloro, mezclas Nitrógeno-Cloro y hexafluoroetano. La práctica más extendida consiste en emplear pastillas de hexafluoroetano colocadas en el interior de una campana la misma que

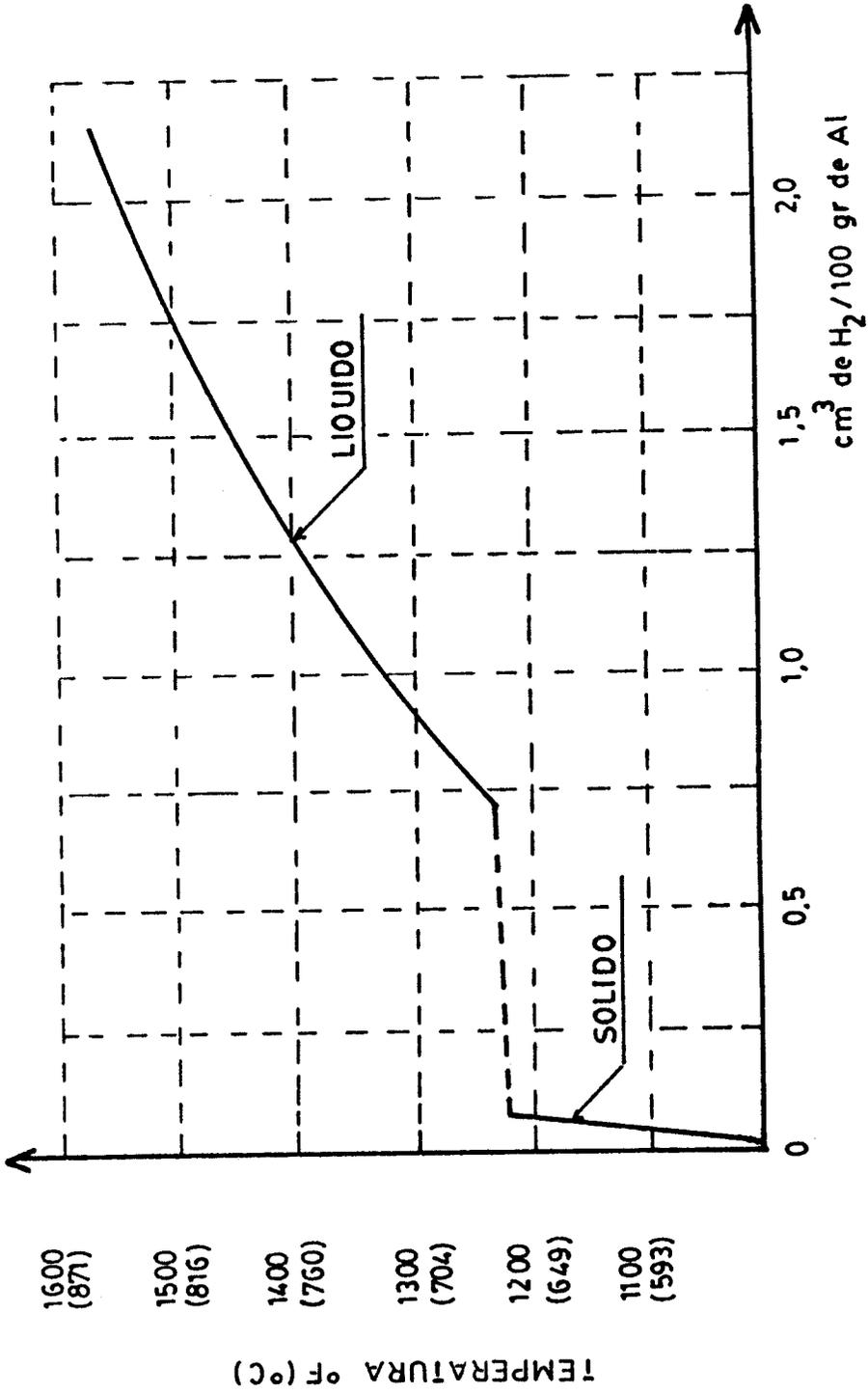


FIGURA Nº 2: SOLUBILIDAD DE HIDROGENO EN ALUMINIO EN FUNCION DE LA TEMPERATURA

es rableada por el lecho del horno hasta la completa disolución de dichas pastillas.

Se recomienda emplear cantidades de 0.1 % en peso se la carga está compuesta únicamente de lingotes y porcentajes mayores, hasta valores de 0.2 % en peso si la carga , además de lingotes, contiene material liviano. Para su aplicación se sugiere apagar el horno cuando la temperatura sea de unos 740 °C ya que el calor residual elevará la temperatura unos 20 ° C. Entonces, se introduce la campana apenas se note un descenso en la temperatura del metal líquido.

DESESCORIADO FINAL.- La reacción producida por el contacto del desgasificante con el metal produce una pequeña cantidad de escoria , pues los productos desgasificantes también ayudan a elevar hacia la superficie del baño partículas libres y óxidos finos; por ello, esta escoria debe ser retirada antes de continuar.

ADICION DE AGENTES REFINADORES DE GRANO.- Es conocido que la adición al metal líquido de un agente que promueva el refinamiento de grano, sin introducir efectos negativos en la colada,

mejorará las propiedades mecánicas y el acabado superficial de los productos que se obtengan.

Esta aseveración se fundamenta en el hecho de que el aluminio y sus aleaciones tienden a poseer un grano tosco que disminuye sus propiedades mecánicas, su aptitud de estanqueidad e incrementa la posibilidad de formación de grietas. Esta tendencia negativa es promovida por las refusiones sucesivas, sobrecalentamientos y mantenimientos prolongados en estado líquido.

Por ello, se vuelve imprescindible introducir en la colada sustancias que posibiliten el refinamiento del grano.

Como puede notarse claramente en el Figura No 3, de todas las sustancias probadas para este fin, la de mejores resultados es la aleación ternaria Al-Ti 5 % - B 1 %, conocida comercialmente como Tibor o Tibal.

Se recomienda una adición del 0.005 % en peso si ésta se realiza a través de dispositivos de alimentación continua (Automatic Rod Feeder) y se puede llegar a valores de 0.015 % en peso si la adición se realiza en el horno a través de una campana y antes del vaciado.

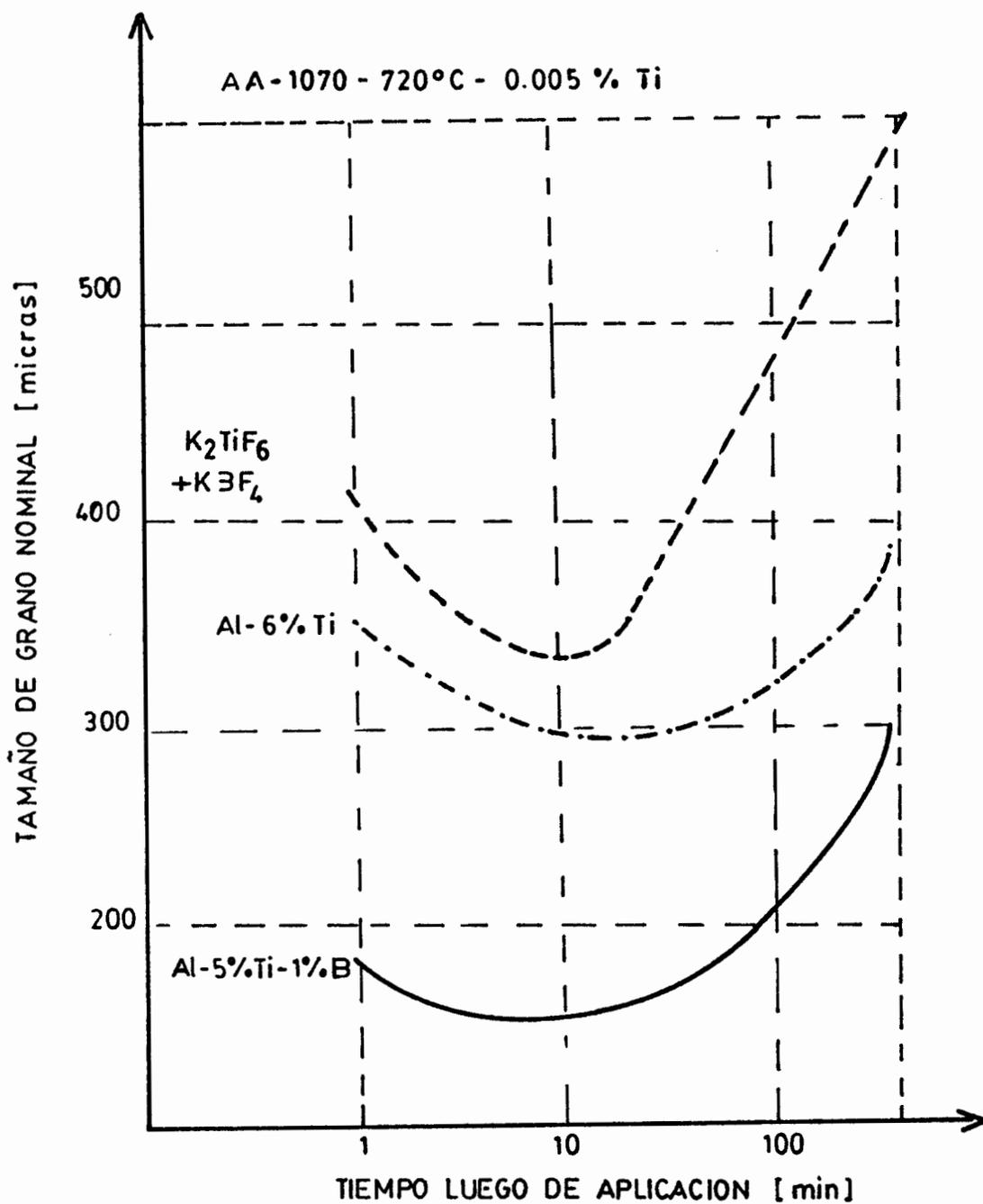


FIGURA N°3: COMPARACION ENTRE DIFERENTES AGENTES REFINADORES DE GRANO CON VALORES EQUIVALENTES DE ADICION

Una vez realizadas las operaciones descritas anteriormente, se procede al vaciado o colado. Para el efecto existen sistemas de colada vertical semicontinua con los cuales puede obtenerse 2 o más placas a la vez y equipos de vaciado horizontal continuo.

Antes de continuar con la explicación del proceso de producción de discos, aclararemos que, en las secciones subsiguientes, el análisis se restringirá a discos con temple "O", con los cuales se fabrica el cuerpo de la olla, y discos con temple "H12", para la fabricación de tapas. Para detallar el proceso de obtención de los mismos, se asumirá que se van a fabricar discos de diámetro 430 mm y espesor de 1.2 mm temple "O" (\varnothing 430x1.2-O) y discos de diámetro 310 mm y espesor de 0.5 mm temple "H12" (\varnothing 310x0.5-H12).

FABRICACION DE \varnothing 430 X 1.2 - O.

Se supondrá que se obtuvieron placas coladas verticalmente de $l=2000$ mm, $a=400$ mm y $e=30$ mm. Vamos a suponer también, que la práctica más común es realizar 3 cortes a cada placa para facilitar la manipulación.

Entonces de una placa obtenemos 4 placas pequeñas de $500 \times 400 \times 30$.

PRIMERA LAMINACION.- Se inicia la laminación manteniendo fijo el lado de 500 mm . Para conocer el espesor hasta el cual debe laminarse, se asume que el porcentaje de reducción entre el recocido de proceso y el recocido final debe ser del 80 %.

Por lo tanto: e (1ra. laminación) = e final / (1 - % reducción)

e final = 1.2mm

% red. = 80 %.

