

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE GEOLOGIA MINAS Y METALURGIA**

**ESCUELA DE METALURGIA**



**MANUFACTURA DEL ALUMINIO EN LA FUNDICIÓN SAN  
FRANCISCO S.R.L.**

**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL**

**PARA OPTAR EL TITULO DE  
INGENIERO METALURGISTA**

**DANIEL GUTIERREZ CARDENAS**

**LIMA - PERU  
2009**

# Índice

## **Resumen Ejecutivo**

### **CAPITULO I**

1. Introducción
  - 1.1 Objetivo del trabajo
  - 1.2 Planteamiento de la Monografía para lograr el Objetivo

### **CAPITULO II**

2. Aluminio Secundario
  - 2.1 Tipos de Aleaciones
    - 2.1.1 Aleaciones maleables
    - 2.1.2 Aleaciones para moldeo
    - 2.1.3 Aleaciones madre de aluminio
  - 2.2. Formas de suministro
    - 2.2.1 Lingotes
      - 2.2.1.1 Lingotes de aluminio no aleado
      - 2.2.1.2 Lingotes de aleaciones de aluminio
    - 2.2.2 Granulados, granalla, polvo
    - 2.2.3 Formatos
  - 2.3 Obtención del material previo al producto semielaborado.
    - 2.3.1 Caldo metálico
      - 2.3.1.1 Colada
      - 2.3.1.2 Fundición
      - 2.3.1.3 Medición de temperaturas
    - 2.3.2 Lingotes laminados y prensados (tamaños)
      - 2.3.2.1 Colada continua vertical
      - 2.3.2.2 Colada continua horizontal
      - 2.3.2.3 Mecanizado de los lingotes
    - 2.3.3 Bandas, alambres

- 2.3.3.1 Laminación de colada
- 2.3.3.2 Colada entre bandas de acero.
- 2.3.3.3 Colada entre coquillas de oruga sin fin
- 2.3.3.4 Colada entre rueda o cilindro y banda de acero.

## **CAPITULO III**

- 3. Fusión del aluminio reciclado
  - 3.1. Tipos de Hornos para la Fusión del Aluminio
    - 3.1.1 Horno Reverbero
    - 3.1.2 Hornos de crisol a gas
    - 3.1.3 Horno eléctrico de crisol
    - 3.1.4 Horno rotatorio
    - 3.1.5 Reverberos Eléctricos
    - 3.1.6 Hornos de Torre.
    - 3.1.7 Horno de Inducción.
    - 3.1.8 Horno de Exudación.
  - 3.2 Tecnología de la combustión
    - 3.2.1. Quemador Convencional
    - 3.2.2. Quemador de Inmersión
    - 3.2.3. Quemador con enriquecimiento de oxígeno
    - 3.2.4. Quemadores de tubos radiantes
  - 3.3 Procesos de moldeo del aluminio
    - 3.3.1 Factores de Selección.
    - 3.3.2 Descripción de los métodos de moldeo
      - 3.3.2.1. Moldeo en Arena
      - 3.3.2.2. Moldeo Inyectado
      - 3.3.2.3. Moldeo inyectado por gravedad
      - 3.3.2.4. Moldeo Inyectado a Alta Presión
      - 3.3.2.5. Moldeo inyectado a baja presión
      - 3.3.2.6. Moldeo Inyectado en Vacío
      - 3.3.2.7. Moldeo pastoso o exprimido
      - 3.3.2.8. Prensado Isostático Caliente

## **CAPITULO IV**

- 4. Principios de la laminación del aluminio
  - 4.1 Propósitos de la Laminación
  - 4.2 Equipos de Laminación
    - 4.2.1 Características principales de una laminadora para desbaste de aluminio
    - 4.2.2 Trenes de Laminación
  - 4.3 Definiciones
  - 4.4 Factores Importantes
    - 4.4.1 Punto neutro o punto de no deslizamiento
    - 4.4.2 Ganancia de velocidad o efecto de extrusión; Deslizamiento hacia delante
    - 4.4.3 Presión específica en la laminación plana fría con tensión a la entrada y a la salida
    - 4.4.4 Factores que afectan el espesor de la plancha laminada
      - 4.4.4.1 Calibre o separación de los cilindros
      - 4.4.4.2 Tensión aplicada a la entrada y/o a la salida de la laminadora.
      - 4.4.4.3 Espesor de entrada
      - 4.4.4.4 Dureza del material
      - 4.4.4.5 Velocidad del cilindro laminador
      - 4.4.4.6 Deflexión del cilindro de laminación debido a los esfuerzos.
      - 4.4.4.7 Barrilamiento de los cilindros
      - 4.4.4.8 Dilatación de los cilindros.
      - 4.4.4.9 Flujo restringido en compresión plana
      - 4.4.4.10 Defectos debido a la lubricación
      - 4.4.4.11 Empastado de los cilindros de laminación

## **CAPITULO V**

- 5. Descripción del proceso en Fundición San Francisco
  - 5.1 Ubicación: Manzana, Lote, calle, distrito, provincia, departamento
    - 5.1.1 Plano ampliado de guía de calles.

5.1.2 Diagrama con medidas de la vista en planta de la fundición.

5.2 Historia y organización. Descripción del proceso.

5.2.1 Materia Prima.

5.2.2 Fundición.

5.2.2.1 Hornos.

5.2.2.2 Escorias.

5.2.2.3 Productos.

5.2.3 Laminación: Laminación en frío.

5.2.4 Tratamiento Térmico: Recocido.

5.2.5 Corte de las Planchas.

5.2.6 Producción Final.

6. Conclusiones

7. Bibliografía

8. Anexos

## **AGRADECIMIENTO**

*Durante la elaboración del presente informe profesional he tenido el privilegio de contar con las valiosas sugerencias de los Ingenieros Julio Uza Teruya y Alberto Landauro Abanto a quienes les estoy muy agradecido, como también a mis profesores Oscar Silva Campos, Edwilde Yoplac Castromonte.*

**DEDICATORIA:**

*A mi madre Zenobia y a mis hermanos  
por su apoyo incondicional.*

## RESUMEN EJECUTIVO

La empresa fundición San Francisco S.R. Ltda., tiene como actividad principal la producción de placas de aluminio para laminación de planchas. La materia prima está constituida de material recirculante del proceso y chatarra aluminio. La fusión se realiza en un horno de crisol de 300 Kg de capacidad con una producción mensual de 7.8 toneladas. El aluminio se cuela en placas de 30cm x 25cm x 2.5cm de espesor y 5 Kg de peso. La laminación es en frío, realizándose el desbaste en una laminadora marca Mino de (280mm diámetro x 610mm) y en una laminadora Nash de (300mm diámetro x 410mm). El acabado se realiza en una laminadora Farrel de (490mm diámetro x 750 mm).

La plancha de diferentes espesores (mm) son recocidas 400°C de 10 a 12 horas, refiladas y entregadas como planchas rectangulares o en discos de variados diámetros (950mm a 10 mm), con espesores finales de 3mm – 0.5 mm



# **CAPITULO I**

## **1. Introducción**

Se hace necesario destacar el importante aporte que hace la pequeña industria en el escaso desarrollo que muestra la industria local de la manufactura del aluminio. A la experiencia descrita debo señalar también el importante aporte que ha significado los conocimientos adquiridos en el curso de laminación.

### **1.1. Objetivo del trabajo**

Este trabajo se ha realizado con los siguientes propósitos:

- a. Presentarlo como informe profesional para obtener el Título de Ingeniero Metalurgista.
- b. Dar a conocer los procesos de fundición de aluminio y laminación en Frió que se realiza en Fundición San Francisco, así como también empresa en pequeña escala optimizando los recursos.

### **1.2. Planteamiento de la Monografía para lograr el Objetivo.**

El estudio que se presenta, y que es materia de este informe profesional, trata de la fundición y laminación en frió de aluminio para obtener placas y discos para su posterior repujado, este proceso se realiza con éxito en la Fundición San Francisco SRL.

El trabajo consta de 6 Capítulos; en el Capítulo 1 se exponen los motivos que han motivado a realizar el este estudio; En el Capítulo 2 se presentan referencias sobre el Aluminio; En el Capítulo 3 Aleaciones y propiedades del Aluminio; El Capítulo 4 trata de los tratamientos térmicos a fin de que nos forme una idea de las aplicaciones y la importancia del reciclado del aluminio; El Capítulo 5, tema central del Informe, presenta la ubicación, historia y descripción del proceso que se realiza San Francisco y el método adecuado de empleo de los equipos que se utilizan; en el Capítulo 6 se presentan las conclusiones del estudio realizado, se presenta la lista bibliográfica que se ha revisado y finalmente los anexos.

## CAPITULO II

### 2. Aluminio Secundario

El aprovechamiento de material viejo y chatarra es económicamente importante. Las aleaciones secundarias obtenidas a partir de estos materiales cubren aproximadamente el 25% de las necesidades totales. En Europa el mayor y más importante campo de aplicación del aluminio secundario, o de las aleaciones de aluminio secundarias, es la fundición de molde. En la norma DIN 1725, parte 2° se citan, junto a la designación normalizada, muchas aleaciones, de fundiciones de aluminio con su numeración correspondiente (ver tabla 2.1). La lista de la VDS contiene algunas aleaciones no normalizadas (ver tabla 2.2) además de las incluidas en la norma aludida DIN 1725, parte 2°.

#### 2.1. Tipos de Aleaciones

##### 2.1.1. Aleaciones maleables

En los últimos años ha surgido en EE.UU. una gran industria de aluminio secundario para la fabricación de semi-elaborados en forma de redondos y lingotes. Puesto que este tipo de fabricación ha nacido como consecuencia de la necesidad de aprovechar materiales de desecho, esta industria ha crecido de modo continuo, también en Europa. Por lo general se aprovechan para este fin recortes procedentes de primeras operaciones de otras fabricaciones, así como desperdicios viejos.

El desarrollo de aleaciones maleables a base de chatarra, junto con una amplia utilización del contenido en aleación de la misma, presenta un porvenir halagüeño.

La reelaboración correcta de la chatarra de aluminio, dada la multiplicidad de sus formas sólo puede realizarse en fundiciones que tengan instalaciones muy especiales. El esquema de la **fig. 2.1** da una idea de las etapas bastante complejas de las operaciones Shredder seguida de la técnica de separación por vía húmeda. Los materiales de desecho se funden previos y a una eventual separación por vía húmeda así como a la cremación de las adherencias, no metálicas.

Partículas o adherencias de otros metales como hierro, níquel, cuyos puntos de fusión superan al del aluminio, se pueden separar por fusión del aluminio en un puente de fusión sobre el que se quedan, sin fundir, esos metales. Las impurezas no metálicas, como óxidos, nitruros, carburos, o gases, se eliminan después mediante tratamiento con sales adecuadas o más racionalmente por lavado con gas inerte, cloro, y/o nitrógeno.

La técnica de preparación descrita en la **figura 2.1**, a pesar de ser moderna, no es aplicable en todos los casos. Los métodos de preparación convencionales clásicos (selección manual, secado de virutas, raspaduras) siguen teniendo su importancia.

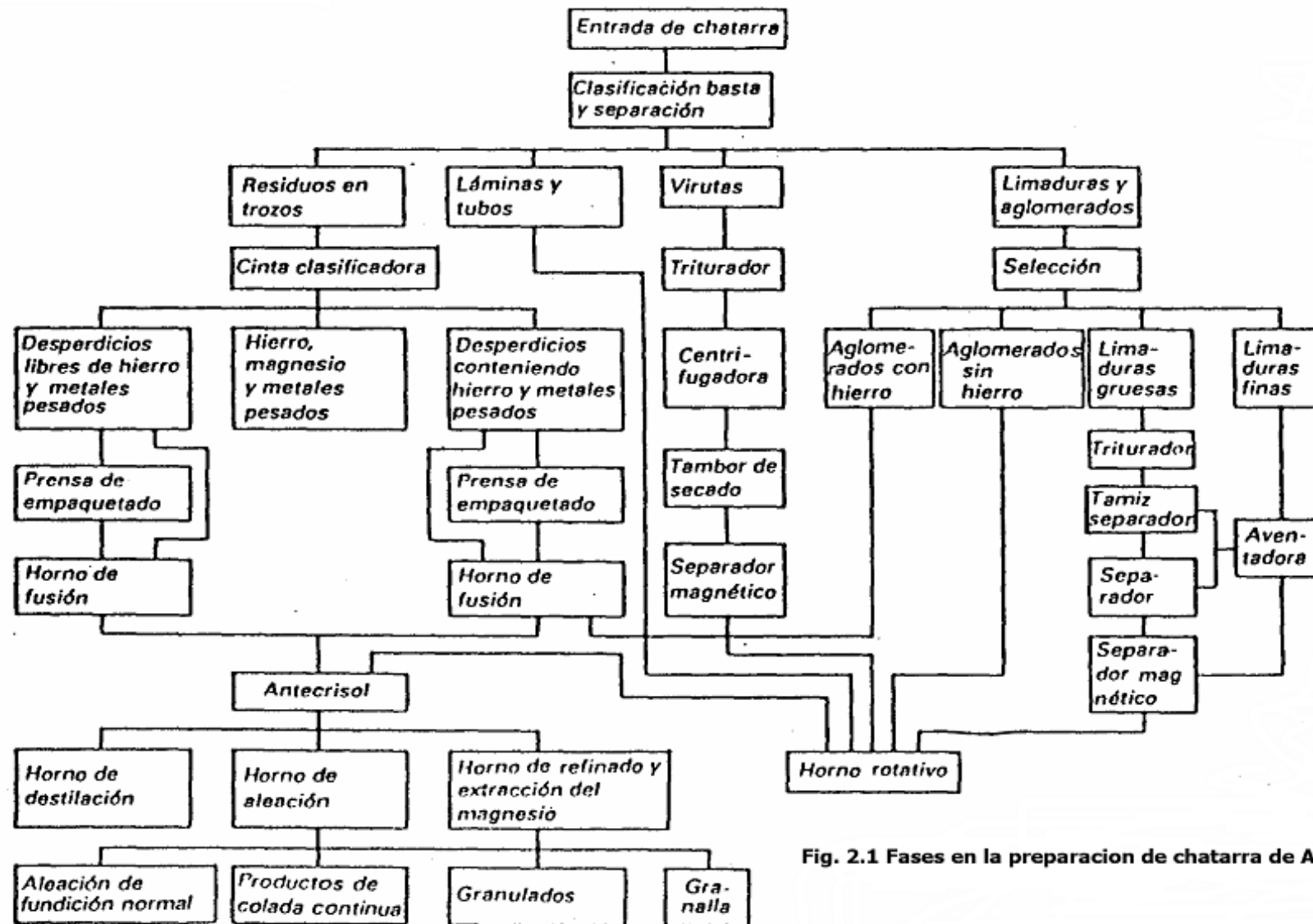


Fig. 2.1 Fases en la preparación de chatarra de Aluminio

### **2.1.2. Aleaciones para moldeo**

En la fabricación de aleaciones para moldeo a partir de chatarra, la aplicación más importante queda limitada, en general, al eliminar el contenido de magnesio, perjudicial, haciendo pasar cloro por el metal fundido. El tratamiento de lavado con cloro y/o nitrógeno sirve, simultáneamente, para la purificación de la fusión y la desgasificación, especialmente del hidrógeno. Añadiendo los aditivos en consonancia con la composición existente se logra, a partir de este hecho de fusión, la pureza necesaria. Los metales aleados, con alta presión, de vapor, como son cinc y magnesio, se pueden reducir en cantidad a valores bajos, mediante tratamiento en vacío del lecho de fusión, en aquellos casos en que lo requiere la fabricación de la aleación. Una práctica muy generalizada es, sin embargo, para el caso del Zn, cuando no se deseen altos contenidos de este metal. "Diluir" la fusión adicionando aluminio puro.

### **2.1.3. Aleaciones madre de aluminio**

Las aleaciones madre facilitan o hacen posible la introducción de componentes específicos los que tienen alto punto de fusión. Entre estos últimos se trata preferentemente de aditivos para afinar el grano, los cuales se adicionan en cantidades muy pequeñas. El uso de aleaciones madre permite una dosificación exacta y una distribución más rápida de estos aditivos. Las aleaciones madre de aluminio están normalizadas. Las aleaciones de reducción y de mezcla ya no se han normalizado como sales. Las formas habituales usadas para su fabricación, deberán tener un grado de pureza relativamente alto, con el fin de que puedan mantenerse los contenidos máximos permitidos de los aleantes. Para conseguir una estructura pobre en segregaciones se requieren diversas medidas en cuanto al sistema de formar la aleación y el método a seguir en la colada; por ejemplo limitación en el contenido de aditivo que tenga tendencia a producir segregación, fundición de lingotes de tamaño pequeño, etc.