Entonces reemplazando, obtenemos e (1ra. laminación) = 6.0 mm.

En la primera laminación se obtienen 4 laminas de 2000x500x6

PRIMER CORTE.- Por efectos de la laminación, en los extremos de cada lámina, se produce una ligera "parábola" la misma que nos obliga a un despunte de aproximadamente 50 mm por cada extremo. Entonces nuestras láminas quedan ahora de 1900x500x30.

Para realizar el primer corte, nos guiamos por la siguiente regla práctica:

Si el disco final tiene un $\varnothing < 500$ mm, entonces $L_c = \varnothing + 10$ mm

Si el disco final tiene un $\varnothing \geq 500$ mm, entonces $L_c = \varnothing + 20$ mm

En este caso $L_c = 430 + 10 = 440$ mm.

Entonces de cada lamina se obtienen 4 de 500x440x6 y un despunte de 500x140x6.

RECOCIDO DE PROCESO.- Las 16 láminas de 500x440x6 son recocidas para devolverle al material la capacidad de recibir deformación sin sufrir rajaduras.

SEGUNDA LAMINACION.- Ahora, se mantiene fijo el lado de 440 mm y la segunda laminación nos lleva al espesor final que es 1.2 mm.

De esta forma se obtienen 16 laminas de 2500x440x1.2.

SEGUNDO CORTE.- En primer lugar debe despuntarse los extremos de cada lamina por el efecto "parábola" ya descrito. Este despunte nos lleva a láminas de 2400x440x1.2.

Realizamos luego el corte que es necesario para poder, posteriormente, cortar circularmente los discos. En este corte se obtienen cuadrados de 440x440x1.2.

Entonces, $2400/440 = 5$ cuadrados de 440x440x1.2 por lámina y.

1 rectangulo de 440x200x1.2 como despunte.

Luego del segundo corte, en total tenemos 80 cuadros de 440x440x1.2

CORTE CIRCULAR.- En las cizallas para corte circular se obtienen 80 discos de 430x1.2 mm.

RECOCIDO FINAL.- Por último, a los discos así obtenidos, hay que recocerlos nuevamente. De esta forma, de una placa de 2000x400x30, se han obtenido 80 discos de 430x1.2 mm-O.

Es interesante observar que, el peso de la placa es 64.8 Kgs, mientras que el peso de los 80 discos es 37.6 Kgs, es decir que el rendimiento teórico del proceso es sólo del 58 %.

La figura No. 4 muestra el diagrama de flujo en la producción de discos con temple "O".

FABRICACIÓN DE DISCOS 310 X 0.5 - H12.

CORTE DE PLACAS: Se obtienen 4 placas de 500x400x30.

PRIMERA LAMINACION.- Para discos H12, la práctica es realizar la primera laminación hasta un espesor equivalente a 5 veces el espesor final. Entonces: e (1ra. Laminac) = $5 \times 0.5 = 2.5$ mm.

Por lo tanto, de la primera laminación obtenemos 4 láminas de 4800x500x2.5

PRIMER CORTE.- cada lámina es despuntada 50 mm en cada uno de sus extremos; por ello, la longitud útil se reduce a 4700.

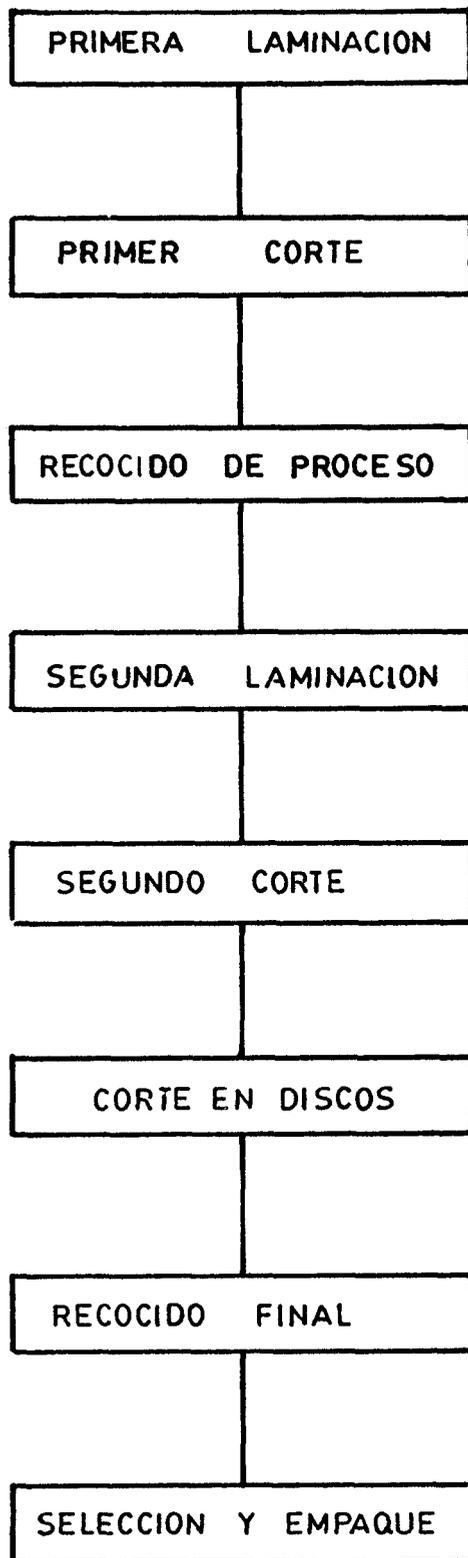


FIGURA N° 4: DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA FABRICACION DE DISCOS
CON TEMPLE "0"

Ahora la Longitud de corte para cada disco es $L_c = 310+10 \text{ mm} = 320 \text{ mm}$.

Entonces $4700/320 = 14$ láminas de $500 \times 320 \times 2.5$

1 lámina de $500 \times 220 \times 2.5$

Es decir que, luego del primer corte tenemos 56 láminas de $500 \times 320 \times 2.5$

SEGUNDA LAMINACION.- Para discos H12, el porcentaje de reducción luego del recocido es el 20 %. Por lo tanto el espesor hasta el cual nos llevará esta segunda laminación es :

$$e(2da. laminación) = e(\text{final}) / (1 - 0.20) = 0.63 \text{ mm.}$$

La segunda laminación se realiza manteniendo fijo el lado de 320 mm.

De esta forma se obtienen 56 laminas de $1984 \times 320 \times 0.63 \text{ mm}$.

RECOCIDO DE PROCESO.-

TERCERA LAMINACIÓN.- En esta última laminación, se sigue manteniendo fijo el lado de 320 mm. Por lo tanto, se obtienen 56 láminas de $2500 \times 320 \times 0.5$

SEGUNDO CORTE.- Luego del despunte correspondiente cada lámina tiene un largo útil de 2400 mm.

$2400/320 = 7$ cuadrados de $320 \times 320 \times 0.5$.

1 rectangulo de $320 \times 160 \times 0.5$, como despunte.

Es decir que, luego de esta operación se obtienen 392 cuadrados.

CORTE CIRCULAR.- Esta operación nos proporciona entonces 392 discos de 310×0.5 mm- H12.

La figura No. 5 muestra el diagrama de flujo para la producción de discos con Temple "H12".

El peso de estos discos que es de 40 Kgs, al compararlo con el peso de la placa inicial de 64.8 Kgs, nos da un rendimiento de 61.7 %.

Estas observaciones se hicieron, por cuanto el proceso de producir discos tiene en promedio rendimientos del 55 % .

1.4. METODOS DE FABRICACIÓN DE OLLAS.

EMBUTICION.- Es un proceso para conformar la lámina metálica entre un punzón y una matriz con el objeto de producir recipientes cilíndricos, cónicos o cajas.

En la embutición de piezas cilíndricas, inicialmente el punzón toma contacto con el disco y la parte central del mismo es doblada sobre la

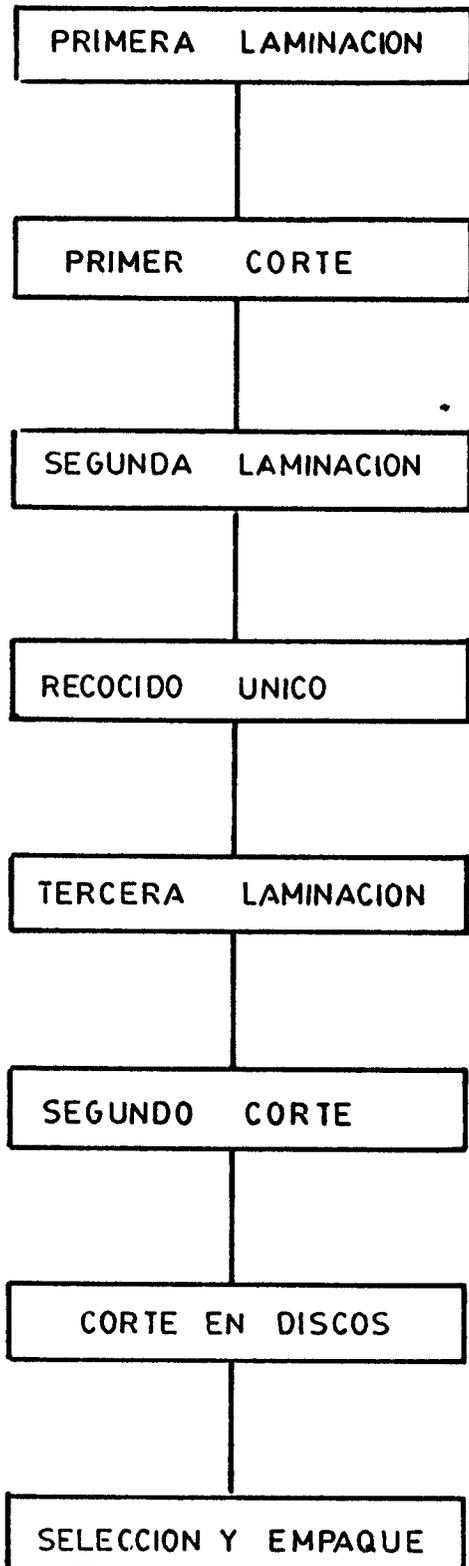


FIGURA Nº 5: DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA FABRICACION DE DISCOS CON TEMPLE "H12"

cabeza del punzón. Simultáneamente, las partes del disco que rodean el área central, se mueven radialmente y fluyen sobre la matriz, conforme el punzón se va desplazando.

En esta operación se usa un prensachapas para prevenir la formación de arrugas, en el momento en el que el metal fluye desde el anillo de la matriz para conformar las paredes del recipiente.

Para la embutición de ollas se emplean prensas mecánicas de doble efecto e hidráulicas.

La selección entre una y otra depende básicamente del tamaño de la olla, la rapidez de producción y el grado de dificultad de la pieza que se va a embutir.

En nuestro país, la embutición en prensas mecánicas es exclusiva del grupo UMCO, mientras que prensas hidráulicas poseen pocas empresas, pues la mayoría de fabricantes de ollas prefieren el método de repujado, del cual se hablará mas adelante.

Para lograr una pieza embutida sin fallas, es decir: sin arrugas laterales, sin arrugas en la ceja y sin que aparezca el defecto conocido como orejas de embutición (que a veces ocasiona el rechazo de la pieza por la imposibilidad de realizar el bordeado que le da rigidez al recipiente) es

necesario que todos los factores que afectan la embutición sean adecuadamente controlados.

Entre estos factores, los de mayor importancia son:

ESPESOR.- Las variaciones en espesor dentro de un mismo disco, especialmente en discos grandes y dentro de un mismo lote de discos, deben ser mínimas. Para efectuar este control, debido a la inexistencia de normas en el país, se puede aplicar las Normas Icontec 1799, cuya parte medular está representada en la tabla No.3.

Espesor nominal e (mm)	Diámetro nominal d (mm)	
	$d \leq 450$	$450 < d \leq 900$
$0.45 < e \leq 0.70$	+/- 0.040	+/- 0.050
$0.70 < e \leq 0.90$	+/- 0.050	+/- 0.050
$0.90 < e \leq 1.15$	+/- 0.050	+/- 0.060
$1.15 < e \leq 1.75$	+/- 0.060	+/- 0.080
$1.75 < e \leq 1.95$	+/- 0.060	+/- 0.080
$1.95 < e \leq 2.45$	+/- 0.080	+/- 0.080
$2.45 < e \leq 2.75$	+/- 0.090	+/- 0.100
$2.75 < e \leq 3.55$	+/- 0.110	+/- 0.110

TABLA No. 3. TOLERANCIAS EN ESPESOR PARA DISCOS LAMINADOS EN FRIO

MATERIAL.- El disco de aluminio deberá tener una dureza de 20 HB para AA-1050-O. 23 HB para AA-1100-O y 28 HB para AA-3003-O. Un tamaño de grano máximo de 200 μm , no presentar defectos superficiales y ser isotrópico.

DIAMETRO DEL DISCO.- Cuando se embuten discos de aluminio, se puede asumir que no existe estiramiento, por ello, el diámetro del disco debe ser, aproximadamente 0.90 a 0.95 veces el Diámetro nominal.

RADIO DE LA MATRIZ.- Usualmente se recomienda que el radio de la matriz, denominado también radio de Embutición, sea entre 4 y 8 veces el espesor. Radios de matriz demasiado grandes pueden ocasionar la formación de arrugas.

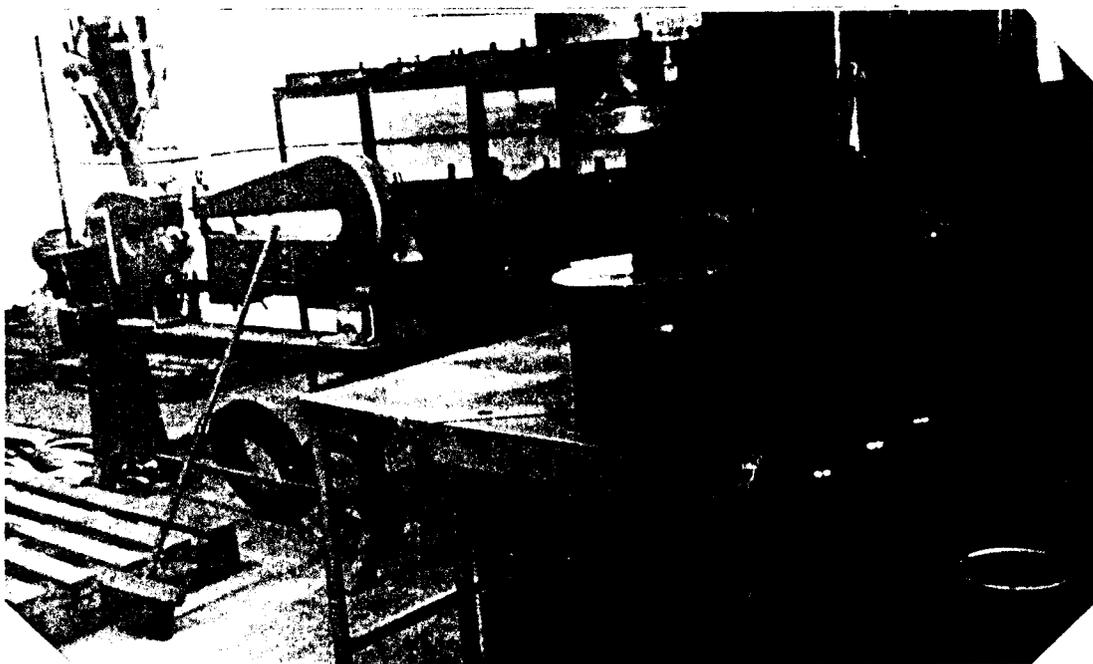
RADIO DEL PUNZON.- Debe ser aproximadamente 10 veces el espesor, pues cabezas de punzón con radios muy agudos incrementan la probabilidad de fractura o pueden ocasionar la formación de líneas circulares que solo desaparecen con un extralijado.

JUEGO MATRIZ-PUNZON.- se considera apropiado que el juego por lado sea entre el 10 % y 18 % el espesor del metal, es decir que:

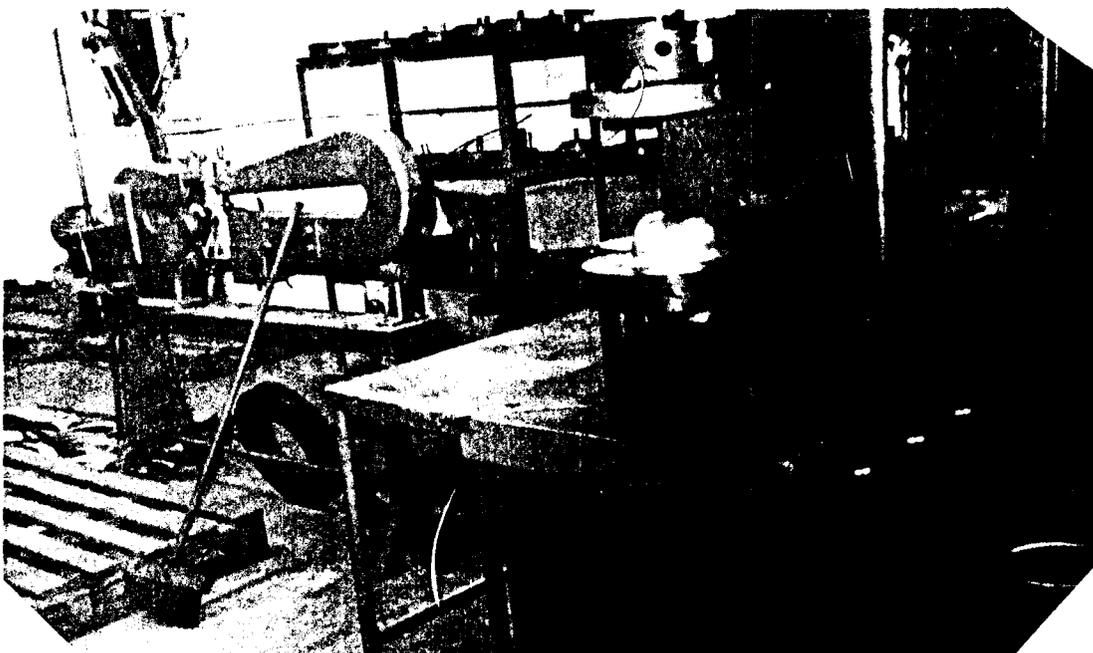
$\text{Diámetro de matriz} = \text{Diámetro de Punzón} + (1.2-1.36)\text{espesor.}$

Otros factores que ejercen influencia son: el acabado superficial de las herramientas, el tipo de lubricante, la velocidad de embutición, la compensación entre la presión de embutición y la presión del prensachapas, la planeidad de las herramientas, el sentido de laminación, etc.

La figura No. 6 muestra el primer paso en la embutición en prensas hidráulicas, el cual consiste en ubicar el disco, adecuadamente centrado, sobre el anillo prensachapas. Luego el émbolo superior, que contiene a la matriz, se desplaza hacia abajo hasta aprisionar al disco contra el prensachapas, a la presión seleccionada. Posteriormente el émbolo inferior, que contiene al punzón, se desplaza hacia arriba produciendo la conformación del recipiente. Luego de manera consecutiva los émbolos inferior y superior realizan sus carreras de retroceso, y finalmente, como se muestra en la Figura No. 7. la pieza embutida es depositada sobre el anillo prensachapas.



**FIGURA Nº 6: CENTRADO DEL DISCO SOBRE ANILLO
PRENSACHAPAS EN E. HIDRAULICA**



**FIGURA Nº 7: RECIPIENTE CONFORMADO MEDIANTE
E. HIDRAULICA.**

REPUJADO.- Es un método de conformación de la chapa metálica para obtener formas cilíndricas, cónicas o semiesféricas por una combinación de rotación y fuerza.

El repujado puede dividirse convenientemente en 2 categorías: repujado manual y repujado automático. En adelante se hablará del primero de ellos que es de uso general en los talleres existentes en el país.

El repujado manual consiste en presionar una herramienta contra el disco que se encuentra aprisionado y rotando entre el bloque seguidor y el mandril. El disco es forzado, por el operador, contra el mandril de forma predeterminada y sujeto al choque del torno.

El proceso es aplicable, en el caso del aluminio, a discos de hasta 3.5 mm de espesor y entre sus ventajas se cuentan: el bajo costo de la instalación, el poco tiempo en cambio de formatos, la facilidad con la que se pueden variar los diseños de productos y la adaptabilidad a cambios en el material en cuanto a espesor y dureza.

Entre sus desventajas más relevantes tenemos: los operadores deben ser sumamente expertos y el proceso es demasiado lento en comparación con la embutición.

En el repujado, a diferencia de lo que suele asegurarse, puede haber severas reducciones de espesor en las paredes laterales del recipiente. Esto es particularmente cierto en productos hechos con discos con espesores entre 0.7 mm y 1.5 mm. Muchas veces esta reducción sobrepasa los valores límite (Máximo 25 %) recomendados en los textos especializados.

Al fabricar ollas de aluminio por repujado, deben tenerse en cuenta principalmente 2 factores: El primero de ellos es la calidad del disco, pues una estructura fina y equidistante con una fina dispersión de las fases intermetálicas y con granos de 200 μm o menos, aseguran el buen conformado de la pieza. El segundo de ellos, es la habilidad del repujador ya que de su destreza depende que durante el conformado, no se produzcan zonas con estiramiento excesivo. Cuando uno de los 2 factores es inadecuado aparece un defecto conocido como "piel de naranja", que es una rugosidad superficial marcada en las zonas de deformación apreciable. Este defecto es consecuencia de que los granos tienden a deformarse individualmente con independencia unos de otros y el resultado es que en la superficie de la pieza unos sobresalen y otros quedan hundidos apareciendo en relieve la estructura granular. Si la

calidad del disco es inapropiada, entonces la piel de naranja es generalizada, mientras que si el operario no es experto, el defecto es localizado.

Para finalizar esta parte del trabajo se debe mencionar que del torno de repujado el producto sale casi listo faltando únicamente colocarle las agarraderas y darle el acabado, mientras que luego de la embutición el producto debe ir a un torno de acabados para retirar el excedente en el anillo superior y realizar el bordeado que le da rigidez a la olla.

Todo el proceso de repujado se encuentra ilustrado en las fotografías mostradas:

Fig No. 8 : Centrado del disco.

Fig No. 9 : Conformado del recipiente.

Fig No.10 : Alisado o "planchado" del artículo.

Fig No.11 : recorte de excedentes y bordeado.