## **2.2. Formas de suministro**

### **2.2.1. Lingotes**

#### **2.2.1.1 Lingotes de aluminio no aleado**

Los lingotes de aluminio no aleado son producidos casi siempre en las fundiciones (aluminio metalúrgico); se vuelven a fundir y se cuelean sin alear o aleados para obtener diversos productos que pasan, después, a ser semielaborados. Parte de ellos se utiliza posteriormente en las fundiciones en molde. Sus composiciones están detalladas en DIN 1712, parte 1°(ver tabla 2.1)

Teniendo en cuenta que durante la fusión y preparación de la aleación es inevitable la absorción de pequeñas cantidades de impurezas, se hallan normalizadas las tolerancias en las mismas para los lingotes de aluminio purísimo y aluminio metalúrgico, en DIN 1712, parte 1, con más rigor que para los fundidos y semielaborados, (DIN 1712, parte 3). El tamaño comercial más en uso para estos lingotes es actualmente de 25kg. Unidades más pequeñas (por ejemplo de 10kg) son más raras. Los lingotes se funden a mano o mecánicamente. El dispositivo más sencillo consiste en lingoteras ordenadas en una semicircunferencia, provistas de un canal de colada basculante. Las máquinas para fundir lingotes se construyen de dos maneras: unas como una cinta transportadora con moldes giratorios para los lingotes y otras giratorias horizontales (carrusel de colada). La colada se realiza, en este caso, de modo continuo o inmediato desde el horno de fusión. Se puede conseguir buena rentabilidad con una mayor mecanización de los trabajos accesorios.

En la actualidad tiene cada vez más importancia los grandes lingotes, que alcanzan masas entre 500kg y 2 toneladas. Los grandes lingotes se pueden fabricar, por colada, en moldes apropiados hasta de unos 500kg) así como por colada continua. Además de los lingotes de aluminio no aleado deben tenerse en cuenta, también los medios lingotes (4 - 8kg) y los décimos lingotes (1kg) utilizados particularmente en la desoxidación del acero.

### **2.2.1.2 Lingotes de aleaciones de aluminio**

Se suministran principalmente para las fundiciones de moldeo de piezas de aluminio. Su composición está normalizada en la norma DIN 1725, parte 2°, aleaciones aluminio para fundiciones (ver. Tabla 2.3). Su fabricación se realiza en las fundiciones y las industrias dedicadas a estos elementos. Los lingotes se empaquetan corrientemente en pilas de 500 a 1000kg, en plataformas metálicas de la misma aleación. Las plataformas son susceptibles de fundirse también, con lo que se elimina el transporte de retorno. A los lingotes le suele dar una forma especial, de tal manera que se puedan acoplarse encajándose entre ellos en la plataforma de carga y así evitar el deslizamiento durante el transporte. La adquisición de lingotes con aleación conocida evita al usuario efectuar inversiones para mejorar la calidad (por ejemplo, eliminación de gases y óxidos, afino del grano) así como controles de garantía (según DIN 50 049,6.5.1). Los lingotes de aleaciones de aluminio son de menor importancia en la fabricación de semielaborados.

### **2.2.2 Granulados, granalla, polvo**

Los granulados son gotas, macizas o huecas, solidificadas a partir del metal líquido, con diámetros hasta 20mm, las cuales se producen por vertido en agua, o sobre placas o tambores giratorios, enfriados. Se obtienen en fundiciones o talleres de fundición. Según el fin a que se destinan, los granulados están formados por aluminio puro (Al99,5H; Al99,7H; Al99,8H) o por aleaciones (de fundición) de aluminio. La industria que más los utiliza es la del acero (desoxidación). Otras aplicaciones son para el granallado a presión, para el acabado de grandes superficies. Bajos la denominación de granalla se designan pequeñas partículas metálicas de 0.4 a 3 mm de diámetro, que se obtienen por soplado o por extrusión de metal líquido (forma de agujas) o por removido y/o vibrado durante la solidificación (forma esférica). Las partículas de menor tamaño se llaman polvos. Se fabrican en fundiciones, talleres de fundición y, específicamente, en las empresas dedicadas a estos fines. La granalla, de aluminio se utiliza en aluminotermia y para fines diversos en la industria química.

### 2.2.3 Formatos

Para la fabricación de semielaborados se necesitan tochos obtenidos por laminación o estirado, a partir del metal correspondiente y con las medidas prescritas. Las formas producidas por las fundiciones se utilizan tanto talleres de fundición como en los que se dedican a fabricar productos semiacabados. La norma DIN 1712, parte 3° (ver tabla 2.1) contiene la composición de formatos (y semielaborados); la DIN 1725, parte 1°(ver tabla 2.1) contiene las aleaciones para aluminio puro; mientras que para forja, trefilado y laminación de aluminio se emplea la norma DIN 1725, parte 1°(ver tabla 2.2). El aluminio purísimo, obtenido por electrólisis de capa triple se funde casi inmediatamente para producir formatos (Al99,98R, según 1712, parte 3° o aleaciones AIRMg, respectivamente, según DIN 1725, parte 1°); rara vez se obtiene en forma de lingotes.

La calidad de las barras fundidas es decisiva para los fabricados de formas forjadas. Deben estar, sobre todo, libres de inclusiones de óxidos y cuerpos extraños, como poros, rechupes y grietas que puedan formarse por contracciones y tensiones térmicas. Los gases y óxidos pueden eliminarse por un control cuidadoso del proceso de fusión, mediante una temperatura de colada lo más baja posible por medidas apropiadas para mantener limpio el caldo a la vez que se funde convencionalmente. Es imprescindible impedir que, al efectuar la colada, sea arrastrado con el caldo la película de óxido formada sobre aquél.

Cuando toda la sección de la barra se halla rodeada de una estructura de grano fino, se facilita el trabajo posterior, a la vez que se supone una condición característica, que se precisa para conseguir una uniformidad de propiedades en el producto semielaborado. A fin de conseguir esta finura de grano se aconseja adicionar Ti y otros elementos “afinadores de grano” junto a materiales con análoga influencia. Es importante, también, la obstaculización de segregaciones, procurando que se produzca un reparto fino y uniforme de los constituyentes que se encuentran disueltos o no en la estructura del lingote. En las aleaciones de composiciones definidas, con intervalos característicos de solidificación, se producen desplazamientos en las concentraciones



entre los cristales de solidificación primaria y el resto de la colada. Puede surgir y mantenerse diferencias de concentraciones incluso en un cristal, a causa de su reajuste incompleto, por difusión, con la aparición subsiguiente de segregaciones cristalinas. Para el reajuste de estas diferencias estructurales sirve también el tratamiento de recocido que se da a los bloques obtenidos por colada continua antes de su mecanizado. Algunas aleaciones de aluminio presentan tendencia a una segregación en bloque inversa. En este caso la acumulación de los constituyentes solidificados en último lugar no se realiza, como cabría esperar según el diagrama de equilibrio, en el interior del lingote sino en las zonas periféricas. El resto del caldo metálico enriquecido no penetra, durante la solidificación una clara explicación para este comportamiento. Las formas en que se suministran comercialmente el aluminio no aleado, el aluminio purísimo y las aleaciones para forja, trefilado, y laminación de aluminio son:

- Lingotes desde 50kg hasta máximas dimensiones actuales: 2500x 600 x 3900 mm<sup>2</sup>; masa 13t.
- Lingotes redondos: también redondos huecos para fabricación de tubos y perfiles huecos, generalmente hasta 500mm de diámetro y 3900mm de longitud; masa, en general, hasta 2t.
- Llanton con las medidas correspondientes.
- Lingotes para trefilado también, en algunos casos, puntiagudos, en masa de hasta aprox. 80kg.

## **2.3 Obtención del material previo al producto semielaborado.**

### **2.3.1 Caldo metálico**

#### **2.3.1.1 Colada**

La fusión y preparación de la aleación se realiza en hornos de fusión una vez calculado el lecho de fusión a base de aluminio metalúrgico, metal aleado o metal de retorno y los aditivos necesarios. Son muy usados los hornos de cubeta acostados y basculantes con capacidad para varias toneladas de metal. Con objeto de conseguir un caldo fundido lo más pobre posible en hidrogeno y oxígeno, se somete aquél, según necesidades y circunstancias, a diversos tratamientos utilizando cloro

gaseoso, cloro-gaseoso-nitrogenado o mezclas de gas clorado inerte y, en algunos casos, la acción de sales que desprenden cloro. En este sentido, por razones sanitarias y ecológicas, se tiende a minimizar el uso del cloro gaseoso. Después de agitar, reposar y separar escorias se toman muestras para analizar. De los resultados obtenidos y tras las correcciones consiguientes, se repiten la toma de muestras y análisis de control. La fabricación de la carga resultante dura de cuatro a ocho horas. Las temperaturas de trabajo se hallan por encima de las de la colada. Conviene separar el horno de fusión del horno de fusión de colada, llevando a aquél a través de un canal adecuado. Dotando al horno de fusión de un sistema mecánico e hidráulico de vuelco y traslación se puede conseguir un vacío regular, continuo, controlado y libre de turbulencia.

#### **2.3.1.2. Fundición**

En el horno se consigue ajustar y mantener el caldo a la temperatura de fusión. Estos hornos se calientan, en general, con combustibles y rara vez con electricidad; también se usan hornos de inducción. Para evitar oxidaciones del caldo se suele llenar el espacio libre del horno con gases inertes. El vaciado para el vertido se realiza por un movimiento de rotación lateral de vuelco, de tal manera que se puede conseguir un flujo continuo, sin torbellinos, hacia el canal de vertido en el tiempo de llenado que se desee. Si se utiliza aluminio metalúrgico o aleaciones de aluminio se puede alimentar el horno de fusión directamente con dicho material para obtener una fusión rápida y a la vez, la temperatura necesaria para la fusión. Para asegurar una calidad en la colada, uniforme y libre de óxidos, es conveniente filtrar al aluminio líquido en las fases intermedias, pero en cualquier caso, antes de entrar en las coquillas.

#### **2.3.1.3. Medición de temperaturas**

El control de temperaturas debe realizarse con instrumentos de toda garantía. La máxima temperatura de fusión de las aleaciones de aluminio se hallan por debajo de los 800°C, generalmente entre 700 y 750°C; por tanto, en margen en la que el líquido fundido emite una

radiación que no es fácil de reconocer por el color. No es posible estimar las temperaturas por colorimetría.

Para mediciones de control breves se utiliza termoelementos, compuestos por un termopar normalmente de NiCr-Ni sin protección que se sumerge en la colada. Para aumentar la duración del termopar, se le protege del ataque de la colada recubriendo la parte desnuda de aquél con unas pinceladas de untura para coquillas la cual debe renovarse antes de cada inmersión. la parte superior del termopar va ubicada en una ligera armadura que sirve, a la vez, como soporte del instrumento. El inconveniente de este sistema estriba en que los alambres desnudos del termopar modifican su poder termoeléctrico, con relativa rapidez, a causa del depósito, sobre ellos, del metal fundido, alterando las indicaciones del instrumento; por este motivo deberán compararse de vez en cuando aquellas mediante un instrumento de control, para determinar, según las desviaciones que aparezcan, cuando se ha de cambiar el instrumento. Este inconveniente se puede subsanar utilizando, para mediciones de control, termoelementos sumergibles en los que la parte de medición (soldadura caliente) se halla protegida por un tubo que debe cambiarse al cabo de un número al termopar con un conductor compensador.

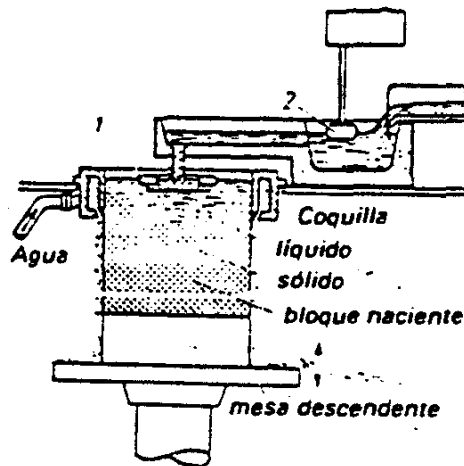
Para mediciones se utiliza corrientemente, de forma rectilínea o angular, con termopar de NiCr-Ni, colocado en el interior de un tubo protector de grafito o fundición gris perlítica. La experiencia ha demostrado que el tubo de fundición gris perlítica es el más duradero resistiendo unas 100 horas, según sean las condiciones de funcionamiento (sin embargo, en las fundiciones de aluminio ricas de magnesio, se comportan mejor los tubos de hierro puro que los tubos de hierro fundido. La capacidad de resistencia de estos tubos protectores se puede mejorar con unturas cerámicas. En las mediciones continuas se debe preferir el instrumento indicado fijo, colocado en la pared o en una placa de conexiones. Se aumenta la exactitud en la medición si se dispone de una temperatura de referencia (temperatura de la soldadura fría) constantes, que puede regularse constante mediante un termostato.

## **2.3.2. Lingotes laminados y prensados (tamaños)**

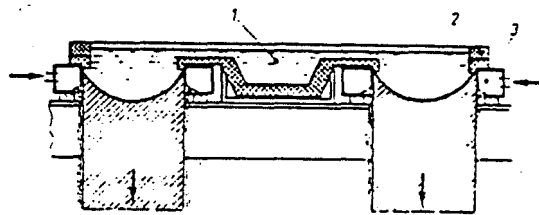
### **2.3.2.1 Colada continua vertical**

El procedimiento que se usa con más frecuencia en todo el mundo se conoce con el nombre de colada con vertido de agua. La lingotera consiste en una coquilla refrigerada por agua que, antes del comienzo de la colada, se cierra por su parte inferior con un fondo, ajustable sobre una masa de vertido, y que se desplaza verticalmente hacia abajo. Cuando comienza la solidificación del metal que sale del metal que sale del horno, y a menor temperatura, corre a través de un canal, se hace descender la mesa y el lingote saliente se refiere directamente por chorros dirigidos de agua. Así se consigue una solidificación rápida, hasta el núcleo del bloque, dirigida con preferencia de abajo hacia arriba. De esta manera se obtienen lingotes que, a través de toda su sección, presentan una estructura de grano fino, más compacta, libre de poros, rechupes y con escasas segregaciones. El procedimiento es aplicable para obtener lingotes de todas dimensiones y formas (incluso lingotes huecos). Las longitudes máximas alcanzables están condicionadas por la carrera de descenso a la vez que requieren menos espacio para su almacenamiento.

La Fig.2.3 reproduce esquemáticamente la estructura y modo de funcionamiento de una instalación de colada esquemáticamente la estructura y modo de funcionamiento de una instalación de colada con vertido de agua. La regulación, con flotadores, de la alimentación y distribución del metal permite también una colada múltiple y automática. Con este sistema se pueden tener en funcionamiento simultáneo instalaciones de colada con 90 redondos de hasta 150 mm de diámetro.



**Fig.2.2 Colada continua según el método con vertidor de agua-VLW; 1 flotador para regular el flujo de metal líquido a la lingotera; 2 flotador para el mando automático del horno de fusión.**



**Fig. 2.3 Principio del método de proceso de fusión llamado Hot-Top (sistema VAW); 1 canal vertido 2 Hot –Top; 3 coquilla**

Un filtrado a través de un tejido de fibra de vidrio, el calentamiento del flujo del flujo de metal con el flotador, así como la regulación de la velocidad de fluencia en el canal de vertido antes de la entrada en la lingotera, asegura una colada sin turbulencias con una óptima calidad del metal así obtenido.

Para la colada múltiple de lingotes o barras se utilizan actualmente coquillas muy cortas con recubrimientos refractarios, aislantes, sin regulación de nivel del metal mediante boquillas o flotadores en cada una de las lingoteras. El nivel del metal es el mismo en los canales de conducción que en las lingoteras supletorias. Los redondos fabricados así de alta y uniformes (procedimiento de fusión Hot-Top, fig. 2.3).

Los mayores lingotes obtenidos por el sistema de colada continua con vertido de agua tienen una sección de 2500x600 mm<sup>2</sup> y se pueden colar en serie de elementos simultáneamente. Una innovación especial supone la colada continua en un campo electromagnético, en que las formas se obtienen mediante fuerzas electromagnéticas, que sin entrar en contacto con las paredes de la coquilla, le dan forma al material extrusionado. Los tochos obtenidos así están exentos de defectos superficiales. La primera aplicación industrial se utilizó para la fabricación de lingotes de laminación.

### **2.3.2.2. Colada continua horizontal**

Supone una modificación del método anterior, de Gautschi-Ugine. La salida de la colada en solidificación es horizontal sobre rodillos guías. Por esta causa de la limitación en su longitud es menor que cuando la salida es vertical; también se puede variar la sección algo más, conforme con la de la coquilla. En máquinas horizontales de este tipo se han podido fundir, entre ellos, conductores anódicos con sección en doble T de 750x400 mm<sup>2</sup> y 9.30 m de longitud con una masa de 383 kg/m. También se puede obtener industrialmente por colada horizontal, desbastes para extrusión.

### **2.3.2.3. Mecanizado de los lingotes**

**Lingotes laminados.** A causa del brusco enfriamiento a que se ven sometidos por la inyección de agua, estos lingotes laminados presentan una superficie solidificada con muchas irregularidades y, con frecuencia, exudaciones debidas a partes estructurales enriquecidas. Se hace preciso, pues, una mecanización. En primer lugar, se despuntan mediante sierras circulares, el comienzo y final del lingote, sobre todo, los macro rechupados externos que se forman en el extremo superior, durante la solidificación. A continuación se cortan, también con sierras circulares, los lingotes conforme a las necesidades. Después del aserrado se elimina, por fresado, la película superficial de colada, hasta una proximidad de 20 mm como máximo. Lo normal es que los cabezales porta-cuchillas usados para este fin rebajen, en las

instalaciones modernas, toda la superficie del lingote una sola pasada con velocidades de corte superiores a 35000 m/min. Los lingotes con menores dimensiones pueden fresarse paralelamente por ambos lados; en las instalaciones modernas para lingotes mayores, se fresa paralelamente cada lado por separado, colocándolos en posición vertical, y por tanto, el plato porta-cuchillas de la fresa trabaja horizontalmente. A causa de la caída del husillo se origina un cierto abombado que favorece la laminación subsiguiente del lingote. En muchos casos, las crestas del lingote también se fresan, ofreciendo, ventajas, con frecuencia, el perfil en forma de tejado.