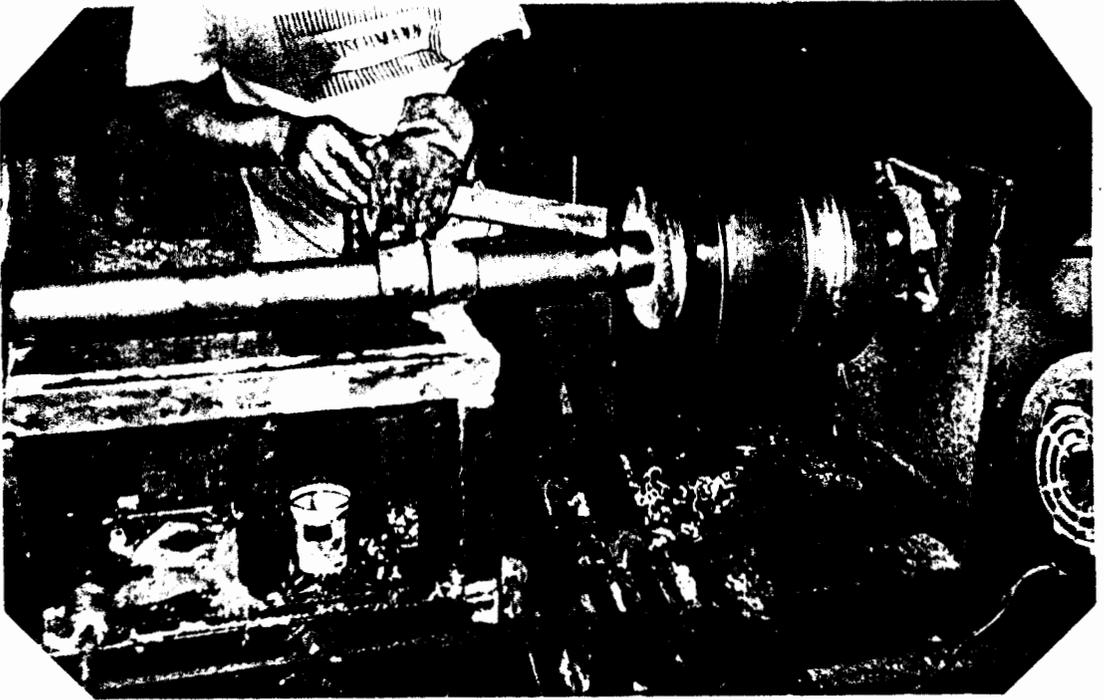


FIGURA N° 8: CENTRAMIENTO DEL DISCO EN EL
TORNO DE: REPUJADO

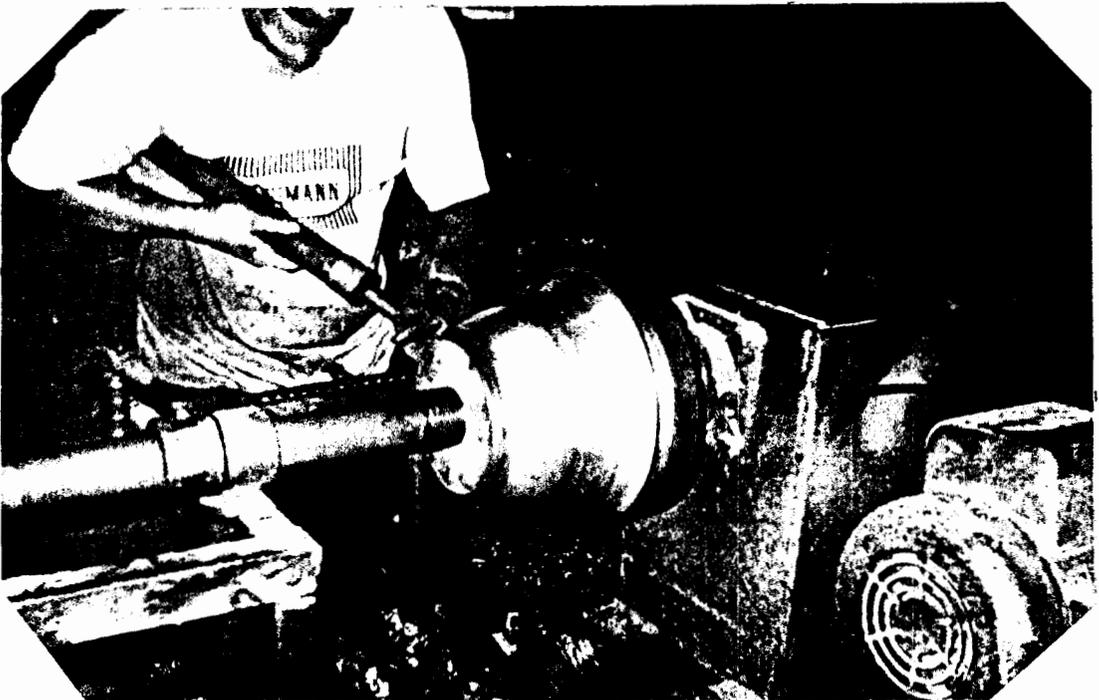


FIGURA N° 9 : CONFORMADO DE LA OLLA

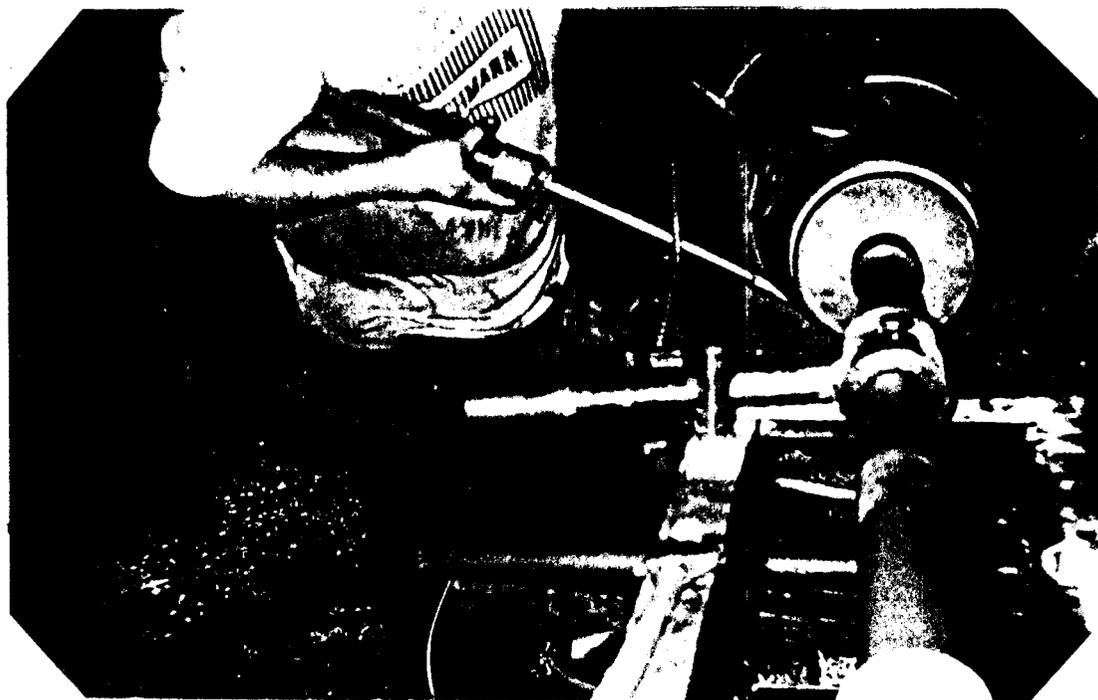


FIGURA N^o 10: ALISADO O "PLANCHADO" DE LA OLLA

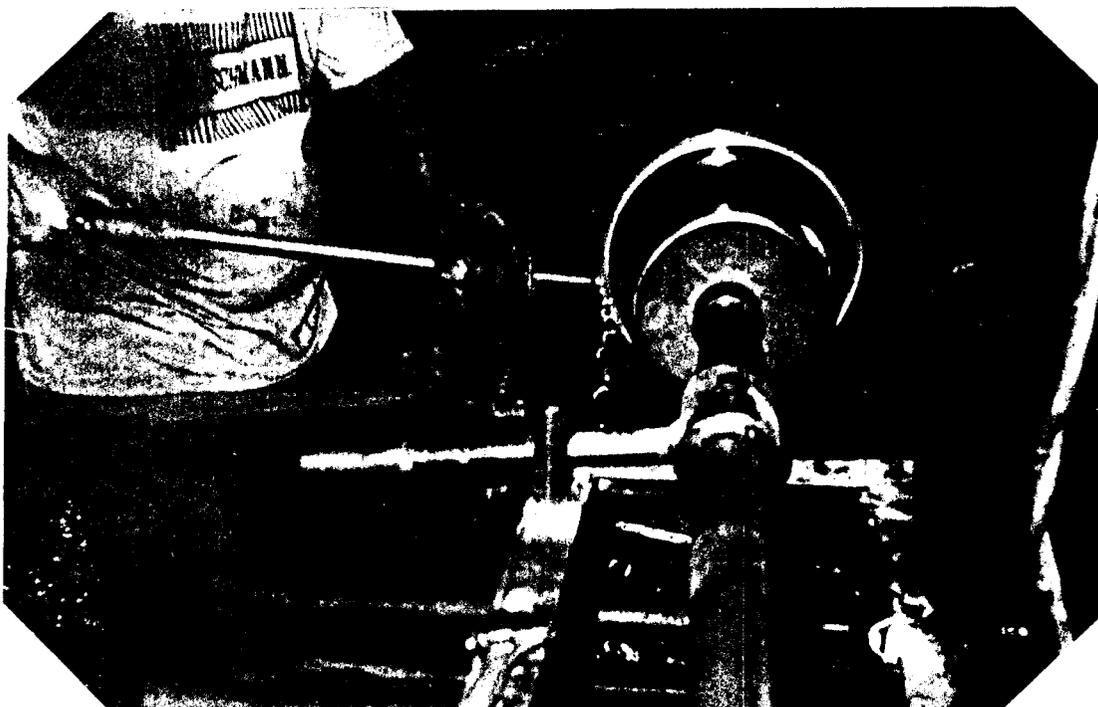


FIGURA N^o 11: OPERACIONES FINALES DE REPUJADO:
RECORTE Y BORDEADO

CAPITULO II

DEFINICION DEL PROBLEMA

2.1. ANALISIS DE LA SITUACION ACTUAL.

Como se dijo en la sección introductoria del capítulo I, en el país se venden aproximadamente 110 Ton/mes de artículos de menaje, los mismos que para su fabricación utilizan discos de aluminio obtenidos mediante la fusión de : Lingotes Virgenes, residuos de fabricación y Lingotes "locales".

De las materias primas mencionadas: los lingotes virgenes, por ser el Ecuador un país no productor de aluminio de primera fusión, deben conseguirse a través de importaciones. Para ello, puede contactarse con

infinidad de empresas productoras de lingotes. De entre ellas, las más conocidas son : Aluar-Argentina, CBA -Brasil, Alcasa y Alumproca-Venezuela, Reynolds- USA, Pechiney-Francia, Alusaf-Sudafrica, etc.

Los lingotes “locales” se preparan en la propia empresa y provienen de chatarras que se consiguen en el mercado local.

Siempre que se trata de reciclar aluminio es importante, en la medida de lo posible, tratar de conseguir chatarras libres de impurezas metálicas y no metálicas y sobre todo que sean “compatibles” con la aleación que se desea producir. Para el caso de aleaciones fraguadas para utensilios domésticos, usualmente fabricados con AA-1050 y AA-1100, las chatarras más adecuadas son las que provienen de : Alambrones (AA-1060); papel de aluminio (AA-1100 y AA-8011) ; envases de aerosol (AA-1070) y chatarras de ollas.

En todas estas aleaciones los principales aleantes son Hierro y Silicio.

Como es muy difícil, en un lote de chatarras, determinar que parte del mismo corresponde a cada aleación; la práctica común es fundir, en un horno de recuperación, las chatarras en conjunto, producir lingotes y obtener muestras para análisis de composición química.

Luego estos lingotes se cargarán junto con el aluminio virgen y los despuntes propios del proceso interno de fabricación de discos, en las cantidades adecuadas, de modo que la aleación resultante esté siempre dentro de las normas internacionales para la aleación considerada.