En este mecanizado, es decisiva la superficie lograda. Las fresas que se usan van provistas de cuchillas de desbaste y dos anchos de acabado que proporcionan rugosidades de  $Rz < 10 < \mu\text{m}$ . Esta condición se ha de cumplir solamente cuando las virutas que se originan se aspiran tan activamente que no entran en contacto con la superficie de lingotes. Después del fresado paralelo, se deben colocar inmediatamente ajustadas y decapadas, sobre los productos que se hayan de usar para fines de plaqueado. Cualquier suciedad, por ejemplo, el simple contacto de las manos con las superficies que deban entrar en contacto, debe evitarse, para conseguir una perfecta soldadura térmica a presión, entre el material soporte y la capa de recubrimiento.

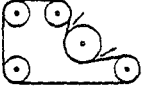
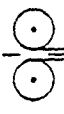
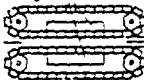

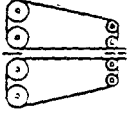
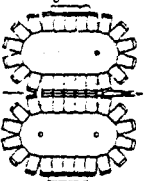

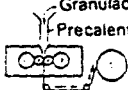
Los lingotes prensados en general, no se mecanizan posteriormente ya que con las técnicas actuales de fundición se obtienen superficies en los lingotes de muy buena calidad; solamente es necesario el aserrado de los extremos. Sin embargo, cuando se transforma en una prensa de trabajo indirecto y la superficie del lingote haya de fluir para transformarse en una prensa de trabajo directo y la superficie del lingote haya de fluir para transformarse en perfil, es inevitable tornearse cuidadosamente el lingote. Los lingotes mecanizados permiten un análisis macroscópico de la estructura. Otros ensayos se habrán de realizar de acuerdo con las necesidades.

### **2.3.3. Bandas, alambres**

La fabricación de bandas y alambres se realiza con procedimientos de trabajo continuo. En ellos se parte de aluminio puro y también, de diversas aleaciones de aluminio fundido, en estado líquido. Se utilizan ruedas o cilindros, respectivamente, y/o bandas u orugas, como elementos conformadores continuos de preformas para alambres o bandas. Colada continua se lamina a continuación directamente, en cilindros calientes o fríos para obtener alambre, banda, chapa o láminas o en otros casos, con vistas a un trabajo posterior, se cortan a medida o se desvanan. Para la fabricación masiva de tubos y cajas se sitúan las maquinas para el corte de discos y las maquinas de extrusión por impacto inmediatamente después de los laminadores, de modo que pueda conseguirse una producción ininterrumpida



**Tabla 2.4 resumen de los procedimientos industriales para la obtención de banda de aluminio fundido**

Procedimiento	Esquema	Anchura máx. mm de banda (hasta ahora)	Espesor típico de vertido	Velocidad de vertido	Producción en kg/h por 1 mm de anchura de banda	Máx. contenido en Mg (en aleaciones AlMg)
Rotary Rigamonti		apr. 500	18 hasta 20	4 hasta 14	apr. 17	2%
Scal Aluisse-Caster I Hunter Engineering		2000	6 hasta 10	0,8 hasta 1,5 <sup>1)</sup>	1 hasta 1,8 <sup>1)</sup>	2,5%
Hunter Douglas	Refrigeración 	610	16	apr. 2,4	apr. 6	3,5%
Laminados de colada Engineering		1675	6 hasta 7	Aluminio puro: 1 hasta 1,2 AlMg2: apr. 0,6	Aluminio puro: apr. 1,1 AlMg2: apr. 0,6	2%
Hazelett		1750	15 hasta 25	5 hasta 9	17 hasta 24	apr. 3%
Aluisse Caster II	Refrigeración 	2000	15 hasta 30	0,5 hasta 10	2 hasta 24	5%
Hunter Engineering (banda liguera de fibra de vidrio) <sup>2)</sup>		1460	apr. 30 hasta 40	apr. 0,5	apr. 2,4	5%
Laminadores de banda de sinterizado Nr. 2 994 102 <sup>3)</sup>	Granulado 950 Precaentador 	950	2 hasta 4 <sup>2)</sup>	20 hasta 80 <sup>2)</sup>	apr. 25	12%

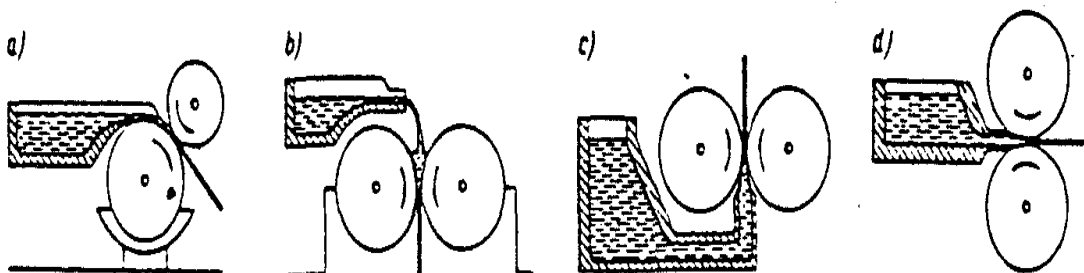
La tabla 2.4 da un resumen de los procedimientos industriales de colada continua de banda así como de sus rendimientos horarios específicos utilizando puro aluminio poco aleado. De los dos procedimientos que se exponen en la tabla 2.4 no se sabe aún que se hayan utilizado industrialmente. En los procedimientos conocidos como el Rotary y Hunter –Douglas existía, hasta hoy, limitación en su anchura a 500 a 600 mm. Los otros cuatro procedimientos pueden designarse como procesos de fusión de banda ancha. El rendimiento horario presenta fuertes

diferencias entre ellos, por lo que los datos son solamente válidos para el aluminio puro. Para aleaciones debe disminuirse la velocidad de fusión según el caso (por ejemplo, con el incremento en el contenido de Mg)

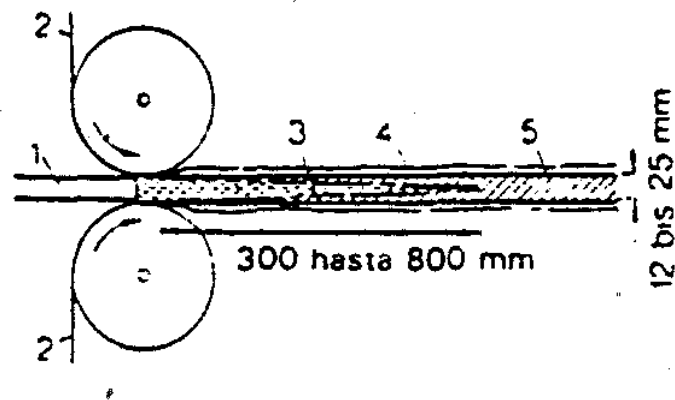
### 2.3.3.1 Laminación de colada

El desarrollo de estos procedimientos de laminación de colada se representa en la fig. 2.4. El proceso se basa en una patente de Bessemer del año 1848 y de su máquina para el acero, de 1857. La primera instalación, de utilidad industrial para el aluminio, fue construida por Hazelett padre. La banda sale entre los cilindros laminadores, perpendicularmente, hacia abajo. La máquina se puso en funcionamiento, a finales de la década de 1930 en EE.UU, por la firma Crown-Cork, para bandas estrechas de aluminio. A partir de 1948 tuvo una gran expansión la máquina de Hunter-Engineering, con salida perpendicular hacia arriba. Francia, hacia 1960 desarrollo Coquillard una instalación de colada continua con alimentación de entrada y salida de banda horizontal.

Instalaciones de este tipo tienen sus antecedentes en Harvey y la Aluminium Ag Suiza (Alsuisse-Caster I). Otras instalaciones análogas, rentables, son las desarrolladas posteriormente por Hunter-Engineering (Super Caster) y SCAL (JUMBO 3C) con capacidades de fusión que alcanzan 1,8 t/h por metro de anchura de banda, para aluminio puro.



**Fig. 2.4 a) hasta d) Desarrollo de los procesos de fusión continua; a) Bessemer 1846, solo patente; b) Hazelett padre 1930 hasta 1940; c) Hunter Engineering desde 1948, (57 instalaciones); d) Scal Alusuisse., entre otras, desde 1960 (65 instalaciones)**



**Fig. 2.5 Fusión en banda según el procedimiento Hazelett; 1 boquilla de alimentación; 2 bandas de acero (de unos 2,5mm de espesor cada una); 3 colada de aluminio; 4 película de agua; 5 banda solidificada**

### **2.3.3.2. Colada entre bandas de acero.**

La antecesora es la máquina Goodall (1874). La máquina Hazelett (ver Tabla 2.4 y Fig. 2.5) produce placas y bandas de grandes longitudes hasta 1750mm (rieles de corriente eléctrica y preformas para planchas, láminas y cajas) el caldo se hace solidificar entre dos bandas finas de acero. La utilización del procedimiento sigue dos direcciones:

- Fundición de planchas con espesor superior a 12mm; cuando se trata de aluminio puro los espesores se hallan entre 15 y 25mm. Después se cortan las planchas y se laminan las partes.
- Fundición en tándem utilizando, una unidad de laminación, como mínimo.

### **2.3.3.3. Colada entre coquillas de oruga sin fin**

El procedimiento Caster II (ver Tabla 2.4) desarrollado por Aluminium – Ag (Alusuisse), Suiza, se produce, análogamente a las instalaciones Hazelett, planchas y bandas de 1750 mm de anchura como mínimo, con espesores entre unos 15 y 30 mm, en grandes longitudes. Este procedimiento es apropiado para gran número de aleaciones (por ejemplo, con contenidos de hasta 5% de Mg), ya que se puede controlar, en un campo muy amplio, la eliminación del calor y, por consiguiente, la velocidad de solidificación mediante enfriamientos, la velocidad de vertido y la superficie de las coquillas, incluso modificando las capas de éstas. Con este procedimiento se pueden obtener aleaciones para envases o tapas de éstos. Las bandas fundidas se pueden cortar y laminar parcialmente. Unidos a una o dos unidades de laminación se pueden conseguir bandas bobinables, de modo continuo, del tamaño que se quiera.

La máquina Hunter –Douglas (ver Tabla 2.4 y Fig 2.7) está limitada actualmente a 610 mm de ancho. El caudal de colada solidifica entre dos bandas de oruga portacoquillas en forma de cadena continua, a cada uno de ellos de cuyos eslabones se refrigera por adentro

### **2.3.3.4. Colada entre rueda o cilindro y banda de acero.**

Se considera como precursores las máquinas de Lyman y Ellacott (1882) así las de Washburn y Daniels (1886). En la tabla 2.4 se incluyen algunos datos orientados de instalaciones de trefilado de alambre y de laminación.

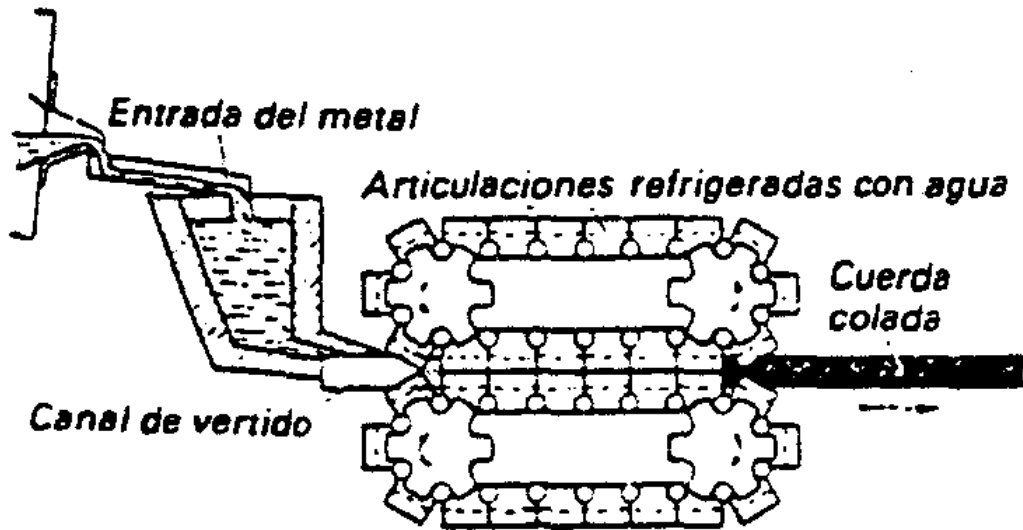


Fig 2.7 Esquema de colada en cuerda horizontal, según Hunter-Douglas

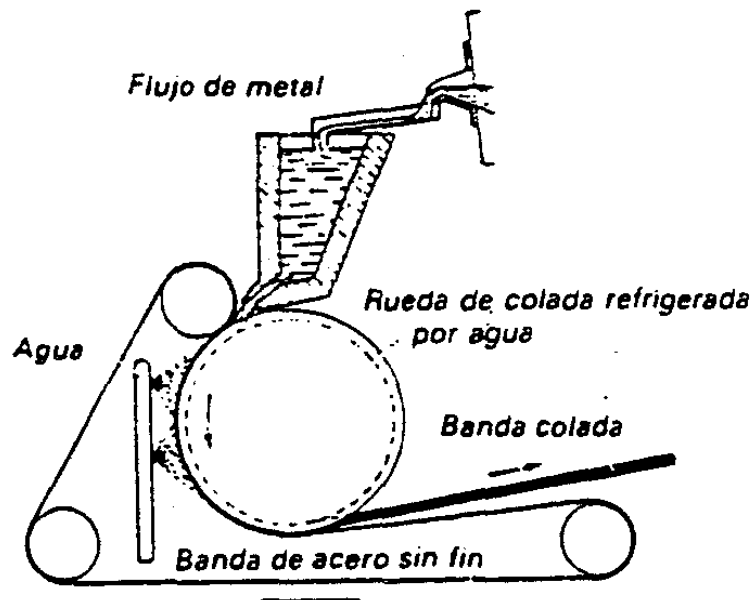


Fig.2.8 Esquema de colada continua en banda en una máquina Rotary

La máquina Properzi posee un canal ranurado en el perímetro de una rueda de colada y una polea de inversión. Los perfiles obtenidos de hasta 3120 mm<sup>2</sup> de sección se trefilan después para convertirlos en alambre.

La maquina Rigamonti (ver tabla 2.4), similar a la máquina Properzi, sirve para la fabricación de bandas de colada de hasta 200mm de

anchura. La velocidad de colada alcanza hasta 14 m/min (para el prefabricado de cajas).

La máquina Rotary (ver Tabla 2.4 y Fig 2.8) es un desarrollo posterior de la máquina Rigamonti primitiva. Incorporándole una polea inversa más la banda de colada sale en dirección horizontal para la fabricación de tubos, cajas, láminas de recubrimientos persianas y evaporadores para frigoríficos

## **CAPITULO III**

### **3. Fusión del aluminio reciclado**

Para la fusión del aluminio reciclado existen una variedad de hornos cuya elección depende de la velocidad de producción, calidad y composición de la chatarra, si el modo de operación es continuo o discontinuo, costo del equipo, vida del refractario y las pérdidas por fusión.

#### **3.1. Tipos de Hornos para la Fusión del Aluminio**

##### **3.1.1. Horno Reverbero**

En los hornos de reverbero el aluminio es calentado directamente por medio de quemadores montado en las paredes del horno, hasta la temperatura de fusión. La transferencia primaria de calor es por radiación desde las paredes del horno y también por convección. Las capacidades de estos hornos llegan hasta 150 toneladas de aluminio líquido. La eficiencia típica de fusión de estos hornos fluctúa entre 15 - 39%. La recuperación puede ayudar a aumentar la eficiencia entre 10 -15% pero aumenta los costos de mantenimiento.

El reverbero proporciona la ventaja de un alto volumen de producción y bajo costos de operación y mantenimiento. La desventaja es la alta oxidación, baja eficiencia y requerimiento de una gran área para el piso del horno.

##### Pre calentamiento de las cucharas

Las cucharas usadas para el acarreo y vaciado del aluminio fundido deben precalentarse para minimizar los choques térmicos y daños al refractario del horno. Los antiguos sistemas de calentado por los ineficientes quemadores han sido reemplazados por unidades cerradas para el precalentamiento de las cucharas en donde se calientan varias cucharas



**Fig. N° 3.1 Horno Reverbero**

### **3.1.2. Hornos de crisol a gas.**

Son hornos de pequeña capacidad y en algunas situaciones se les utilice como hornos de retención. El aluminio es colocado en un crisol cerámico que se encuentra en un horno circular con su quemador a gas. La energía térmica se aplica indirectamente al metal mediante el calentamiento directo del crisol.

La ventaja de este horno es su capacidad para cambiar rápidamente de aleación, bajas pérdidas de oxidación y bajo costos de mantenimiento. Su desventaja es su baja eficiencia (12%) altas emisiones y tamaño limitado de colada.

La eficiencia de la energía puede aumentarse hasta en 50% mediante la adición de una matriz cerámica recuperadora de calor al sistema de extracción de gases para el precalentamiento del aire de combustión.

### **3.1.3. Horno eléctrico de crisol.**

Los hornos eléctricos a crisol son similares a los hornos de crisol a gas con la diferencia que el elemento calefactor es una resistencia eléctrica. Al igual que su contraparte a gas son de pequeña capacidad y se les utiliza cuando se requiere flexibilidad en las aleaciones. Las ventajas de estos hornos son sus pocas emisiones gaseosas y la baja pérdida por oxidación del aluminio. Sus desventajas son los costos de la energía y la limitación del tamaño de la colada.



#### **3.1.4. Horno rotatorio**

El horno rotatorio es utilizado casi exclusivamente para la recuperación de chatarra de aluminio de bajo grado y dross de aluminio. El contenido de aluminio en el dross puede variar entre 35% a 95% y contiene además fundentes y óxidos. El horno rota con su carga de aluminio el que se calienta directamente mediante quemadores o por las paredes del horno calentado por los gases del quemador. La capacidad típica de estos hornos varía entre 2 a 5 toneladas y suele cargárseles con fundentes para mejorar la recuperación y reducir el aluminio que se oxida. La ventaja del horno rotatorio es su capacidad de tratar dross y chatarras de bajo grado que son difíciles de tratar en los otros hornos. La desventaja es su baja eficiencia, mayores costos de mantenimiento y alta generación de residuos sólidos que requieren de adecuados sistemas de disposición segura.

#### **3.1.5. Reverberos Eléctricos**

Se les utilice principalmente como hornos de retención y muy raramente como hornos de fusión. Las resistencias calefactoras se colocan en el techo del horno. Estos hornos están destinados para pequeñas coladas en donde las limitaciones de emisiones, calidad del producto y el rendimiento son la mayor prioridad.

Sus ventajas sobre los refractarios a quemadores son sus bajas emisiones, baja oxidación del metal y reducida limpieza del horno. Entre sus desventajas se incluye sus altos costos de energía, baja producción, mayor costo de capital y frecuente reemplazo de las resistencias calefactores.

#### **3.1.5. Hornos de Torre.**

Los hornos de torre son cargados con aluminio por la cima de una torre vertical, y con los quemadores en el fondo de la torre se funde el aluminio. El modo primario de la transferencia del calor en hornos de torre es por convección por la intrusión directa del quemador en el metal en la sección más baja de la torre, y por los gases de combustión que viajan ellos fuera de la torre después de la carga de metal. Una variación del

horno de torre utiliza un sistema de parrilla que baja el metal por cuatro parrillas, calentando gradualmente la carga por cada parrilla hasta que en la cuarta y parrilla final, la carga se funde y caiga en el hogar.

Las ventajas del horno de torre son la eficacia alta (40-77)% y pérdidas bajas por oxidación. Las desventajas de los hornos de torre son sus costos más altos de capital y el tamaño del horno es restringido por limitaciones de la altura.

### **3.1.6. Horno de Inducción.**

Hay dos tipos de hornos de inducción: de canal y sin núcleo. El horno de canal es usado casi exclusivamente como horno de retención. Los hornos operan a 60 Hz en donde el campo electromagnético calienta el metal entre dos bobinas e induce un flujo de aluminio fundido que sirve para mantener la temperatura uniforme sin necesidad de agitación mecánica alguna. Los hornos sin núcleo calienta el metal a través de una bobina externa primaria. Los hornos sin núcleo son ligeramente menos eficientes que los hornos de canal pero su capacidad de fusión por unidad de área de piso es mucho mayor. Los hornos sin núcleo se utilizan principalmente para fundir chatarra finamente picada en donde son más competitivos en costos con los hornos a gas.

Las ventajas de los hornos de inducción incluyen altas eficiencias de fusión (50 -70)%, bajas emisiones, bajas pérdidas por oxidación, y composiciones químicas uniformes. Las desventajas son su alto costo de capital y alto costo de operación.

### **3.1.7. Horno de Exudación.**

Es un horno de hogar seco para procesar chatarra de aluminio con altos contenidos de hierro y zinc no aleado. La carga se alimenta a un hogar inclinado que es calentado a una temperatura por encima de la temperatura de fusión del zinc pero por debajo de la del aluminio. El zinc que se funde se escurre y se le colecta. Luego la temperatura del horno es aumentada por encima de la temperatura de fusión del aluminio, pero por debajo del hierro. El aluminio fundido es colectado separadamente del zinc quedando el hierro sólido en el horno.

**Tabla 3.1 Eficiencias y capacidades de los hornos**

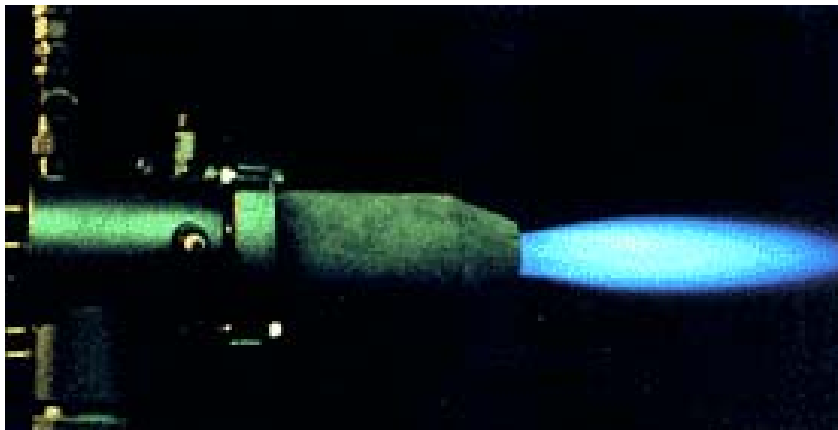
<b>Tipo de horno</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Eficiencia</b>	<b>Pérdida dross</b>
Reverbero	1 a 150 tons	1,300-2,500 Btu/lb	3% - 2%
Rotatorio	2 a 5 tons	> 2,500 Btu/Lb	Alimentación Dross 35-95% Al
Torre	10 tons/hora	1,165-1620 Btu/Lb	< 1.5 %
Crisol gas	< 1 ton	2,000-2,500 Btu/lb	3%
Crisol recuperado	< 1 ton	1,200 Btu/lb	3%
Crisol Eléctrico	< 1 ton	450-550 kWh/ton	2-2.5%
Reverbero eléctrico	< 1 ton	400-500 kWh/ton	1%
Inducción	Hasta 7.5 tons	450-550 kWh/ton	1%

### **3.2. Tecnología de la combustión**

Se describe a continuación los quemadores más usuales para la fusión del aluminio.

#### **3.2.1. Quemador Convencional**

Estos quemadores se usan bien sea para calentar el refractario del horno desde el cual se irradia el calor o para transmitir directamente el calor a través de la llama que impacta a la carga. El impacto directo de la llama aumenta la eficiencia de la transferencia calórica pero también aumenta la pérdida por oxidación



**Fig N° 3.2 Quemador convencional**

#### **3.2.2. Quemador de Inmersión**

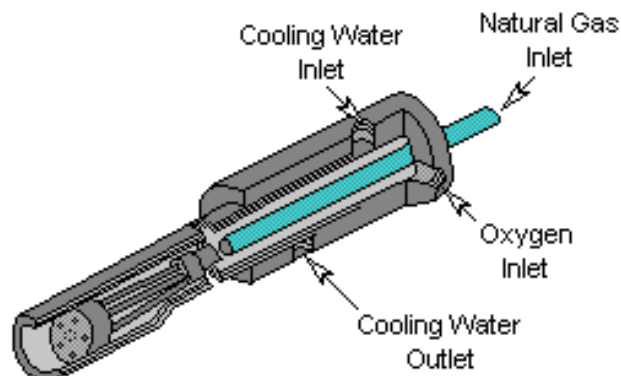
Los quemadores de inmersión se desarrollaron para la fusión del aluminio con éxito limitado. El alojamiento de los quemadores se sumerge en el aluminio fundido y un quemador de pre-mezcla proporciona los gases calientes de combustión que son circulados a través del alojamiento. Los gases de combustión nunca están en contacto con el baño de aluminio, minimizándose la oxidación. El quemador sumergido mejora la transferencia calórica al baño mejorando la eficiencia que puede alcanzar entre 60% a 65%. Se han reportado vida promedio para los tubos de dos meses, con variaciones que van desde dos días a 9 meses.



**Figura N° 3.3 Quemador de Inmersión**

### **3.2.3. Quemador con enriquecimiento de oxígeno**

Reemplazando parte o todo el aire de combustión por oxígeno se incrementa significativamente la temperatura de combustión y disminuyendo el consumo de gas. Como un ejemplo un enriquecimiento del aire con 7% de oxígeno resultó en un incremento en la velocidad de fusión del aluminio en un 27% y una reducción de consumo de gas en un 24%. El enriquecimiento de oxígeno reduce también las emisiones de NOx.



**Figura N° 3.4 Quemador con enriquecimiento de Oxígeno**

#### **3.2.4. Quemadores de tubos radiantes**

Los tubos radiantes no suelen emplearse para la fusión de chatarra. Se les utiliza en situaciones donde se requiere oxidación reducida del aluminio o bajas emisiones. Los gases de combustión se hacen pasar a través de tuberías que es de un material de alta emisión por radiación. La combustión y los gases de combustión están contenidas dentro de tuberías internas a las tuberías externas de radiación y nunca están en contacto con el baño de aluminio.



**Figura N° 3.5 Quemadores de tubos radiantes**

### 3.3 Procesos de moldeo del aluminio

El aluminio es uno de los pocos metales que pueden ser moldeados por todos los métodos de fundición conocidos. Estos métodos son siguiendo en orden de tonelaje producido como sigue:

- Moldeo inyectado,
- Molde permanente
- Moldeo en arena (arena verde y arena cocida)
- Moldeo en molde de yeso
- Moldeo de precisión o a la cera perdida (Investment casting).
- Colada continua
- Otros procesos: Espuma perdida, moldeo pastoso y presión isostática caliente.

#### 3.3.1. Factores de Selección.

Existen muchos factores que hay que tener en cuenta en la selección del método de colada pero entre los mas importantes se señalan los siguientes:

- Factibilidad y costo
- Factores de calidad.

##### **Factibilidad.**

En muchas aleaciones de aluminio las dimensiones y las características de diseño son los que automáticamente definen el método de colada. Debido a que los moldes metálicos pesan se 10 a 100 veces el peso de la pieza colada mucho de las grandes piezas de aluminio se hace en molde de arena en vez de moldes permanentes. Las piezas pequeñas suelen hacerse en moldes metálicos para asegurar exactitud dimensional.

##### **Factores de Calidad.**

En coladas la calidad está referida tanto al grado de solidez (libre de porosidades, grietas e imperfecciones superficiales) de la pieza colada así como a las propiedades mecánicas obtenidas (resistencia y ductilidad). Sin embargo cabe mencionarse que en las coladas inyectadas si bien la velocidad de enfriamiento es muy rápida el aire tiende a quedar atrapado en la colada produciendo cantidades apreciables de porosidades en el centro. Aunque se han hecho muchas investigaciones al respecto para reducir la porosidad el problema no se ha eliminado completamente. Las piezas inyectadas suelen resultar menos resistentes y menos sólidas que las

moldeadas por gravedad en moldes permanentes a pesar de su menor velocidad de enfriamiento.

### 3.3.2. Descripción de los métodos de moldeo

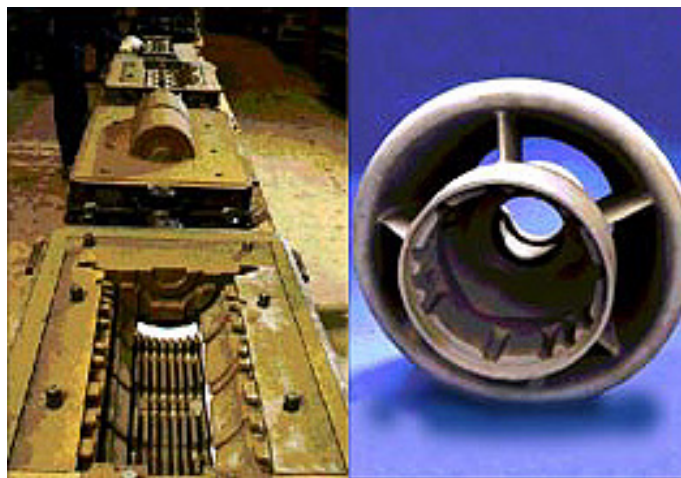
#### 3.3.2.1. Moldeo en Arena

En este tipo de moldeo se emplea modelos permanentes reutilizables para hacer los moldes en arena. La preparación y los aglomerantes son las etapas críticas y controlantes en el proceso de moldeo en arena. Existen dos tipos de moldeo en arena:

Moldes de arena verde que consiste de una mezcla de arena, arcilla y agua.

Moldes de arena cocida que consiste de arena, aglomerantes sintéticos curados térmicamente o químicamente.

La arena para los núcleos o partes internas huecas utiliza arena cocida. Esta técnica es versátil y se emplea generalmente para producción de gran volumen. **(Figura N° 3.6)**



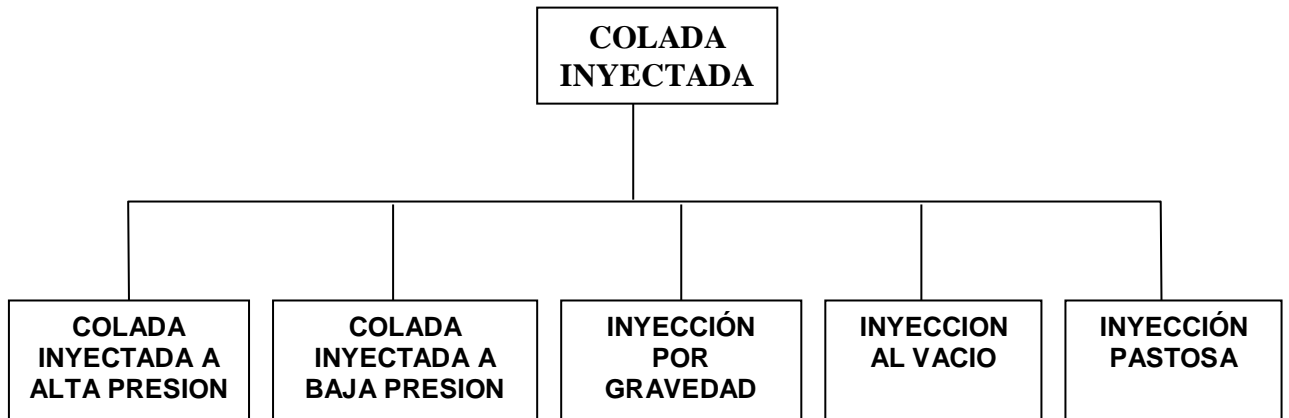
**Figura 3.6 Molde partido con núcleo y un ejemplo de una toma de aire para un turbo cargador colada**

#### 3.3.2.2. Moldeo Inyectado

En esta técnica, el molde que es reutilizable está hecho de hierro fundido o acero. Existen diversos métodos de moldeo inyectado como se resume en el diagrama de la **figura 3.7** el moldeo inyectado a alta presión es la mas utilizada representando alrededor del 50% del total de la producción de aleaciones ligeras, el moldeo a baja presión es alrededor del 20% y



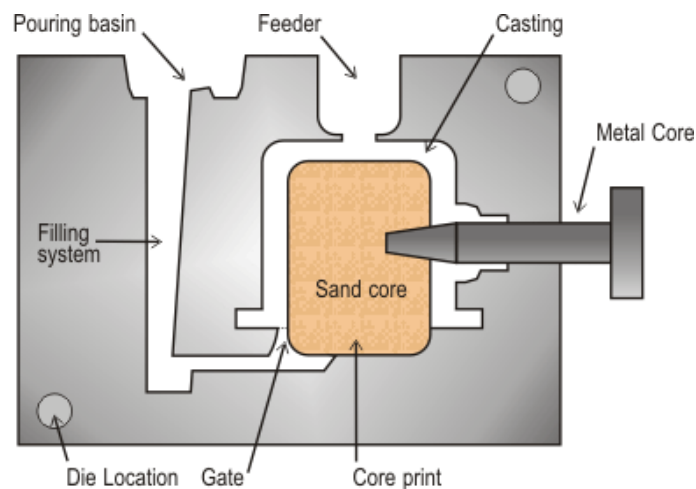
va en aumento y el moldeo inyectado por gravedad es el remanente. Una pequeña cantidad por su reciente introducción viene dada por el moldeo en vacío y el moldeo pastoso.