Componentes	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
Ling. Virgen	0.038	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.011	0.000	99.88
Rec. Planta	0.127	0.322	0.008	0.006	0.000	0.001	0.002	0.015	0.012	99.51
Ling. Chatarra	0.296	0.562	0.115	0.036	0.005	0.003	0.002	0.049	0.010	98.92
Al - Fe	0.060	24.60	0.000	0.150	0.000	0.000	0.010	0.020	0.000	---
Al - Si	50.00	0.140	0.000	0.100	0.000	0.000	0.000	0.200	0.040	---
Aleacion Esperada	0.122	0.302	0.018	0.007	0.001	0.001	0.002	0.018	0.016	99.51

CANTIDADES DE CADA COMPONENTE EN PESO Y PORCENTAJE

Lingote Virgen	1500	49.83 %
Reciclado de planta	1100	36.54 %
Ling. provenientes de chatarras	400	13.29 %
Liga Aluminio - Hierro	9	0.30 %
Liga Aluminio - Silicio	1	0.03 %

TABLA No 4. CARGA TIPICA AL HORNO DE FUSION

La Tabla No. 4 muestra en detalle, la composición química esperada de una aleación AA-1050 fabricada en base de los materiales descritos en líneas anteriores utilizando ligas madre para ajustar los porcentajes de Hierro y Silicio.

2.1. CRITERIOS TECNICO ECONOMICOS PARA LA SUSTITUCION PARCIAL DE ALUMINIO VIRGEN

En el caso que es objeto de la presente tesis, la realidad es diferente pues se trata de reciclar chatarras de aluminio provenientes de un lote que está conformado por 2 tipos de materiales de aleaciones conocidas (AA-3105 y AA-3003), pero cuyos contenidos de Mg y Mn son tan altos que si se tratase de alearlos con lingotes virgen para conseguir una AA-1050, las cantidades que se podrian utilizar serian extremadamente bajas, segun como se muestra en la tabla No.5.

Componentes	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
Ling. Virgen	0.038	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.011	0.002	99.88
Rec. planta	0.127	0.322	0.008	0.006	0.000	0.001	0.002	0.015	0.012	99.51
Chatarra 3xxx.	0.461	0.608	0.165	0.481	0.488	0.001	0.001	0.008	0.002	97.79
Al - Fe	0.060	24.60	0.000	0.150	0.000	0.000	0.010	0.020	0.000	---
Al - Si	50.00	0.140	0.000	0.100	0.000	0.000	0.000	0.200	0.040	---
Aleac. Esperada	0.110	0.281	0.014	0.035	0.033	0.000	0.001	0.012	0.015	99.50

CANTIDADES DE CADA COMPONENTE EN PESO Y PORCENTAJE

Lingote Virgen	1600	53.16 %
Reciclado de planta	1200	39.87 %
Ling. provenientes de chatarras	200	6.65 %
Liga Aluminio - Hierro	9	0.30 %
Liga Aluminio - Silicio	1	0.02 %

TABLA No 5. CARGA AL HORNO DE FUSION UTILIZANDO CHATARRAS DE AA-3XXX

En esas condiciones la única alternativa, si se quiere reciclar cantidades importantes de estos materiales, es obtener una nueva aleación y luego de ello, realizar los ensayos respectivos para que esta aleación se pueda adecuar para fabricar discos de aluminio que posteriormente se usen en operaciones de repujado para fabricar ollas .

Al analizar que tan factible es el proyecto, vale la pena mencionar que una empresa ubicada en la Ciudad de Cali-Colombia, fabrica utensilios domésticos utilizando en la producción de placas, lingotes virgen y chatarras de aleaciones del grupo 3xxx. En la visita que realicé a dicha empresa pude observar el producto final fabricado por ellos ; Aunque, claro está, no recibí ninguna información sobre el proceso de fabricación.

En estas condiciones la posibilidad de reproducir lo hecho en Colombia dependía básicamente de encontrar las cantidades máximas de reciclaje de dichas chatarras y los parámetros de fabricación adecuados.

Un aspecto importante es el que tiene que ver con las instalaciones necesarias para operaciones de reciclaje; Pues como en el país no existen exigencias ecológicas en cuanto a la obligatoriedad de reciclar desechos metálicos de productos descartables, el proceso de preparación de

chatarras se los realiza mediante adaptaciones a las condiciones existentes. Esto no ocurre en los países industrializados en los cuales las exigencias para el reciclaje son de tal naturaleza que las empresas han debido realizar ingentes inversiones a fin de desarrollar verdaderas industrias que tienen como finalidad adecuar las chatarras para reutilización en procesos de transformación.

En el caso del aluminio este proceso se inicia con una selección y clasificación de chatarras, luego se procede a etapas de trituración y tamización para eliminar las fracciones no metálicas y el polvo, continúa luego una etapa de secado o incineración para eliminación de humedad, aceites, lacas, pinturas. etc.

Luego hay que eliminar las sustancias o elementos que puedan contaminar el material; así, se elimina el Hierro por separación magnética y los elementos pesados se separan por flotación en medios densos.

Posteriormente, esta materia prima limpia disgregada y controlada por lotes pasa a etapas finales de compactación y fusión.

Esta última aclaración permite afirmar que los procedimientos de reciclaje, si se cuenta con la infraestructura básica, pueden ser muy

beneficiosos y relativamente sencillos en lo que tiene que ver con la etapa de preparación de chatarras.

En lo que se relaciona con el análisis económico realizado antes de entrar a la etapa investigativa. Puede decirse que el aluminio virgen puede conseguirse a un costo, incluyendo los costos de nacionalización, de aproximadamente s/.6.300 cada Kilogramo.

Por otro lado, la chatarra de aluminio considerada "compatible" con la aleación de uso normal puede conseguirse, en promedio, a aproximadamente s/.2.000 cada Kilogramo. Esta chatarra tiene un rendimiento de 0.85 %; lo cual equivale a pagar s/.2.350 por Kg; si a este valor le sumamos s/.590 por Kg. que es el costo de operaciones de limpieza y refusión, se tiene entonces que un Kg de lingote obtenido a partir de chatarra tiene un precio de s/.2.940.

Es decir que las chatarras que normalmente se venían utilizando, permiten un ahorro de s/.3360 por cada Kg de lingote virgen que se sustituye.

La chatarra a la cual se hace referencia en el presente trabajo se obtiene a s/.1.200. Si se consideran rendimiento y gastos en limpieza y refusión iguales que en el caso anterior, entonces el kg de lingote obtenido a

partir de esta chatarra tendría un costo s/.2.000. Lo cual significa que la utilización de estas chatarras permite un ahorro de s/. 4.300.

Como la existencia de este tipo de chatarras era de, aproximadamente 10 toneladas. El análisis teórico justificativo del proyecto nos determina un ahorro global de s/.43'000.000.

CAPITULO III

TRABAJO EXPERIMENTAL Y DISCUSION

3.1. OBTENCION DE LA ALEACION CONSIDERADA

Se contaba con un lote importante de chatarras provenientes de AA-3105 y AA-3003. despues de realizado un muestreo y obtenidos los resultados espectromètricos , se pudo asumir sin riesgo de cometer errores importantes, que para efectos de cálculo, la composición química promedio de las chatarras que conformaban el lote , es la que se muestra en la tabla No.6.

PRODUCTO	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti
Chatarra AA-3xxx	0.461	0.608	0.165	0.481	0.488	0.001	0.001	0.008	0.002

TABLA 6. CONTENIDOS PROMEDIO DE ALEANTES EN CHATARRAS AA-3XXX

Estas chatarras, respecto de las aleaciones con las cuales habíamos trabajado normalmente, presentan porcentajes en peso en varios elementos químicos que es menester analizar por separado.

Los contenidos de: Hierro, Cobre, Cromo, Niquel, Zinc y Titanio no representan ningún problema pues sus valores están dentro de los rangos esperados para aleaciones AA-1100.

El contenido de Silicio (0.461) es alto, pero manejable, pues al ligar aluminio virgen de alta pureza con estas chatarras en proporción 1.20:1, nos da un valor de 0.228 muy similar al valor típico en AA-1100.

El contenido de Magnesio (0.488) es alto en relación a aleaciones AA-1100. Para solucionar este problema se cuentan con métodos que permiten eliminar excedentes de Magnesio, de los cuales se hablará más adelante.

Finalmente, el contenido de Manganeso (0.481) es el que preocupa pues su valor es aproximadamente 10 veces el máximo permitido para AA-1100. Por ello, en la siguiente sección se tratará este tema.

3.2. CALCULOS PARA LA COMPOSICIÓN QUÍMICA ESPERADA.

En base al análisis anterior, vemos que una solución viable para utilizar cantidades importantes de estas chatarras es ligarlas con aluminio de gran pureza. Para efectos de cálculo, vamos a suponer que el porcentaje en peso de AA-1085 será del 65 % y el 35 % restante de AA-3xxx. De esta forma se aseguran contenidos usuales para todos los elementos, con excepción de Magnesio y Manganeso.

La tabla No. 7 muestra los contenidos esperados para cada elemento.

Componentes	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
Ling. Virgen	0.038	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.011	0.002	99.88
Chatarra 3xxx.	0.461	0.608	0.165	0.481	0.488	0.001	0.001	0.008	0.002	97.79
Aleac Esperada	0.186	0.259	0.058	0.168	0.171	0.000	0.001	0.010	0.017	99.13

TABLA 7. COMPOSICION QUÍMICA ESPERADA PARA ALEACION EN ESTUDIO

3.3. ELIMINACION DE MAGNESIO

El Magnesio con valores superiores a 0.05 % es nefasto en este tipo de aleaciones pues produce el fenómeno conocido como "fragilidad en

caliente” debido al cual, el enfriamiento brusco durante el conformado de la placa produce rajaduras que dificultan el vaciado.

Afortunadamente existen métodos para eliminar el “excedente” de Mg en la aleación.

El primero de ellos es un procedimiento natural y se basa en el hecho de que el Mg es fácilmente oxidable debido a su reactividad natural y a su punto de fusión más bajo que el del Aluminio.

Por ello es necesario alargar el tiempo de comienzo de la fusión ya que entre esta práctica y la eliminación de magnesio existe una relación directa.

También es necesario la agitación del metal cuando está líquido, pues para eliminar magnesio es aconsejable crear siempre nuevas superficies activas.

La otra manera de eliminar magnesio es utilizar un fundente de efectos especiales conocido como de “Demagging”, el cual se utiliza exclusivamente con este fin.

Este fundente está compuesto de: ClK 45 %, ClNa 45 % y NaF6Si 10 %.

Es decir que es lógico suponer que la combinación de estos dos factores permita eliminaciones importantes de este elemento. Por lo tanto, la práctica de la fundición debe ir encaminada a lograr que los tiempos de exposición de las chatarras sean máximo. Por ello, se decidió establecer la marcha de fundición siguiente:

- Colocación del 20 % de la carga con lingote virgen, para formar el pié de baño.
- Adición de toda la chatarra de 3xxx.
- Desescoriado.
- Adición del 1.0 % en peso del fundente de “demagging”.
- Completar la carga de lingote virgen,
- Desgasificado
- Desescoriado final.
- Adición del refinador de grano.
- vaciado.

3.4. ANALISIS DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS.

Se realizó la fundición y colado en hornos de reverbero y máquinas de colado vertical semicontinuo, respectivamente, ateniéndonos durante la preparación de la aleación a la práctica descrita en líneas anteriores, el vaciado se efectuó sin ningún contratiempo.

El análisis espectrométrico nos reveló contenidos de 0.035 % para Mg y 0.148 % para Mn.