**Figura 3.7 Clasificación de los métodos de colada inyectada**

### 3.3.2.3. Moldeo inyectado por gravedad

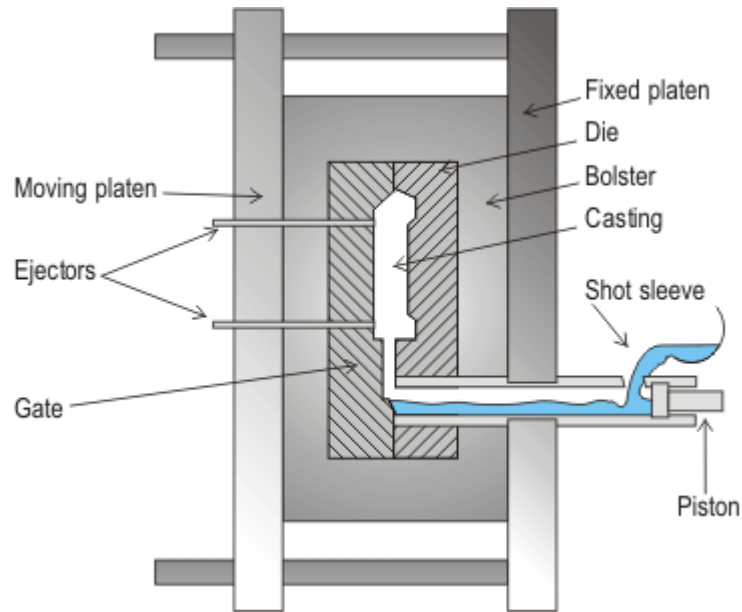
El esquema de la figura 3.8 muestra las principales características del moldeo inyectado por gravedad. La parte no metálica del molde viene dado por el núcleo del molde generalmente es arena con aglomerante. Este método es adecuado para la producción en masa y es por lo tanto completamente automatizable.



**Figura 3.8 Vista esquemática de los componentes de una colada en matriz por gravedad.**

### 3.3.2.4. Moldeo Inyectado a Alta Presión

En este método el metal líquido se inyecta dentro del molde a alta velocidad y a alta presión, como se esquematiza en la **figura 3.3.2.4.**



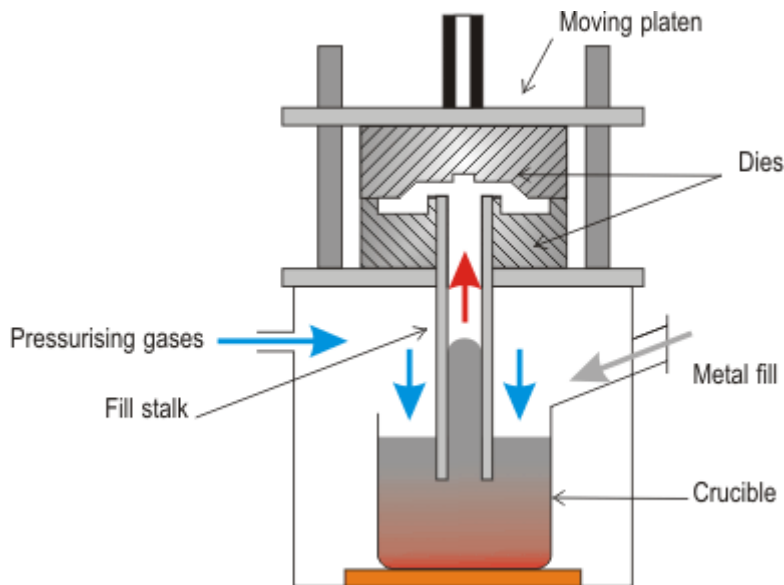
**Figura 3.9 Vista esquemática de una colada en matriz a alta presión**

Este equipo consiste en dos placas verticales en las cuales se sostienen las dos mitades del molde. Una placa es fija y el otro puede moverse para poder la matriz abrirse y cerrarse. Una cantidad medida de metal se vierte en un alimentador con el que se introduce en la cavidad del molde usando un pistón hidráulico. Una vez que haya solidificado el metal, se abre la matriz y se retira la pieza fundida.

En este proceso, también se deben tomar precauciones especiales para evitar muchas inclusiones del gas que causen ampollas durante el subsecuente tratamiento térmico o soldadura del producto de pieza fundido. Tanto la máquina como las matrices son muy costosas, y por esta razón la colada inyectada es económica solo para altos volúmenes de producción.

### 3.3.2.5. Moldeo inyectado a baja presión

Es esquematizado en la **figura 3.10**, la matriz se llena de un crisol por un presurizado bajo, y presiones hasta 0.7 bar son usados. Colada en matriz a baja presión satisface especialmente la producción de componentes que son simétricos sobre un eje de la rotación. Las ruedas automotoras ligeras son fabricadas normalmente por esta técnica.



**Figura 3.10 Vista esquemática de una colada en matriz a baja presión.**

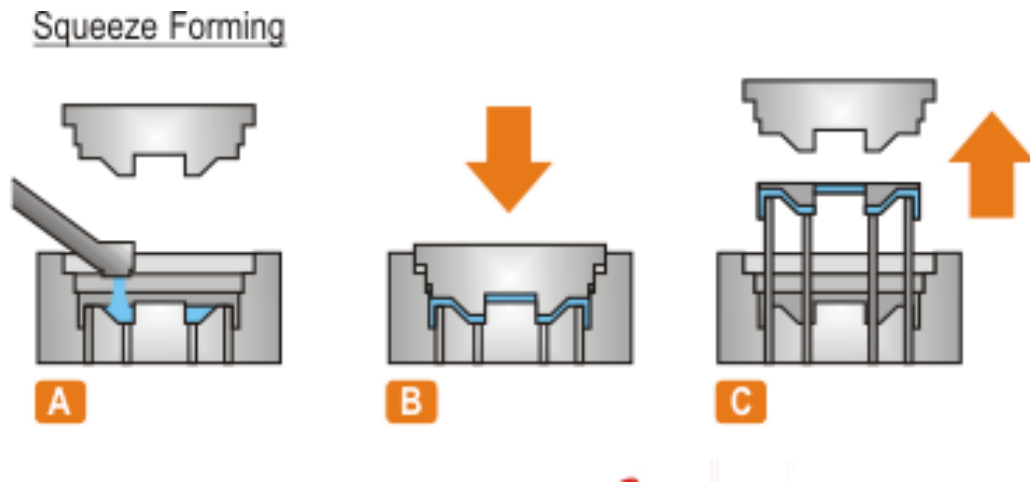
### 3.3.2.6. Moldeo Inyectado en Vacío

El principio es el mismo que el de la colada a baja presión en matriz. Mediante una bomba de vacío se disminuye la diferencia de presión dentro de la matriz y por consiguiente la fuerza para introducir el metal líquido. Este vaciado es menos turbulento que los otros métodos de manera que se disminuye las inclusiones gaseosas. En consecuencia esta técnica es muy adecuada para piezas que van a ser posteriormente tratadas térmicamente.

### 3.3.2.7. Moldeo pastoso o exprimido

Según se muestra en la **figura 3.11**, el metal líquido es introducido dentro de una matriz abierta, la que luego se cierra como si fuese una matriz de forja. Durante las etapas finales del encierro, el líquido se

desplaza en las partes posteriores de la matriz. No se requiere que el material posea una gran fluidez del líquido, puesto que los desplazamientos son pequeños. Así las aleaciones forjadas, que tienen generalmente una pobre fluidez, se pueden colar por este proceso.



**Figura 3.11 Principio de la colada pastosa**

Esta técnica es especialmente adecuada para la fabricación de piezas coladas de fibra reforzada partir de una torta de fibra preformada en donde exprime el aluminio líquido para infiltrar el objeto semi-trabajado. El moldeo consiste en vaciar el metal líquido en el molde inferior de metal y luego presionarlo con el molde superior de manera que el metal en estado pastoso es obligado a llenar toda la cavidad del molde. Los moldeos Los métodos convencionales de moldeo aplicados a formas complejas producen a menudo contracciones indeseables por porosidades los que afectan adversamente a las propiedades de impacto e incluso a la integridad de las piezas. La contracción por porosidad se origina cuando una parte del material empieza a contraerse durante la solidificación a lo largo de la superficie externa dejando bolsas de aire (referidos como vacíos) atrapados en el centro de la pieza. Si los vacíos no son llenados de metal terminan convirtiéndose en poros. El moldeo pastoso que generalmente implica bajas temperaturas, baja velocidad y menos turbulencia en la inyección del metal reduce la aparición de porosidades.

### **3.3.2.8. Prensado Isostático Caliente**

Mediante técnicas de moldeo a presión incluyendo el moldeo thixotrópico no se puede prevenir la contracción por porosidad especialmente en secciones gruesas. En tales casos pueden utilizarse procedimiento de post-moldeo de alta presión y temperatura para eliminar las porosidades internas. Esta técnica de colada-forjada pueden aplicarse por cortos periodos de tiempo usando como medio sales líquidas

En la técnica de prensado isostático caliente el moldeo se realiza a altas temperaturas bajo atmósfera inerte. El equipo de moldeo consiste de un horno típicamente de molibdeno que opera por encima de los 1300oC conteniendo argon bajo. Este método de fabricación además de reducir porosidades mejora la densidad, las propiedades mecánicas así como su trabajabilidad.

La presión de trabajo del argon varía entre 15,000 p.s.i. (103 MPa) y 45,000 p.s.i. (310 MPa). El rango de temperatura de operación de los hornos oscila entre los 480°C para el aluminio hasta 2,000°C para las superaleaciones a base de níquel. La aplicación simultánea de altas temperaturas y presiones eliminan los vacíos y la micro porosidades a través de mecanismos de deformación plástica, fluencia lenta y difusión.

## CAPITULO IV

### 4. Principios de la laminación del aluminio

#### 4.1. Propósitos de la Laminación

- Romper la estructura de colada
- Homogenización de la composición y la estructura
- Reducción de tamaño de los lingotes y palanquillas.
- Obtención de dimensiones, acabados superficiales, estructuras y propiedades según especificaciones.

#### 4.2. Equipos de Laminación

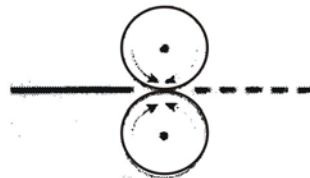
Para la laminación del aluminio secundario las laminadoras empleadas son del tipo plano, cuya clasificación puede hacerse bajo múltiples criterios. Por ejemplo teniendo en cuenta el número de cilindros y su disposición dentro de la laminadora se puede hacer la siguiente clasificación:

Laminadoras dúo o two high mill (ver figura No 4.1)

Laminadoras trío o three high mill (ver figura N° 4.2)

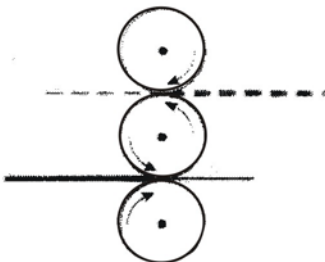
Laminadoras cuarto o four high mill (ver figura N°4.3)

Laminadoras múltiples (ver figuras N° 4.4 y 4.5)



**Duo reversible**

**Figura N°4.1**



**Trio con mesa de inversión**

**Figura N°4.2**

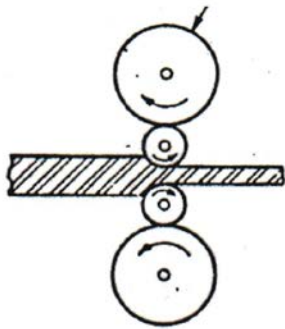


Figura N°4.3

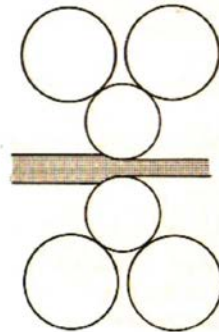


Figura N°4.4

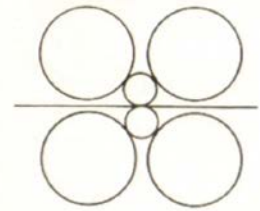


Figura N°4.5

Entre las laminadoras múltiples merece señalarse las laminadoras tipo planetario (figura N° 4.6) y los laminadores Sendzimir muy adecuadas para materiales duros y para reducción de espesores muy finos.

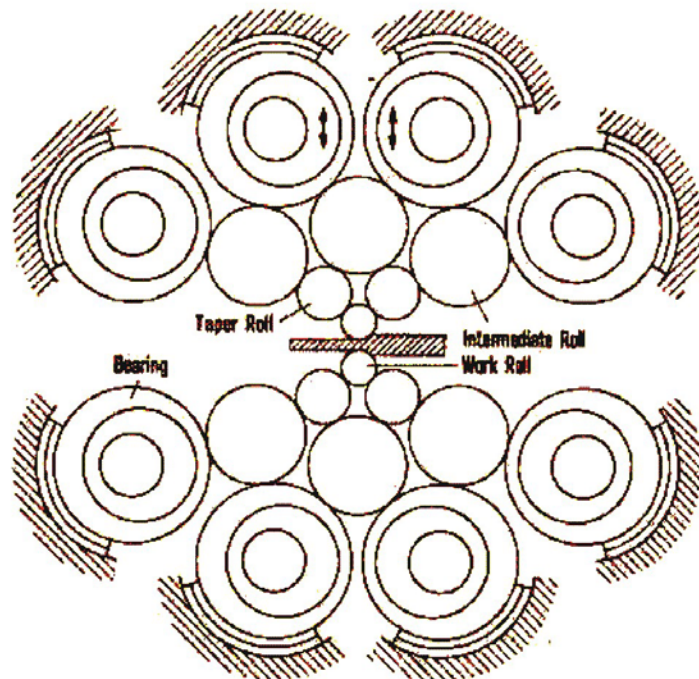


Figura N°4.6

#### 4.2.1. Características principales de una laminadora para desbaste de aluminio

La primera transformación que sufre el aluminio después de su solidificación es la laminación de desbaste mediante la cual los lingotes o las palanquillas se transforman en productos semielaborados que constituyen la materia prima para los posteriores procesos de laminación u otros procesos de manufactura.

En la figura No 4.7 se muestran algunas características básicas de una laminadora duo para el desbaste del aluminio

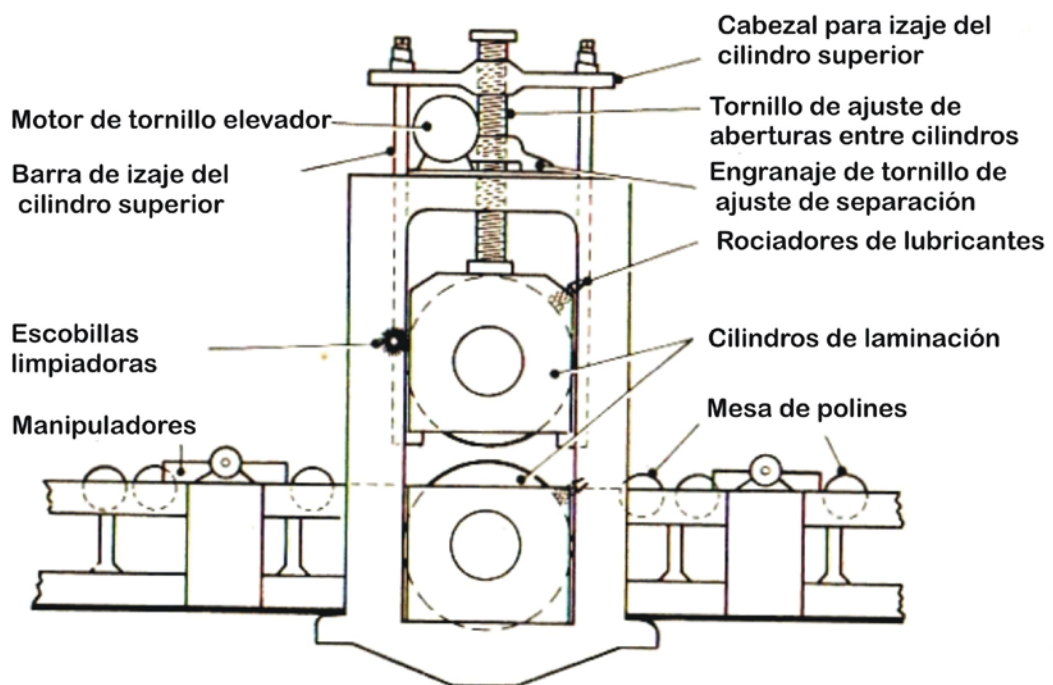


Figura N°4.7 Laminadora duo para desbaste de aluminio

#### 4.2.2. Trenes de Laminación

Las laminadoras pueden clasificarse también en función a su distribución dentro de la planta de laminación. Para el caso del aluminio merece señalarse los denominados trenes de laminación, en donde las laminadoras están dispuestas una a continuación de otra. Cuando la laminación se realiza de manera independiente en cada laminadora entonces tenemos los denominados trenes abiertos. Por el contrario si el material es laminado simultáneamente por las



laminadoras entonces se tiene un tren cerrado como se representa en el tandem laminador de la figura No 4.8

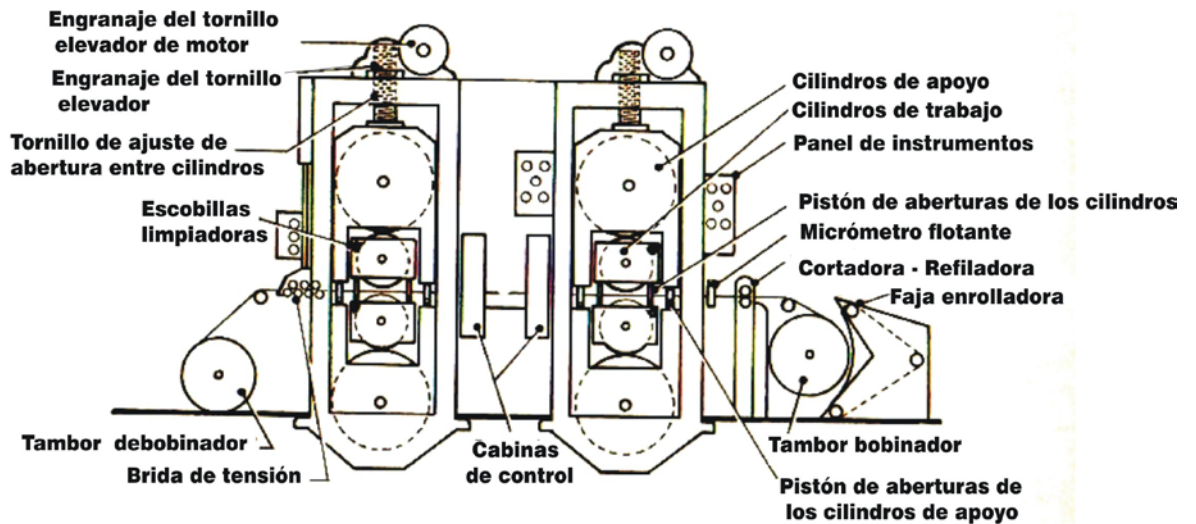


Figura N°4.8 Tandem de laminador cuarto

### 4.3. Definiciones

#### Rebaje:

Está referido a la variación del espesor medido en dirección perpendicular al eje de los cilindros. Si  $h_o$ : espesor inicial y  $h_f$ : espesor final, entonces

Rebaje absoluto:  $h_o - h_f$

Rebaje relativo (%):  $(h_o - h_f) / h_o$

Grado de recalado:  $f_h : h_f / h_o$

#### Ensanchamiento:

Si  $w_o$ : ancho inicial y  $w_f$ : ancho final se puede definir

Ensanchamiento absoluto  $\Delta w$ :  $w_f - w_o$

%ensanchamiento  $:(w_f - w_o) / w_o$

Factor de ensanchamiento  $f_w$ :  $w_f / w_o$

**Plano de laminación:** es el plano perpendicular al eje de los cilindros de laminación

**Área de contacto:** Es la interfase material/cilindro de laminación

**Arco de contacto:** Intersección del área de contacto con el plano de laminación.

**Calibre o abertura:** Es la distancia de separación entre los cilindros de trabajo

**Ángulo de contacto:** Es el ángulo  $\alpha$  subtendido por los radios entre el punto de entrada y el punto de salida del lingote.

**Carga de laminación (P):** Es la fuerza que verticalmente aplican los cilindros de laminación sobre el material.

**Fuerza de separación:** Es la fuerza que verticalmente ejerce el material sobre los cilindros. Es de la misma magnitud pero con signo opuesto a la carga de laminación.

**Presión específica (p):** Se define como una carga por unidad de superficie que actúa radialmente en la superficie de contacto

#### 4.4. Factores Importantes

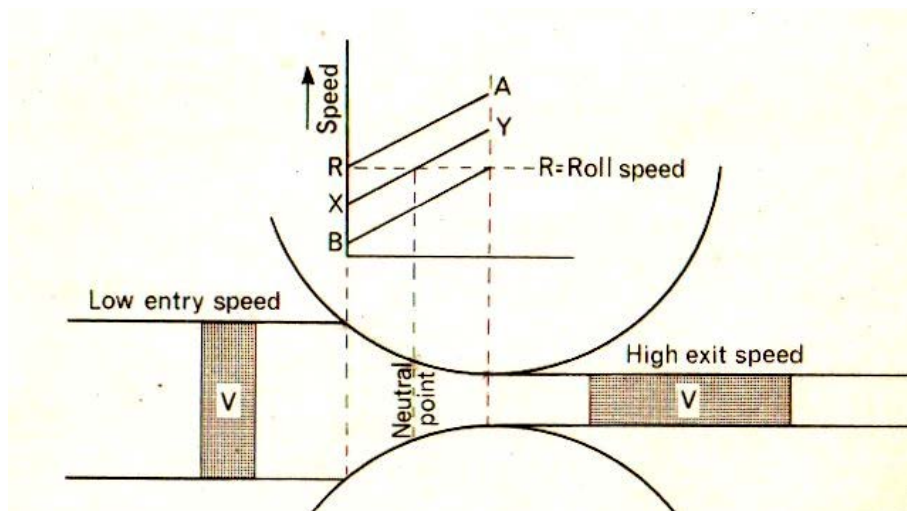
##### 4.4.1. Punto neutro o punto de no deslizamiento

Se asume que la laminación es incompresible de manera que si  $v_e$  es la velocidad de entrada y  $h_e$  es el espesor del lingote a la entrada de la laminadora y  $v_s$  la velocidad a la salida y  $h_s$  es el espesor del lingote a la salida entonces como el estado de deformación en la laminación es plana.

$$v_e x h_e = v_s x h_s. \dots\dots\dots (4.1)$$

como  $h_e > h_s$ , entonces  $v_e < v_s$ .

A lo largo del arco de contacto el espesor disminuye gradualmente y por consiguiente la velocidad en cada punto del arco de contacto se incrementa. En la laminación la velocidad de rotación de los cilindros es constante y si en el punto de entrada el punto del arco de contacto se moviese a la misma velocidad que el cilindro (punto R de la figura N°4.9) entonces en el punto de salida la velocidad en el arco de contacto es mayor (punto A). Por el contrario si en el punto de salida del arco de contacto la velocidad es la misma que la del cilindro entonces la velocidad en el arco de contacto a la entrada es menor (punto B). En la práctica la velocidad en el punto de entrada del arco de contacto es menor que la velocidad periférica del cilindro (punto X de la figura N°4.9) de manera que la velocidad se incrementa según la línea XY existiendo un punto intermedio en donde la velocidad del arco de contacto es igual a la velocidad del cilindro. Tal punto se le denomina punto neutro.



**Figura N°4.9 Variación de la velocidad con que se desplaza el arco de contacto**

#### 4.4.2. Ganancia de velocidad o efecto de extrusión; Deslizamiento hacia delante

A la salida de la laminadora la velocidad lineal del lingote  $v_s$  es mayor que la velocidad periférica de los cilindros  $v$ . Se define:

$$\text{Ganancia de velocidad o efecto de extrusión} = v_s - v \quad \dots (2)$$

$$\text{Deslizamiento hacia delante} = \frac{v_e - v}{v} \quad \dots (3)$$

**Fuerza de fricción:** Es la fricción que actúa en la superficie de contacto entre los cilindros y el material que se lamina. Su sentido depende de la velocidad con que se mueve la línea del arco de contacto respecto a la velocidad periférica de los cilindros. Entre el punto de entrada y el punto neutro la fuerza de fricción actúa en la misma dirección de la rotación de los cilindros. Entre el punto de salida y el punto neutro la fuerza de fricción actúa en dirección opuesta a la de la rotación de los cilindros.

#### Esfuerzos en un cilindro de laminación

En un cilindro de laminación existen esfuerzos de flexión y esfuerzos de corte así como momentos flectores. En adición hay que tomar en cuenta las concentraciones de esfuerzos en la unión entre el cilindro y el cuello del cilindro así como los esfuerzos de fatiga.

Si tomamos como referencia un sistema cartesiano  $X_1X_2X_3$ , en donde el eje de la laminadora es colineal con el eje  $X_3$ . Y a lo largo de dichos ejes orientamos los esfuerzos principales  $\sigma_1\sigma_2\sigma_3$ , entonces se pueden identificar a las cargas mencionadas como

$\sigma_1$  = carga axial

$\sigma_2$  = esfuerzo de corte en el plano  $X_2X_3$

$\sigma_3$  = esfuerzo de corte en el plano  $X_1X_3$

$\sigma_4$  = momento de torque en torno al eje  $X_1$

$\sigma_5$  = momento flector en torno al eje  $X_2$

$\sigma_6$  = momento flector en torno al eje  $X_3$

**Concentración de esfuerzos.**

La existencia de cambios de secciones en el cilindro de laminación produce concentraciones de esfuerzos que suelen expresarse en función de  $r/d$ , siendo r el radio de curvatura y d el diámetro del cuello del cilindro.

**Fatiga**

Debido a la deflexión del cilindro de laminación se crean esfuerzos de tracción-compresión cuyos signos cambian al cambio de media revolución del cilindro. Así mismo en la superficie de contacto debido a la fricción con el lingote se genera calor que se disipa al alejarse del punto de salida y aproximarse a la zona de los rociadores para luego reingresar a la superficie de contacto

**4.4.3. Presión específica en la laminación plana fría con tensión a la entrada y a la salida**

Presión específica a la salida con tensión aplicada  $0 \leq \theta \leq \theta_N$

$$\frac{p}{S} = -\frac{h}{h_s} \left(1 - \frac{t_s}{S}\right) e^{\mu H} \dots\dots\dots (4)$$

Presión específica a la entrada con tensión  $\theta_N \leq \theta \leq \alpha$

En donde 
$$\frac{p}{S} = -\frac{h}{h_e} \left(1 - \frac{t_e}{S}\right) e^{-\mu(H-H_\alpha)} \dots\dots\dots (5)$$

- $h_e$  = espesor a la entrada
- $h_f$  = espesor a la salida
- $h$  = espesor en un punto del arco de contacto
- $t_e$  = tensión a la entrada
- $t_s$  = espesor a la salida
- $S$  = límite elástico en un estado plano de deformación

$$H = 2 \sqrt{\frac{R}{h_s}} \operatorname{tg}^{-1} \left( \theta \sqrt{\frac{R}{h_s}} \right) \dots\dots\dots (6)$$

$$H\alpha = 2\sqrt{\frac{R}{h_s}} \operatorname{tg}^{-1}\left(\alpha\sqrt{\frac{R}{h_s}}\right) \dots\dots\dots (7)$$

**CARGA DE LAMINACIÓN P**

$$\frac{P}{w} = R \int_0^{\theta_n} p d\theta + \int_{\theta_n}^{\alpha} p d\theta \dots\dots\dots (8)$$

Siendo **w** el ancho de la plancha

Las ecuaciones (3) y (4) explican porque la rugosidad de los cilindros o de la superficie de la plancha aumenta la carga de laminación por el aumento del coeficiente de fricción  $\mu$  y que la misma se reduce mediante la lubricación. Igualmente se explica el aumento de la carga de laminación con el aumento del ángulo de mordido. Otros factores que hay que considerar por no ser tan evidentes en las ecuaciones mencionadas son

- La dureza del metal
- El tamaño del la región de flujo restringido que a su vez depende del arco de contacto.
- La separación de las regiones de flujo restringido que determina la cantidad de flujo libre durante la laminación.

**4.4.4. Factores que afectan el espesor de la plancha laminada**

**4.4.4.1. Calibre o separación de los cilindros**

El espesor de laminación no necesariamente corresponde al calibre entre los cilindros. De un lado tenemos que al deformarse un material existe una componente elástica que se recupera a la salida de la laminadora. De otro lado la separación entre los cilindros se ve afectada por el juego, excentricidad, luz, etc. que existe en todas las partes de la laminadora que soporta a los cilindros, así como la deflexión y achatamiento de los cilindros y la deformación que experimenta toda la estructura de la laminadora. La reducción de la

resistencia del material así como la disminución de la fricción aumenta el torque disponible para la reducción del espesor.

#### **4.4.4.2. Tensión aplicada a la entrada y/o a la salida de la laminadora.**

Aplicando tensión a la entrada y/o a la salida de la laminadora se reduce la carga específica de laminación según las ecuaciones (3) y (4) y por lo tanto la carga de laminación. Otras ventajas de aplicar tensiones durante la laminación es que el espesor a lo largo de la lámina es más uniforme y se consigue un producto más plano.

En el caso de un tandem de dos laminadoras, si se aumentara la separación entre los cilindros de la segunda laminadora el espesor del producto laminado aumenta y si no se modificara la velocidad de laminación entonces por la segunda laminadora pasa más material por unidad de tiempo lo que provoca un aumento de tensión a la salida de la primera laminadora. El efecto opuesto se produce si se reduce el espesor de laminado de la segunda laminadora sin modificar la velocidad de laminado. Este análisis es válido para la primera laminadora.

#### **4.4.4.3. Espesor de entrada**

Para un mismo calibre de separación de los cilindros, el espesor de la plancha laminada aumenta si se aumenta el espesor de entrada de la plancha. Esto es consecuencia del aumento del ángulo de contacto en la ecuación (6) desde que se aumenta la fuerza de separación. En consecuencia una plancha con irregularidades en su espesor afectará la calidad del espesor del producto laminado.

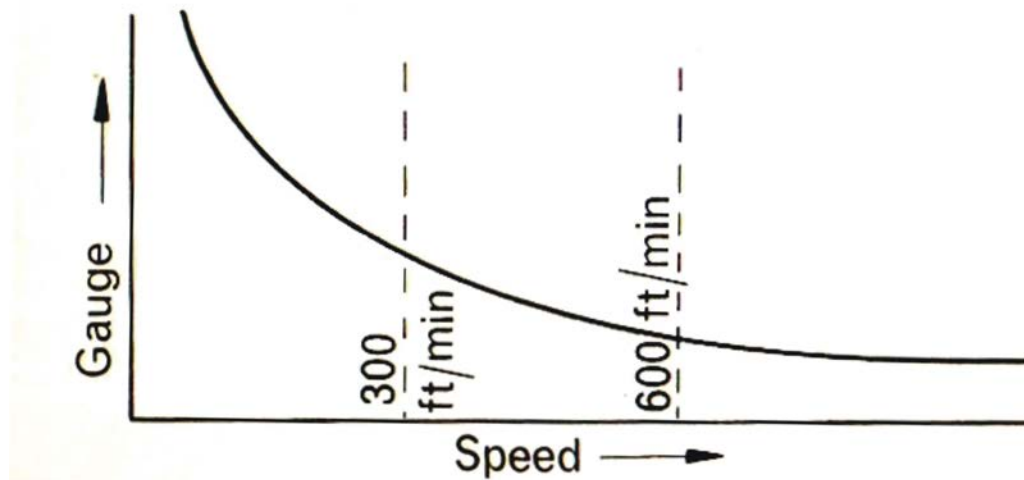
#### **4.4.4.4. Dureza del material**

Una plancha con dureza heterogénea se traduce en un producto laminado con espesores irregulares. Esto es típico de una plancha caliente que es alimentada mediante mesas de polines. En los puntos de contacto de la plancha caliente con los polines se generan puntos fríos en la plancha en donde el espesor después de la laminación es

mayor que en los puntos calientes, generándose fluctuaciones en el espesor a lo largo de la plancha laminada.

#### 4.4.4.5. Velocidad del cilindro laminador

Incrementando la velocidad de los cilindros de laminación trae como efecto en una disminución en el espesor de laminación (figura N°4.10), pero este efecto va decreciendo con el aumento de la velocidad.



**Figura N°4.10 Efecto de la velocidad del cilindro sobre el espesor de laminación**

**Como explicación de este efecto se ha señalado:**

1. El incremento de velocidad permite un mayor ingreso de lubricante en el momento de la mordida del material que aumenta el espesor de la película de lubricante con una disminución en el calibre de separación. Esta extra lubricación disminuye la fricción lo que permite que se disponga de un mayor torque para la reducción del espesor.
2. El aumento de la velocidad espesa de aceite el líquido lubricante lo que disminuye efectivamente el calibre de separación.
3. El coeficiente de fricción disminuye con la velocidad
4. La resistencia a la deformación disminuye porque el incremento de la velocidad de los cilindros incrementa la temperatura.



5. El área de contacto disminuye con la velocidad de manera que aumenta la presión específica y por consiguiente también la reducción del espesor.