El bajo porcentaje de Mg, con un valor inferior al máximo permitido para aleaciones 1xxx, permite concluir que el fundente de demagging actúa efectivamente y que la práctica de fundición seguida, es la adecuada para este tipo de aleaciones.

Como primera medida se decidió fabricar un pequeño lote de discos con temple "O", pero de acuerdo a los parámetros de laminación y recocido vigentes para AA-1050. Esto es 80 % de reducción entre recocidos y recocidos de proceso y final, durante 6 Hrs a 420 ° c.

Bajo estas condiciones se obtuvieron discos cuyo análisis macrométrico (ataque con solución Poultons) permitió detectar un tamaño de grano promedio de 500-600 μm , inadecuado para satisfacer las necesidades de los clientes.

En esas circunstancias, quedaban 2 caminos por seguir:

- Suponer que el porcentaje de manganeso en la aleación es inmanejable y para probar aquello, debíamos experimentar con varias fundiciones hasta obtener un valor que sea el máximo permisible, el cual debería estar en el intervalo (0.05- 0.15). Esta experimentación altamente costosa, nos hubiese llevado a resultados “inútiles”, pues nos habría desviado del objetivo final del proyecto que era “reciclar cantidades importantes de AA-3xxx”. Por ello se desechó esta idea.

- Asumir que para esta aleación los parámetros de % de reducción y recocido son otros: el uno, el otro o ambos y diseñar un experimento para probar aquello. Este experimento sería de corta duración con resultados casi inmediatos, por ello se prefirió esta alternativa.

3.5. METODOLOGIA DEL EXPERIMENTO REALIZADO.

INTRODUCCION Y DEFINICIONES

El análisis y diseño de experimentos se usan tanto en la etapa de planeación como en la de mejoramiento y permiten determinar que factores afectan sustancialmente a las características de interés así como

establecer los niveles a los que deben estar dichos factores, para que el proceso sea óptimo.

A fin de investigar de la manera más adecuada y adaptarse a las realidades existentes, pueden utilizarse : experimentos de un solo factor, experimentos en bloques aleatorios y cuadrados latinos y finalmente, experimentos factoriales.

En el caso que nos ocupa se deseaba investigar el efecto producido en la respuesta (Medición del tamaño de grano) al variar los niveles de 2 factores (temperatura de recocido y % de reducción).

Por ello, el experimento que mejor se adapta es el de tipo factorial con 2 factores fijos. De la teoría involucrada en el diseño de experimentos factoriales de 2 factores, nos interesa primordialmente, la parte que tiene que ver con el procesamiento de datos y la aceptación o rechazo de las hipótesis formuladas. Por ello, es aconsejable que el arreglo de datos se lo haga tal como se muestra en la tabla siguiente.

	FACTOR B			
FACTOR A	1	2	b
1	Y111, Y112, ..., Y11n	Y121, Y122, ..., Y12n	Y1b1, Y1b2, ..., Y1bn
2	Y212, Y212, ..., Y21n	Y221, Y222, ..., Y22n	Y2b1, Y2b1, ..., Y2bn
....
a	Ya11, Ya12, ..., Ya1n	Ya21, Ya22, ..., Ya2n	Yab1, Yab2, ..., Yabn

Definimos entonces las siguientes ecuaciones:

$$\text{Total por fila} \quad Y_{i..} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk} \quad (1)$$

$$\text{Media por fila} \quad \bar{Y}_{i..} = (Y_{i..}/bn) \quad (2)$$

$$\text{Total por columna} \quad Y_{.j.} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n y_{ijk} \quad (3)$$

$$\text{Media por columna} \quad \bar{Y}_{.j.} = (Y_{.j.}/an) \quad (4)$$

$$\text{Total por casilla} \quad Y_{ij.} = \sum_{k=1}^n y_{ijk} \quad (5)$$

$$\text{Gran Total} \quad Y_{...} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk} \quad (6)$$

Media de las observaciones $\bar{Y}_{...} = (Y_{...}/abn)$. (7)

Calculamos ahora, las sumas de los cuadrados.

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \{ (y_{...})^2 / (abn) \} \quad (8)$$

$$SSA = (1/bn) \sum_{i=1}^a y_{i..}^2 - \{ (y_{...})^2 / (abn) \} \quad (9)$$

$$SSB = (1/an) \sum_{j=1}^b y_{.j.}^2 - \{ (y_{...})^2 / (abn) \} \quad (10)$$

$$SSAB = (1/n) \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij.}^2 - \{ (y_{...})^2 / (abn) \} - SSA - SSB \quad (11)$$

$$SSE = SST - SSA - SSB - SSAB \quad (12)$$

Posteriormente se construye la tabla de analisis de varianza.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F
Factor A	SSA	a - 1	$MSA = \frac{SSA}{(a-1)}$	$\frac{MSA}{MSE}$
Factor B	SSB	b - 1	$MSB = \frac{SSB}{(b-1)}$	$\frac{MSB}{MSE}$
Interacción AB	SSAB	(a - 1) (b - 1)	$MSAB = \frac{SSAB}{(a-1)(b-1)}$	$\frac{MSAB}{MSE}$
Error	SSE	a b (n - 1)	$MSE = \frac{SSE}{ab(n-1)}$	
Total	SST	a b n - 1		

Finalmente, las hipótesis son:

Si $F_A > F_{\alpha, a-1, ab(n-1)}$ se rechaza $H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$

Si $F_B > F_{\alpha, b-1, ab(n-1)}$ se rechaza $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$

Si $F_{AB} > F_{\alpha, (a-1)(b-1), ab(n-1)}$ se rechaza $H_0: (\tau\beta)_{ij} = 0$ para toda ij

CONDICIONES DEL EXPERIMENTO

Entonces, como se dijo en líneas anteriores, se correrá un experimento del “Tipo Factorial”, con dos factores fijos.

FACTOR A : Porcentaje de Reducción entre recocidos.

NIVELES PARA EL FACTOR A

A1: Reducción del 40 %

A2: Reducción del 60 %

A3: Reducción del 70 %

A4: Reducción del 80 %.

FACTOR B : Temperatura de recocido.

NIVELES PARA EL FACTOR B

B1: 480 °c

B2: 500 °c

B3: 520 °c.

CARACTERISTICA A MEDIR: Tamaño de grano en discos con temple O.

REPLICAS POR CADA EXPERIMENTO: $n = 6$.

Antes de continuar adelante, es indispensable anotar que una vez que se definen las condiciones del experimento, las otras variables que pudieran

intervenir en el proceso deben ser parametrizadas. Es decir que deben tener igual o ninguna incidencia sobre todas las réplicas en todos los tratamientos.

Para lograr esto, se hicieron las siguientes consideraciones:

1. Todas las réplicas durante el experimento fueron obtenidas de una misma placa. Esto asegura que, se elimine la posibilidad de variaciones por composición química ligeramente distinta entre varias placas de una misma colada.

2. La temperatura en toda la cámara del horno de recocido debía ser la misma. Para que exista la seguridad de que se cumpla aquello y eliminar la posibilidad de que hayan "Zonas frías" al interior del horno, se hizo un ensayo tomando lecturas de temperatura cada diez minutos en 5 puntos diferentes del horno: (1) en la pared frente a la puerta. (2) y (3) en la pared frente a los ventiladores. (4) en el techo del horno y (5) en la pared del lado de los ventiladores.

Los resultados están graficados en la figura No.12. Como puede verse en la misma, no existen diferencias notables entre un punto y otro.

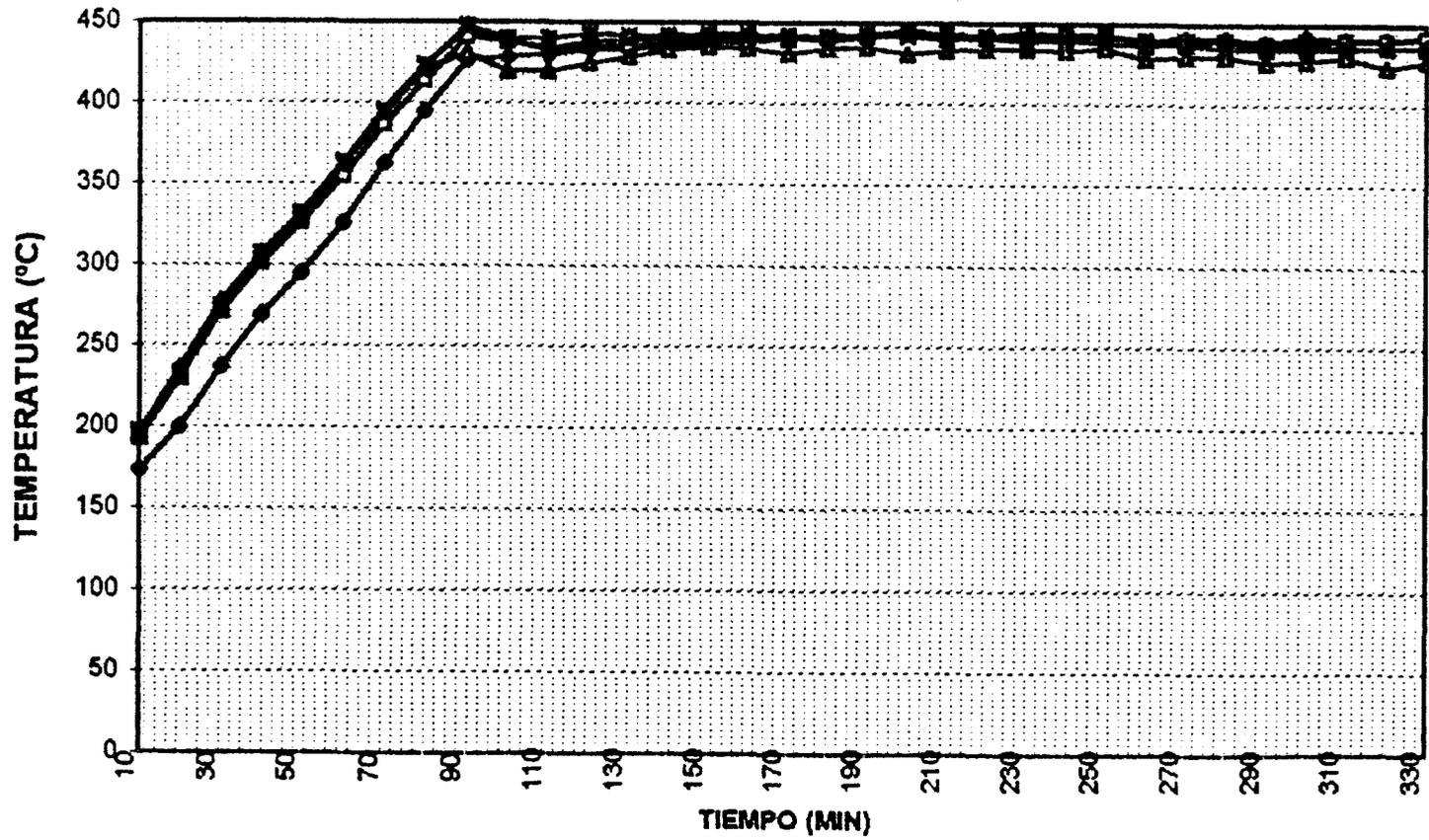


FIGURA N° 12 GRAFICO TEMPERATURA vs TIEMPO EN HORNO DE RECOCIDO

RECOLECCION Y PROCESAMIENTO DE DATOS.