**4.4.4.6. Deflexión del cilindro de laminación debido a los esfuerzos.**

Como consecuencia de los esfuerzos de flexión y de corte tanto el cilindro como el cuello experimentan deflexiones. Descontando la deflexión del cuello se designamos por  $y_f$  la deflexión o flecha de flexión del cilindro producido por los esfuerzos de flexión y por  $y_s$  la deflexión o flecha de flexión del cilindro producido por los esfuerzos de corte

$$y_f = \frac{P}{384 * E * I_D} \left[ 8(3L^2 - b^2)(x - n) - 32(x^3 - n^3) + \frac{(2x - L + b)^4}{b} \right] \dots (9)$$

$$y_s = \frac{P}{2\pi G D^2} \left[ \frac{4x(L - x) - (L - b)^2 - 4 * b * n}{b} \right] \dots (10)$$

L = longitud del cilindro + longitud del cuello

n = (longitud del cuello)/2

b = ancho del lingote

x = distancia a lo largo del cilindro tomando

P = carga total sobre los cilindros

E = módulo de elasticidad del cilindro

G = módulo de corte del cilindro

D = diámetro del cilindro

$$I_D = \frac{\pi D^4}{64}$$

#### 4.4.4.7. Barrilamiento de los cilindros

Para compensar la deflexión de los cilindros por los esfuerzos de flexión y de corte y también por el calentamiento por fricción (figura No 10) suele darse a los cilindros la forma de un barril (figura No 11)

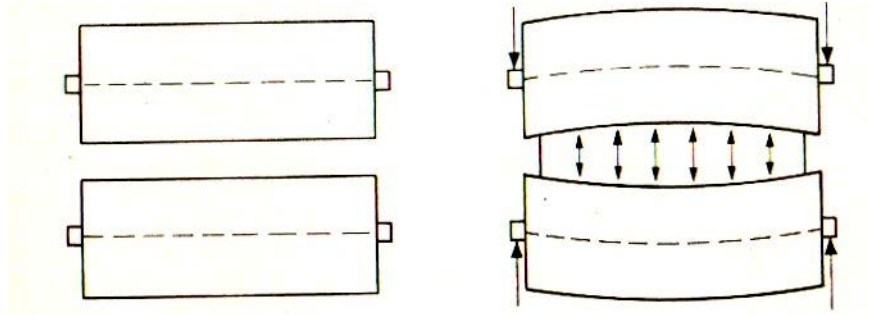


Figura N°4.11 Deflexión de los cilindros de laminación

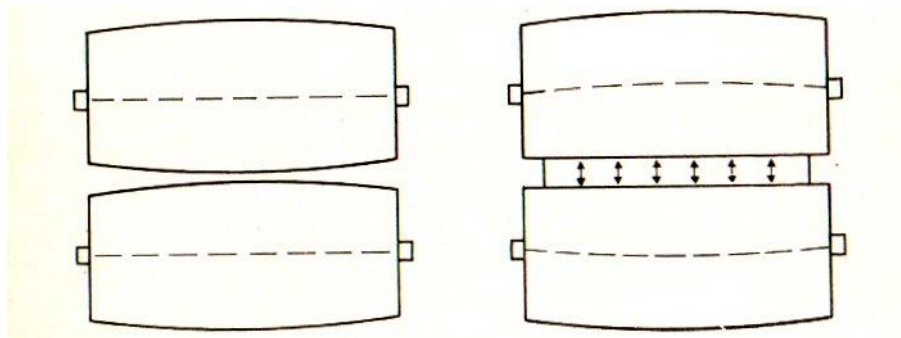


Figura N°4.12 Barrilamiento de un cilindro

Sin embargo durante la laminación la deflexión puede ser menor o mayor que el barrilamiento del cilindro produciendo sobre el espesor de la plancha un efecto positivo o negativo (figura N°13)

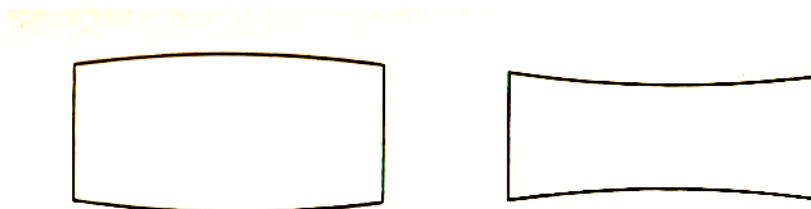


Figura N°13. Efecto positivo (izquierda) y efecto negativo (derecha) del barrilamiento

#### 4.4.4.8. Dilatación de los cilindros.

En la laminación fría se produce el calentamiento de los cilindros por la fricción existente entre el material y los cilindros. El calor que se disipa en parte por conducción hacia los extremos fríos de los cilindros (figura N°4.14) y por la aplicación del lubricante, se va acumulando produciendo una dilatación en sentido radial de manera que el cilindro se barrila. Esta deformación se adiciona a la deflexión producida en los cilindros por los esfuerzos. El barrilamiento térmico es afectado por la posición de los rociadores del lubricante.

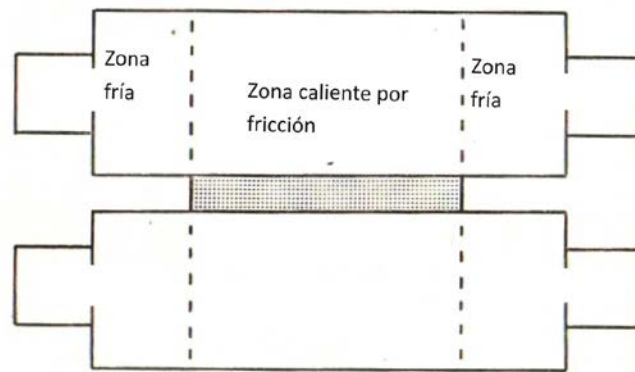
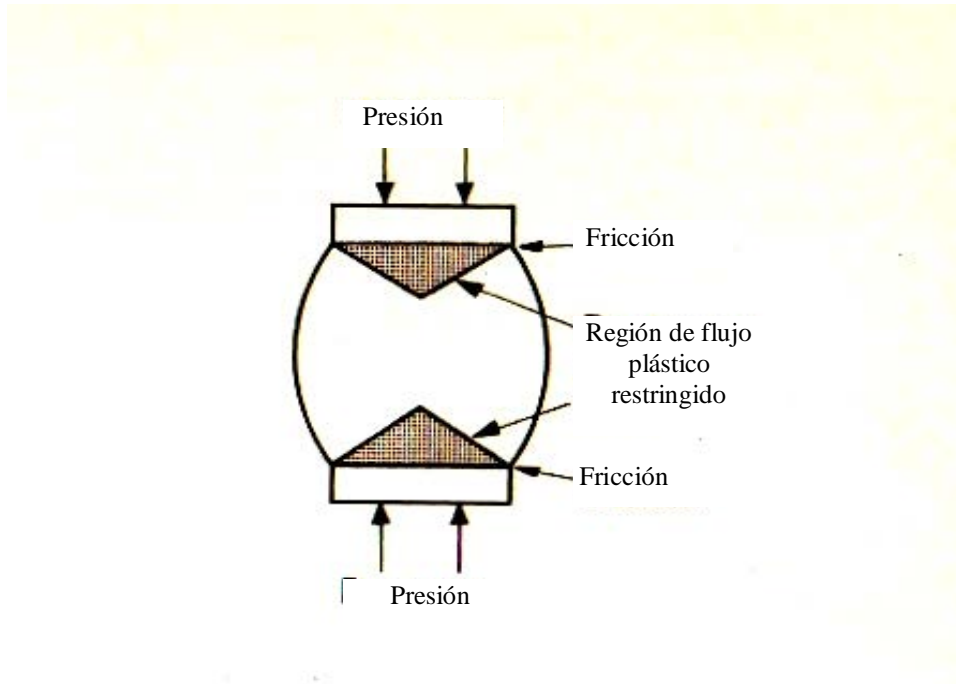


Figura N°4.14 Calentamiento de los cilindros por fricción

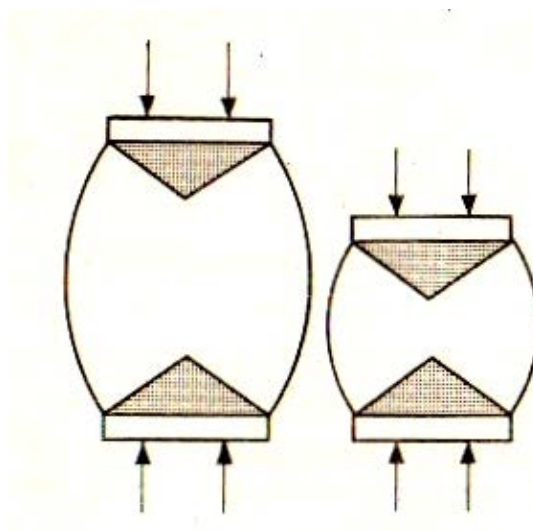
#### 4.4.4.9. Flujo restringido en compresión plana

Se sabe que los esfuerzos de corte máximo se encuentran en planos diagonales a las direcciones principales, esto es, ángulos diedros a  $45^\circ$ . En un ensayo de compresión bajo condiciones de deformación plana los planos mencionados definen regiones de flujo restringido como se muestra en la compresión de una muestra cilíndrica (figura N°4.15). Cuando se comprime el cilindro su diámetro no se incrementa uniformemente sino que desarrolla la forma de un barril. Esto es debido a que la fricción que existe entre la placa compresora y el material restringe el flujo del material. Este flujo restringido va disminuyendo conforme se aleja de la placa compresora de manera que en la parte central el material puede fluir sin mayores restricciones con el resultado.

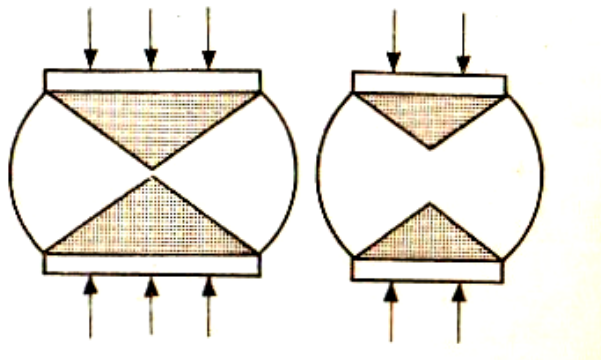


**Figura N°4.15 Compresión plana**

El experimento mostrado da una explicación porque en las planchas gruesas el rebaje absoluto es mayor que en las planchas delgadas, debido al mayor deslizamiento de las zonas de flujo restringido (figura N°4.16). Por esta misma razón se explica porqué para un mismo espesor de plancha la presión es mayor cuando mayor es el diámetro del cilindro laminador (figura N°4.17)



**Figura N°4.16. Efecto del espesor de la plancha**



**Figura N°4.17 Efecto del radio de la laminadora**

#### **4.4.4.10. Defectos debido a la lubricación**

Se estima que el 75% de la potencia utilizada en la laminación es para vencer a la fricción. Para minimizar la fricción es menester aplicar lubricantes a base generalmente de aceite mineral, el que forma una película que llena las entrantes y salientes de la superficie del cilindro formando una interfase de separación con la plancha que se lamina. La “fuerza” de la película lubricante se mide a través de su viscosidad. Esta película puede llegar a romperse cuando la presión alcanza un cierto valor y en tal situación el cilindro entra en contacto directo con la plancha originando marcas sobre la plancha de laminación que se conocen como marcas ondulantes y marcas chevron.

Las marcas ondulantes son regiones de la plancha en donde bandas rugosas se alternan con bandas pulidas a lo largo de la plancha dando la apariencia de una sucesión de dunas

Las marcas chevron se genera por el excesivo bombeado mecánico o térmico de los cilindros lo que provoca una acumulación de material en el momento que la plancha ingresa a la laminadora. Este defecto se controla mediante:

- Una mejora en la lubricación

- Cerrando los cilindros para aumentar la presión de laminación y por consiguiente el flexionamiento de los cilindros para compensar el bombeado de los cilindros.

#### **4.4.4.11. Empastado de los cilindros de laminación**

Para la laminación en caliente el aluminio suele calentarse entre 450°C a 550°C. Los aceites minerales son buenos lubricantes pero para mejorar sus propiedades refrigerantes suelen mezclársele con agua formándose una emulsión. Como el agua suele evaporarse es importante controlar la concentración del aceite en la emulsión. Debido a la acción conjunta del calor y la presión de laminación lubricación tiende a “romperse” provocando que el aluminio se adhiera a los cilindros la que se va acrecentando durante la laminación produciendo el empaste de los cilindros. El material empastado se adhiere a la plancha produciendo un manchado de la misma.

Para limpiar el empastado suele usarse medios mecánicos como es mediante las brochas de limpieza pero cuidando de no rayar el cilindro. Pero la mejor alternativa es previniendo el empastado mediante una buena lubricación combinado con un buen control de la temperatura de la plancha. Si la temperatura es muy alta aparece el empastado, si la temperatura es muy baja los cilindros patina dejando marcas en la plancha laminada.

La falta de lubricación también conduce al empastado de los cilindros debido a:

- Un deficiente control en la concentración del aceite en la emulsión
- Una deficiencia en el funcionamiento de los rociadores
- A que no se llegue a formar la película lubricante en los cilindros aun cuando estén funcionando los rociadores.

Cuando un exceso de emulsión queda sobre la plancha, el agua puede evaporarse dejando el remanente de aceite que se quema manchando la plancha. En el caso que la plancha se encuentre fría, el agua del exceso de emulsión es la causante de la mancha.

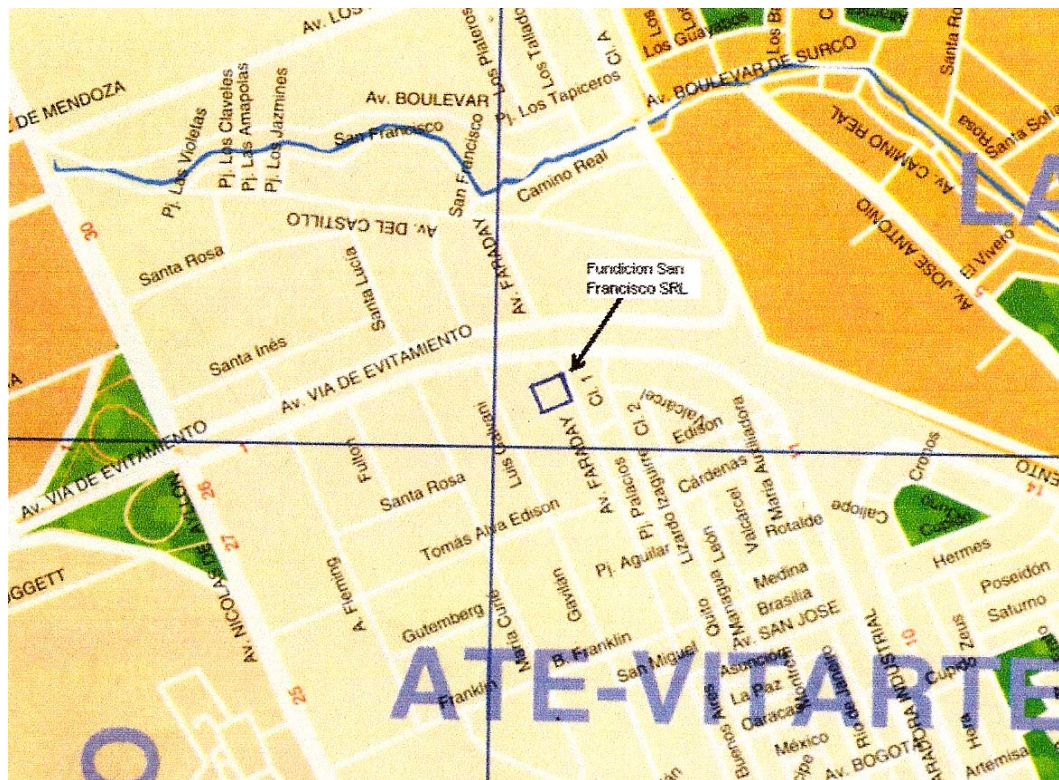
## CAPITULO V

### 5. Descripción del proceso en Fundación San Francisco

#### Ubicación: Manzana, Lote, calle, distrito, provincia, departamento

- Ubicación: Av. Michael Faraday N° 781
- Urbanización: Urb. Ind. Santa Rosa.
- Distrito: Ate – Vitarte.
- Provincia: Lima.
- Departamento: Lima.

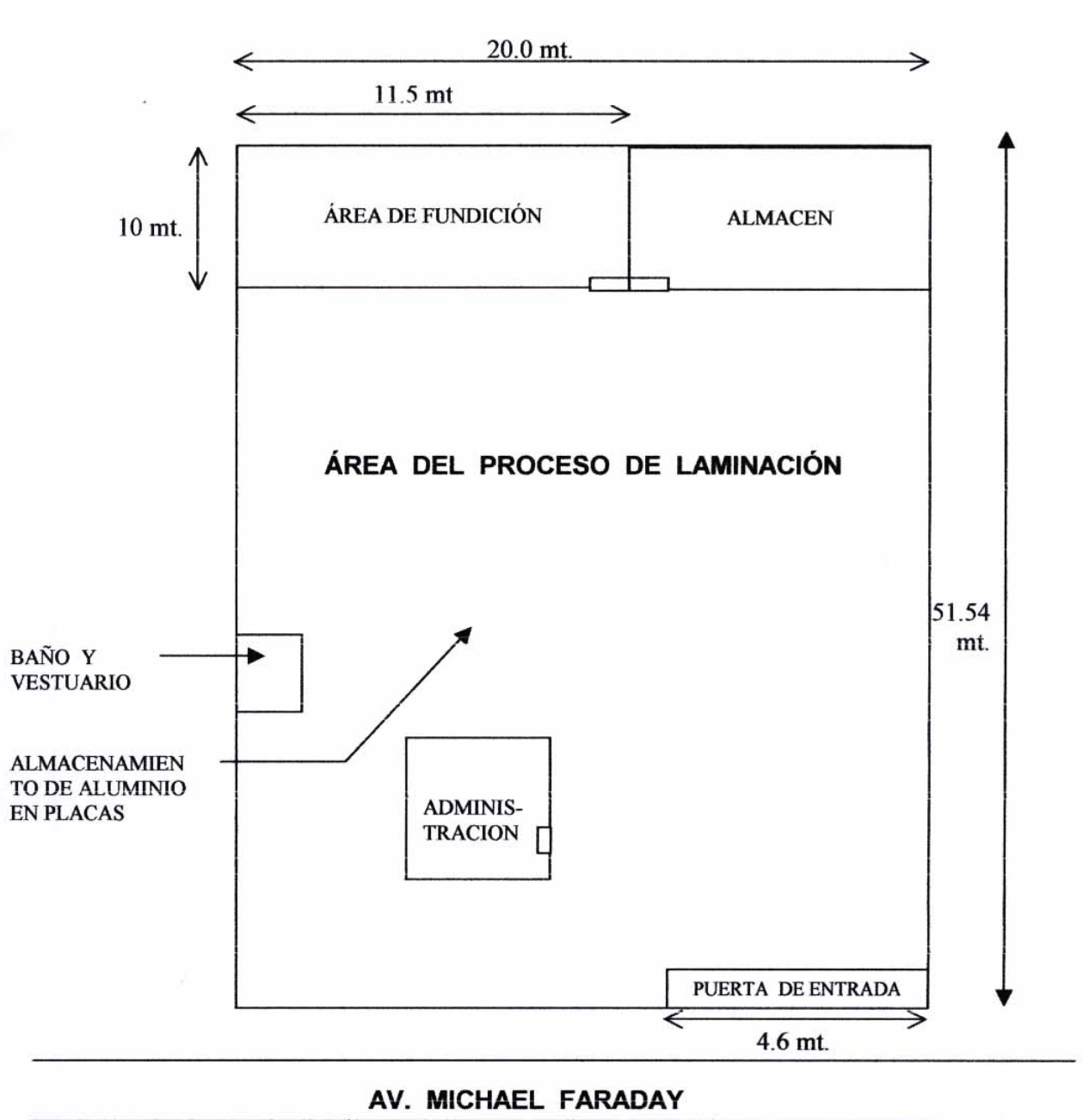
#### Plano ampliado de guía de calles.