	FACTOR B			
FACTOR A	B1	B2	B3	Yi..
A1	600,600,625	350,425,450	375,500,525	9850
	650,650,850	500,500,525	550,575,600	
	3975	2750	3125	
A2	725,725,725	350,375,400	375,425,425	9600
	750,800,850	400,450,475	425,450,475	
	4575	2450	2575	
A3	500,500,500	250,300,300	275,275,300	7100
	550,550,650	325,375,400	300,325,425	
	3250	1950	1900	
A4	375,400,400	225,250,275	250,250,275	5725
	450,450,475	275,275,275	275,275,275	
	2550	1575	1600	
Y..J.	14350	8725	9200	Y... = 32275

Aplicando las fórmulas de (1) a (7) y reemplazando en las fórmulas (8)

a (12), se obtienen:

$$SST = 1'752.908$$

$$SSA = 663.845$$

$$SSB = 810.955$$

$$SSAB = 92.587$$

$$SSE = 185.521$$

Luego de obtenidos estos valores, procedemos a construir la tabla de Análisis de varianza.

3.6. CONSTRUCCION DE TABLA ANOVA E HIPOTESIS.

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	ESTADISTICO DE PRUEBA
FACTOR A	663.845	3	221.282	71.56
FACTOR B	810.955	2	405.478	131.14
INTERACCION	92.587	6	15.431	4.99
ERROR	185.521	60	3.092	
TOTAL	1752.908	71		

HIPOTESIS

PARA EL FACTOR A.

Hipòtesis nula : $H_0 : \sum \tau_i = 0$

Hipòtesis alternativa : H_1 : Existe al menos un $\tau_i \neq 0$

Por lo tanto: Se rechaza la Hipòtesis nula si :

$$F(A) > F_{0.05, (a-1), ab(n-1)}$$

$$F(A) > F_{0.05, 3, 60}$$

$$71.56 \gg 2.76$$

PARA EL FACTOR B.

Hipòtesis nula : $H_0 : \sum \beta_j = 0$

Hipòtesis alternativa : H_1 : Existe al menos un $\beta_i \neq 0$

Por lo tanto: Se rechaza la Hipòtesis nula si :

$$F(B) > F_{0.05, (b-1), ab(n-1)}$$

$$F(B) > F_{0.05, 2, 60}$$

$$131.14 \gg 3.15$$

PARA LA INTERACCION AB

Hipòtesis nula : $H_0 : \sum(\tau\beta)_{ij} = 0 \quad \sum(\tau\beta)_{ij} = 0$

Hipòtesis alternativa : H_1 : Existe al menos un $(\tau\beta)_{ij} \neq 0$

Por lo tanto: Se rechaza la Hipòtesis nula si :

$$F(AB) > F_{0.05, (a-1)(b-1), ab(n-1)}$$

$$F(AB) > F_{0.05, 6, 60}$$

4.99 > 2.25.

Los valores del estadístico F con un nivel de confianza de 0.05, se obtienen de la Tabla No. 8.

CONCLUSIONES DEL EXPERIMENTO.

En todos los casos se rechaza la Hipòtesis nula, po lo tanto:

1. Son significativos: El porcentaje de reduccion, la temperatura de recocido y la interacciòn entre ambos factores.
2. La temperatura de recocido es más significativa que el porcentaje de reducciòn y la interacciòn.
3. El porcentaje de reducciòn es más significativo que la interacciòn.
4. Los mejores resultados se obtienen con los tratamientos A4B2 y A4B3, esto significa que para esta aleaciòn, el mejor proceso es: 80 % de reducciòn entre recocidos y recocido final a 500°C-520°C, durante 6 Horas.

Las fotomacrografias de las figuras 13 a 18 muestran, a manera de comparaciòn, el tamaño de grano obtenido en varias probetas. Para el macroataque se utilizò soluciòn "Poultons". A continuacion el detalle:

Fig No.13. probeta de AA-1050, temple O, espesor 0.5 mm. tamaño de grano: 100-150 μ

Grados de libertad para el Denominador

Valores de F
Grados de libertad para el numerador

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	249	250	251	252	253
2	18,50	19,00	19,20	19,20	19,30	19,30	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,50	19,50	19,50	19,50	19,50
3	10,10	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,70	8,66	8,64	8,62	8,59	8,57	8,55
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86	5,80	5,77	5,75	5,72	5,69	5,66
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62	4,56	4,53	4,50	4,46	4,43	4,40
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94	3,87	3,84	3,81	3,77	3,74	3,70
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,51	3,44	3,41	3,38	3,34	3,30	3,27
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22	3,15	3,12	3,08	3,04	3,01	2,97
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01	2,94	2,90	2,86	2,83	2,79	2,75
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,85	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72	2,65	2,61	2,57	2,53	2,49	2,45
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62	2,54	2,51	2,47	2,38	2,38	2,30
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,25
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,18
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,40	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,35	2,28	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,31	2,23	2,19	2,15	2,10	2,06	2,01
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,27	2,19	2,15	2,11	2,06	2,02	1,97
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,23	2,16	2,11	2,07	2,03	1,98	1,93
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,20	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,18	2,10	2,05	2,01	1,96	1,92	1,87
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,15	2,07	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,20	2,13	2,05	2,01	1,96	1,91	1,86	1,81
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,18	2,11	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,16	2,09	2,01	1,96	1,92	1,87	1,82	1,77
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,01	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58
60	4,00	3,16	2,76	2,53	2,37	2,26	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,84	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,18	2,09	2,02	1,96	1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,50	1,43	1,35
α	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,75	1,67	1,57	1,52	1,46	1,39	1,32	1,22

TABLA No. 8: Valores del estadístico F 0.05

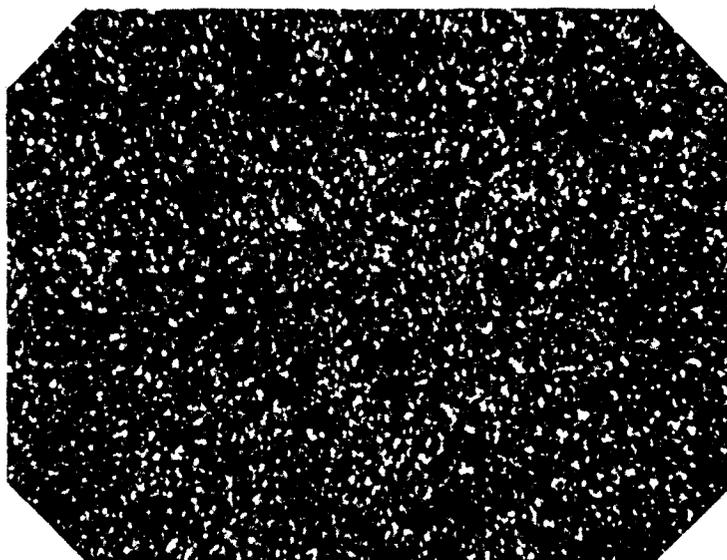
Fig No.14. probeta de AA-1050, temple O, espesor 0.7 mm. tamaño de grano: 100-150 μ

Fig No.15. probeta de AA-1050, temple O, espesor 1.5 mm. tamaño de grano: 150-200 μ

Fig No.16. probeta de AA-1050, temple O, espesor 1.8 mm. tamaño de grano: 150-200 μ

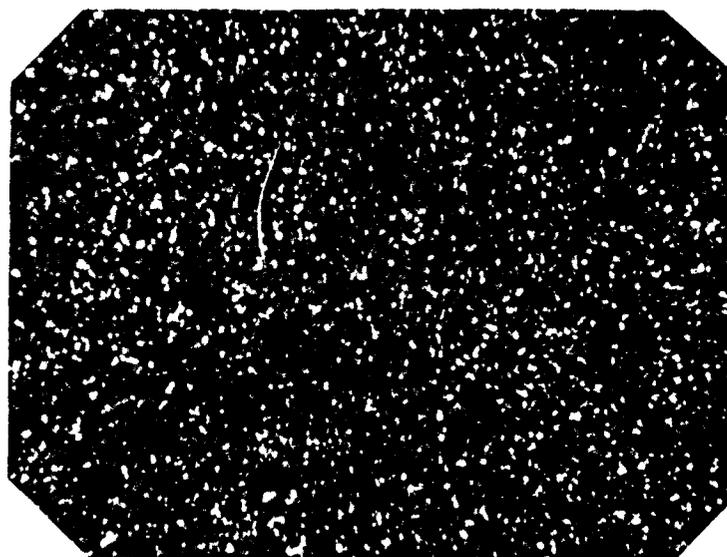
Fig No.17. probeta de Aleación en estudio, tratamiento A4B2, temple O, espesor 0.85 mm. tamaño de grano: 200-300 μ

Fig No.18. probeta de Aleación en estudio, tratamiento A4B3, temple O, espesor 0.85 mm. tamaño de grano: 200-300 μ



20 X

FIGURA N^o 13: FOTOMACROGRAFIA EN PROBETA RECOCIDA DE AA-1050. ESPESOR 0,5 mm. TAMAÑO DE GRANO (100-150) MICRAS



20 X

FIGURA N^o 14: FOTOMACROGRAFIA EN PROBETA RECOCIDA DE AA-1050. ESPESOR 0,7 mm. TAMAÑO DE GRANO (100-150) MICRAS

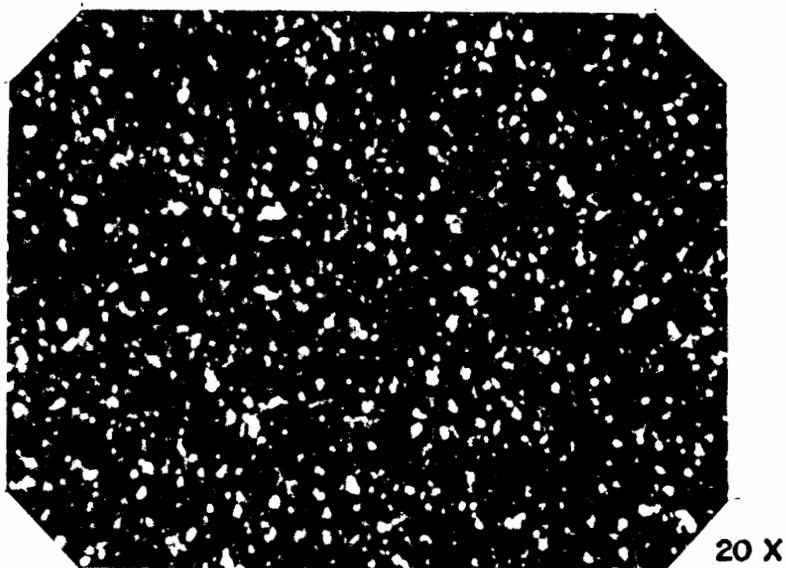


FIGURA N^o 15: FOTOMACROGRAFIA EN PROBETA RECOCIDA
DE AA-1050. ESPESOR 1,5 mm. TAMAÑO DE
GRANO (150-200) MICRAS

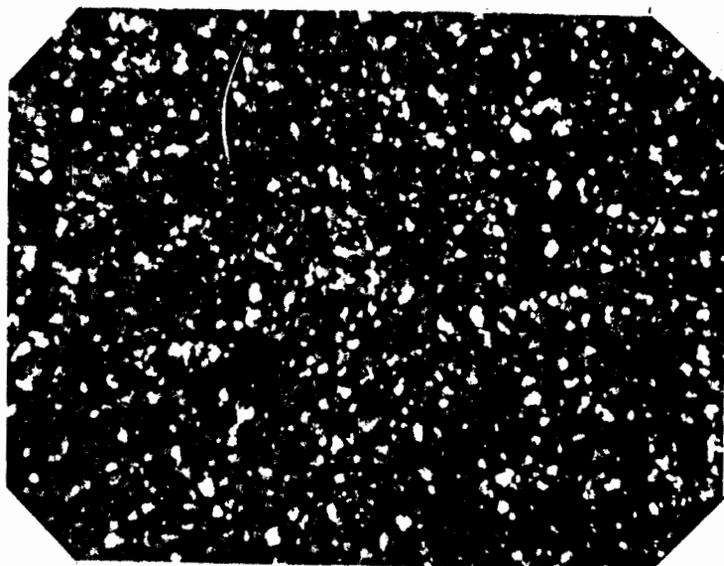
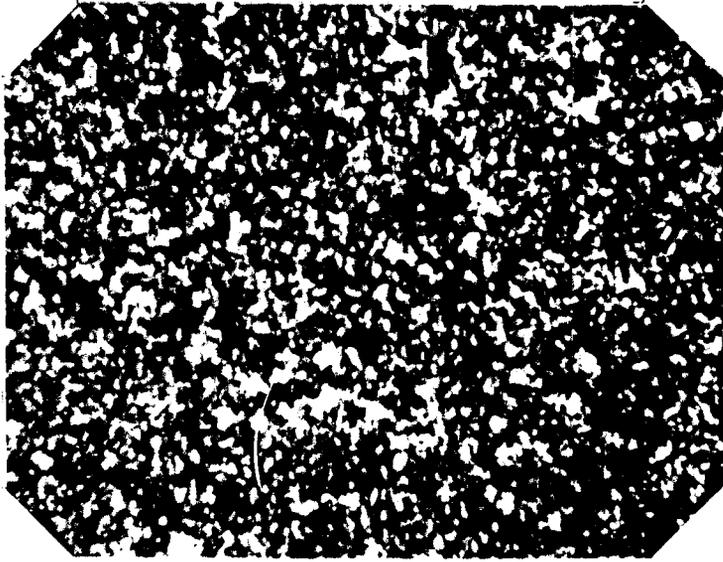
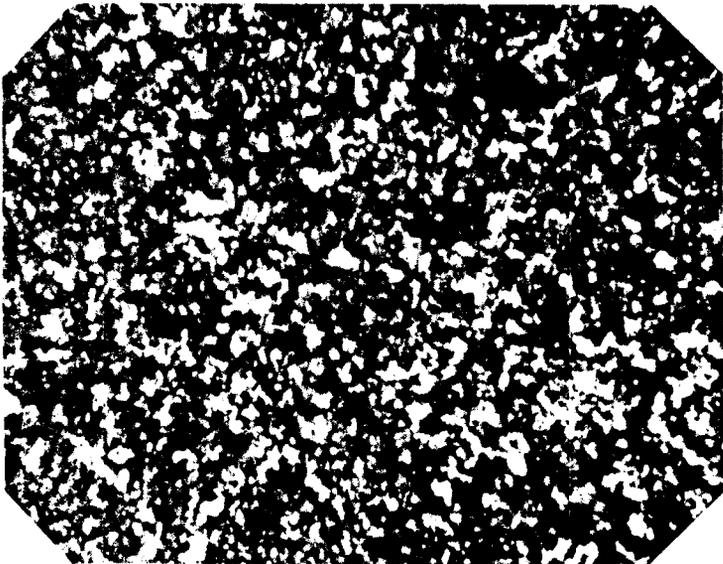


FIGURA N^o 16: FOTOMACROGRAFIA EN PROBETA RECOCIDA
DE AA-1050. ESPESOR 1,8 mm. TAMAÑO DE
GRANO (150-200) MICRAS



20 X

FIGURA N^o 17: FOTOMACROGRAFIA EN PROBETA RECOCIDA DE ALEACION EN ESTUDIO. TRATAMIENTO A4 B2
 ESPESOR 0,85 mm. T. DE GRANO (200-300) μ



20 X

FIGURA N^o 18. FOTOMACROGRAFIA EN PROBETA RECOCIDA DE ALEACION EN ESTUDIO. TRATAMIENTO A4B3.
 ESPESOR 0,85 mm. T. DE GRANO (200-300) μ

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Luego de haber realizado los experimentos y aplicarlos en los productos que fueron usados por los artesanos fabricantes de ollas, podemos concluir lo siguiente:

1. Con los tratamientos A4B2 y A4B3, se obtuvieron muestras con un tamaño de grano de alrededor de 260 micras; Valor que está un 20 % sobre los valores típicos para el mismo proceso en aleaciones AA-1050 y

AA-1100. Esto permite concluir que los utensilios que se fabriquen con estos discos serán aquellos en los que existe estiramiento controlado.

2. Luego del estudio pormenorizado de los productos fabricados por nuestros clientes, concluimos que estos discos se trabajan bien en: tapas de ollas, bandejas, pailas y ollas gruesas (espesor superior a 2 mm).

3. Como esta combinación abarca aproximadamente al 30 % del mercado, se consideró aceptable iniciar la etapa de producción de discos para comercialización.

4. Con relación al tamaño de grano en discos obtenidos a partir de aleaciones del grupo lxxx y producidos por laminación en frío, podemos decir que éste depende de los siguientes factores: Tipo de aleación, calidad de los lingotes virgenes, método de adición del refinador de grano, marcha de la fundición, sistema de colado, espesor inicial de placas, porcentaje de reducción entre recocidos, temperatura de recocido, tiempo de recocido e interacción entre estos últimos factores.

RECOMENDACIONES

Finalmente, se vuelve necesario realizar algunas recomendaciones que involucren todos los aspectos relacionados con el desarrollo del presente trabajo.

1. En las plantas productoras de discos, debería destinarse una zona de la misma para labores específicas de reciclaje. En dicha zona deben existir las instalaciones mínimas para limpieza, clasificación y refusión de chatarras. También las plantas grandes deben promover el reciclaje de envases de bebidas.

2. Debería realizarse un estudio detallado acerca de la cantidad de chatarras de aluminio existentes en el país, así como estimar aquella que se sigue generando, a fin de evaluar la posibilidad de iniciar procesos de reciclaje a gran escala. Esta práctica permitiría avances tecnológicos

importantes, así como también se podría obtener una adecuada rentabilidad.

3. El empleo de chatarras en la producción de discos puede ampliarse siempre y cuando se mejore la calidad de las placas obtenidos luego del vaciado. Por ello se recomienda, en este tipo de instalaciones, modificar el método de desgasificado y el sistema de colado.

APENDICE

SISTEMA PARA DESIGNACION DE TEMPLES

Las aleaciones fraguadas de aluminio, pueden dividirse convenientemente en 2 grupos : las aleaciones “tratables Tèrmicamente” y las aleaciones “No Tratables Tèrmicamente”, cuya resistencia solo puede incrementarse por deformaciòn en frio.

Por ello, se considera al Temple como una condiciòn que se produce en el metal mediante tratamiento tèrmico o mecànico, impartiendo estructura y propiedades mecànicas características.

A continuaciòn, se muestran las designaciones para los temple más comunes y se describe la secuencia de operaciones necesarias para producirlos.

F. Tal como se fabrica.- Se aplica a todos los productos conformados por trabajado en frio o en caliente en los que no existe ningùn control en especial. En los productos fraguados el temple “F” se produce sin controlar el grado de endurecimiento, de modo que no se garantizan sus características mecànicas.

O . Recocido.- Se aplica a productos fraguados que reciben este tratamiento para obtener mínima resistencia y máxima ductilidad. En el

caso de productos fundidos, el recocido sirve para mejorar la ductilidad y su estabilidad dimensional.

H. Endurecido por Deformación.- Este temple es exclusivo de los productos fraguados que han sido endurecidos por deformación con o sin tratamiento térmico posterior para producir alguna reducción en su resistencia.

La letra "H" siempre va seguida de 2 dígitos. El primer dígito, denota la práctica seguida en su fabricación, así:

H1.- Se aplica a productos que han sido endurecidos hasta obtener la resistencia deseada, sin tratamiento térmico posterior.

H2.- Se aplica a productos inicialmente endurecidos más allá de la cantidad final deseada y que luego se reduce su dureza, mediante un recocido parcial.

H3.- Aplicable a productos que son endurecidos y cuyas propiedades mecánicas son estabilizadas mediante un tratamiento térmico a baja temperatura que reduce ligeramente su resistencia y mejora la ductilidad.

Esta designación es solo aplicable a aquellas aleaciones que sin estabilizarse, envejecen gradualmente a temperatura ambiente.

El segundo dígito indica el grado de endurecimiento, de acuerdo a la siguiente clasificación:

2.....1/4 de Dureza

4..... Semiduro

6..... 3/4 duro

8..... Duro.

Los temple W y T se aplican únicamente a las aleaciones fraguadas de aluminio que son tratables térmicamente.

W.- Esta designación significa temple inestable y se especifica cuando se indica el período de envejecimiento natural. Por ejemplo AA-2017-W (2Hrs); una vez que termina el envejecimiento natural se obtiene el Temple T4.

T.- La denominación "T" describe un temple estable diferente a O, F o H. La letra T va seguida de números del 1 al 10 y cada número especifica la secuencia del tratamiento, de la siguiente manera:

T1.- Producto enfriado desde altas temperaturas luego del proceso de conformado (ejemplo: Extrusión en caliente) y envejecido naturalmente a una condición estable.

T2.- Aplicase a los productos enfriados desde altas temperaturas, trabajados en frío y naturalmente envejecidos a una condición estable.

T3.- Son productos que reciben “tratamiento térmico en solución”, luego se trabajan en frío y son naturalmente envejecidos a un condición estable.

T4.- Aplicable a productos que reciben tratamiento térmico en solución y luego envejecen naturalmente a una condición estable.

T5.- Productos enfriados naturalmente luego del proceso de conformado y posteriormente envejecidos artificialmente.

T6.- Se aplica a productos que reciben tratamiento termico en solución y son artificialmente envejecidos.

T7.- productos que reciben tratamiento térmico en solución y luego son estabilizados.

T8.- Esta designación se aplica a productos que reciben tratamiento térmico en solución , trabajados en frío y artificialmente envejecidos.

T9.- Aplicase a productos que reciben Tratamiento térmico en solución, envejecidos artificialmente y luego trabajados en frío.

T10.- Productos que son enfriados desde altas temperaturas luego del proceso de conformado, trabajados en frío y envejecidos artificialmente.

BIBLIOGRAFIA

1. ALFARO Y PINTOS, Articulo, Tratamiento de aleaciones de Aluminio con eliminación de Magnesio. Madrid, 1988, pp 16-21.
2. ALUMINUM ASSOCIATION, International designation system for wrought Aluminum and wrought Aluminum alloys, New York, 1980, pp 15.
3. AMERICAN SOCIETY FOR METALS, Metals handbook. Forming and forging, 9th Edition, Metal parts, Ohio, 1989, pp 575-590, 599-604 y 795-798.
4. AMERICAN SOCIETY FOR METALS, Metals handbook. Casting, 9th Edition, Metal parts, Ohio, 1989, pp 743-751.

5. AMERICAN SOCIETY FOR METALS, Metals handbook. Non Ferrous alloys and pure metals, 9th Edition, Metal parts, Ohio, 1978, pp 24-27.
6. AVNER SIDNEY. Introducción a la metalurgia física. Segunda edición. Mexico, 1988.
7. DIPLOMADO EN CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD, Diseño de experimentos, Vol 5, Itesm-Espol, 1992.
8. FOLLETO ESPOL, Metalurgia mecánica, Imprenta Espol, 1984,
9. INGENIEROS DEL GRUPO ALCAN, Manual del Aluminio, Aluminum limited sales Inc, New York, 1980.
10. INGENIEROS DEL GRUPO PECHINEY, Enciclopedia del Aluminio, Vol I, Procesos de conformado del Aluminio y sus aleaciones, Urmo S.A, Bilbao, 1974.
11. JONES G.P. And PEARSON J. Metallurgical transactions, Volume 7B, Factors affecting the grain refinement of Aluminum using Titanium and Boron additives, New York, 1976, pp 223-228.