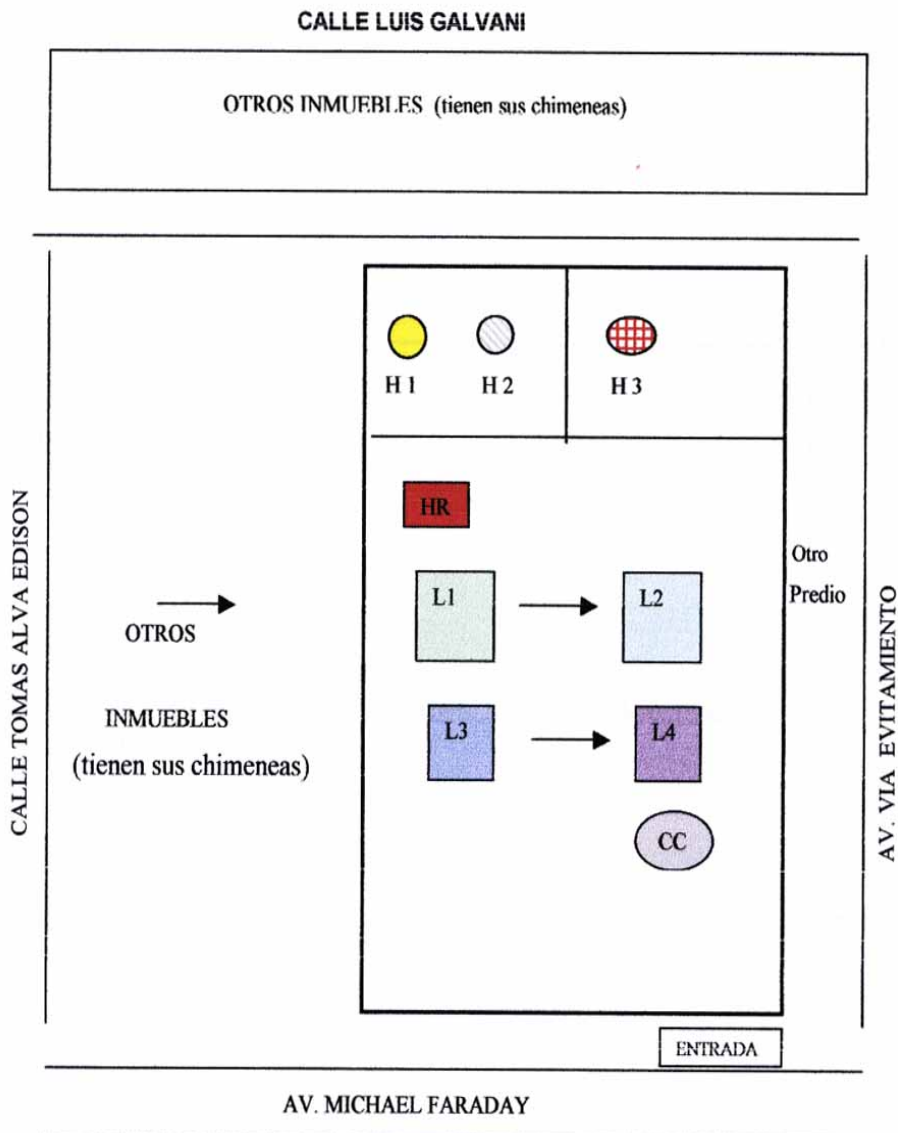
**Fig. N°5.1 Plano de Ubicación de la Fundación San Francisco SRL.**



**Fig. N°5.2 Diagrama con medidas de la vista en planta de la fundición.**



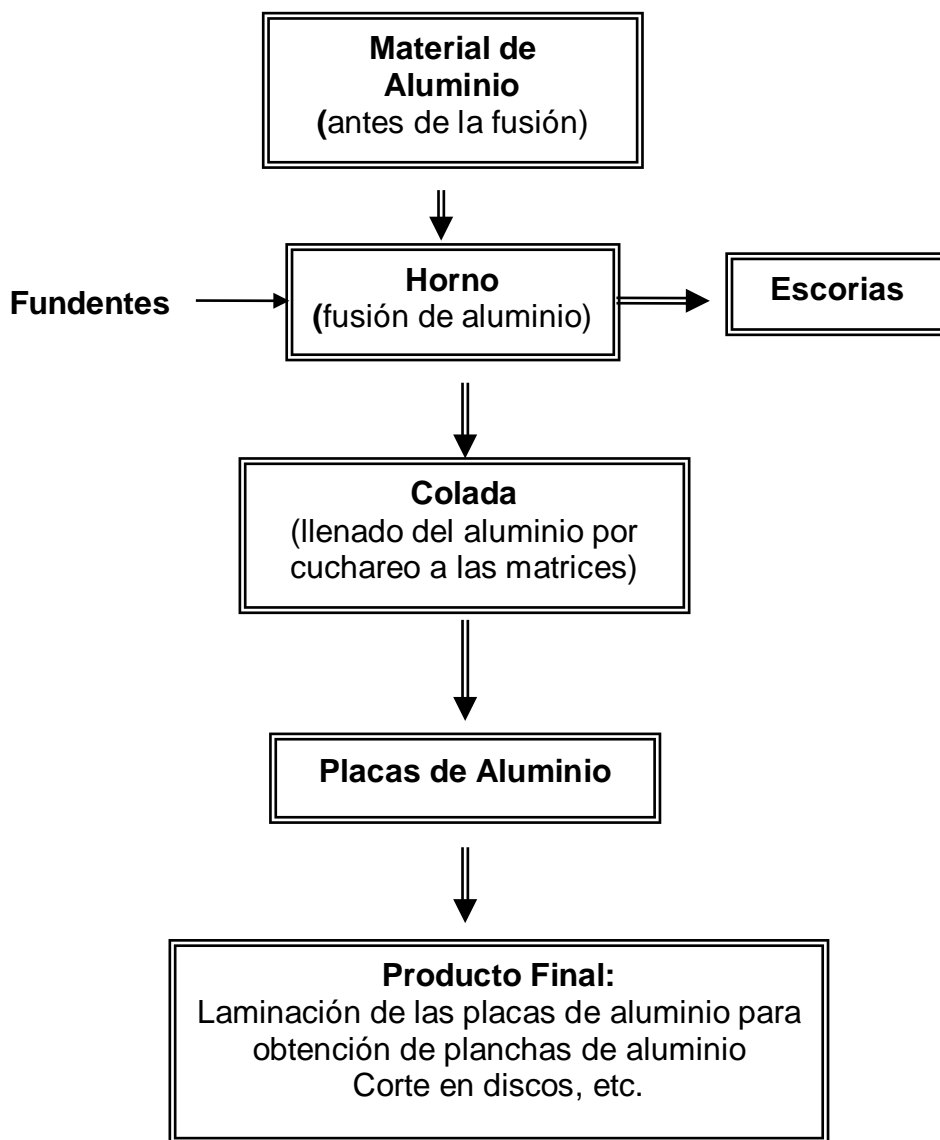




**Leyenda:**

- H1: Horno 1: en funcionamiento Crisol 500kg Max.
- H2: Horno 2: en funcionamiento Crisol 300kg Max.
- H3: Horno 3: No se encuentra en actividad
- HR: Horno de Recocido Eléctrico
- L1: Laminadora de desbaste Nash 30 HP.
- L2: Laminadora de desbaste Lewis 67 HP.
- L1: Laminadora de desbaste Mino 60 HP.
- L1: Laminadora de desbaste Farrel 100 HP.
- CC: Cortadora Circular

**Fig. N°5.3 Esquema de Ubicación de la Planta Fundición San Francisco SRLtd.**



**Fig. N°5.4** Esquema productivo del Aluminio en placas o planchas

## **5.2 Historia y organización. Descripción del proceso.**

La empresa inicia sus actividades en 1992 en su anterior local 200 m<sup>2</sup> ubicado en la Urb. San Francisco, en el mismo distrito de Ate Vitarte, en este local solo se hacia fundición de placas con un horno de crisol de 300 Kg. dando una producción de 7,8 toneladas mensual, actualmente funciona en su nuevo local desde el año 2003, donde además de la fundición de materiales de aluminio para obtener placas, también se realiza servicios de laminación para generar planchas de diferentes medidas, así como la compra y venta de aluminio.

- El área del local donde desarrolla sus actividades Fundición San Francisco SRL es de 1026.46 m<sup>2</sup>. Alrededor de esta empresa existen otros inmuebles donde funcionan otras empresas.
- En la parte posterior del local destina un área de 200 m<sup>2</sup>. para los trabajos de fundición únicamente, donde se ubican 3 hornos con sus respectivas chimeneas todas son de igual forma y tamaño, estando operativas dos de ellas, los cuales están ubicados en la parte posterior lado izquierdo de la entrada del local, como se observa en la figura.
- Alrededor del área de trabajo de la fundición se puede observar la acumulación del material de aluminio completamente clasificado para ser fundido posteriormente, asimismo se observa un espacio para colocar las placas de aluminio como producto final y también se dispone de otro espacio para colocar los moldes y los vasos que son usados en la extracción del aluminio fundido y en la preparación de placas.
  - Posteriormente las placas son comercializadas y/o llevados al proceso de laminación en el mismo local, obteniéndose planchas de aluminio de diferentes medidas, de acuerdo al pedido requerido.
  - A continuación del área de trabajo de fundición, se puede observar otra área aproximadamente de 500 m<sup>2</sup>. destinadas para el proceso de laminación de las placas de aluminio con 4 maquinas laminadoras de diferente tamaño donde también se encuentra espacio destinado para colocar los productos finales, ver la figura.
  - Cuenta con baños y vestuario para los trabajadores y cilindros para depósitos de los materiales de desechos, dos extintores, los almacenes

están ubicadas dentro de la planta bajo techo, lo mismo que cuenta con un cilindro para el depósito de combustible petróleo.

- Además la planta tiene una oficina administrativa.

### **PERSONAL QUE LABORA EN LA EMPRESA**

- 01 Gerente
- 01 Administrador
- 17 Obreros

### **HORARIO DE TRABAJO**

Primer turno: 7:00 a.m. – 3:00 p.m.

Segundo turno: 3:00 p.m. – 11:00 p.m.

**Tabla 5.1 PRODUCTOS ELABORADOS POR MES (PROMEDIO)**

<b>PRODUCTO</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>PRODUCCIÓN DIARIA</b>	<b>TOTAL MENSUAL</b>
Placas de Aluminio	25 cm. de ancho, 1 pulg de espesor, 30 cm de altura.	300	7800

Calculo total promedio de unidades producidas en Fundición:

300 unidades x 26 días = 7,800 unidades.

Cada unidad pesa 5 kg.

Lo que nos da una producción promedio de:

7,800 x 5kg = 39,000 kg → 39 toneladas promedio

La producción de Laminación es de 50 toneladas promedio, siendo el 50% material de servicios a clientes externos.

### **IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD**

- Cascos protectores.
- Mascarillas.
- Pares de Guantes.

Se dan charlas de seguridad a los trabajadores a fin de que sean conscientes de desarrollar sus tareas de manera segura, utilizando permanentemente sus implementos de seguridad. Esto también beneficia a la empresa, por diversas razones.

### **5.3 Descripción del proceso.**

La actividad principal de la empresa es la fundición de los materiales de aluminio para la obtención de placas y luego su laminación a fin de obtener planchas de aluminio con las medidas solicitadas para su uso industrial, para lo cuál se describe los insumos y otros servicios que son necesarios para su producción:

### **5.4. Reciclaje**

En primer lugar el producto de aluminio a reciclar se clasifica y compacta. Luego en un horno, se le saca la pintura y en algunos casos se las muele en pequeñas láminas. Por último el material va a un horno de fundición y de esta manera se obtienen nuevos lingotes o láminas para hacer más productos de aluminio. Cabe destacar que este material, al igual que el vidrio puede ser reciclado infinidad de veces, ya que no pierde calidad en los distintos procesos.

El aluminio no cambia sus características químicas durante el reciclado. El proceso se puede repetir indefinidamente y los objetos de aluminio se pueden fabricar enteramente con material reciclado. Muchos desechos de aluminio como las latas se pueden prensar fácilmente, reduciendo su volumen y facilitando su almacenamiento y transporte, las latas usadas de aluminio tienen el valor más alto de todos los residuos de envases y embalajes, lo anterior es un incentivo para su recuperación.



**Fig. 5.5 Latas de aluminio comprimidas.**

Algunos beneficios del reciclaje de aluminio son:

Al utilizar aluminio recuperado en el proceso de fabricación de nuevos productos existe un ahorro de energía del 95% respecto a si se utilizara materia prima virgen (bauxita).

El proceso de reciclado es normalmente fácil, ya que los objetos de aluminio desechados están compuestos normalmente sólo de aluminio por lo que no se requiere una separación previa de otros materiales.

Un residuo de aluminio es fácil de manejar: es ligero, no se rompe, no arde y no se oxida, por lo mismo es también fácil de transportar.

El aluminio es un material cotizado y rentable con un mercado importante a nivel mundial. Por ello todo el aluminio recogido tiene garantizado su reciclado. El reciclaje de aluminio produce beneficios ya que proporciona fuente de ingresos y ocupación para la mano de obra no calificada.

### **5.5. Recolección**

Muchas personas en los países en desarrollo se dedican a la recolección de aluminio de desecho, principalmente latas, por lo que contribuyen al reciclaje de este metal. Otras personas lo hacen por conciencia ambiental; en muchas partes del mundo organizaciones comunales, supermercados, escuelas y tiendas de todos tamaños cuentan con un programa de reciclaje de aluminio.

### **5.6. El Ciclo de Reciclaje**

El reciclado del aluminio es un proceso complejo, en el que intervienen diversos factores. Tanto sus canales de recuperación como sus aplicaciones y mercados presentan múltiples posibilidades. El papel del recuperador se convierte en fundamental ya que se encuentra en el centro del "ciclo" y colabora en forma decisiva para darle el mejor uso posible a un material que puede ser reciclado prácticamente en un 100%.

El aluminio usado llega principalmente por dos canales: de los desechos del consumo ya sea doméstico o industrial (por ejemplo, cables eléctricos, planchas litográficas, botes de bebidas, otros envases y

embalajes, desguace de vehículos, derribos, etc.) y de los recortes y virutas que se producen durante la fabricación de productos de aluminio.



**Fig. 5.6 Recortes y Virutas de Aluminio**

Por lo tanto, para los recuperadores mayoristas, pueden haber diferentes tipos de proveedores: la industria en general, fábricas, pequeños talleres, plantas de selección, minoristas o mayoristas, poniéndose de manifiesto una creciente internacionalización de este sector.

Existen muchos tipos de aluminio distintos que se comercializa en el mercado de la recuperación, pero se pueden agrupar básicamente en cuatro:

- a) Los productos laminados (planchas de construcción, planchas de imprentas, papel de aluminio, partes de carrocerías de vehículos...),
- b) Los extrusionados (perfiles para ventanas, piezas para vehículos...),
- c) Los aluminios moldeados ya sea por gravedad o por inyección (piezas para motores, manubrios de las puertas, etc.)
- d) Los trefilados para la fabricación de cables y otros usos.

#### **5.6.1. Materia Prima.**

- La materia prima consta de Chatarra de Aluminio de alta pureza (> 99.5%).
- Aluminio puro

- Recortes y cables de aluminio puro: - recortes, derrames, puntas de barra, cables sin alma de acero o cables con alma de acero pero sin hierro.
- Recortes de aluminio delgados, coloreados o no. Espesor comprendido entre 0,1 y 0,4 mm.
- Recortes, derrames coloreados,
- Papeles de aluminio nuevos blancos o coloreados, Espesor inferior a 0,1 mm.
- Viruta torneado del repujado o fresado de aluminio puro.
- Plancha vieja de aluminio,
- Cacerolas de aluminio sin hierro,
- Planchas de aluminio utilizados como cátodos en la electro deposición de zinc.
- Aluminio primario en lingotes.
- Planchas de aluminio utilizados en impresión.

Esta chatarra de Aluminio se pesa y se hacen 3 coladas de 450 Kglc.u. por día en el horno N°1 y 3 coladas de 280 Kglc.u por día en el horno N°2.

***(Ver Fig.1 de Anexo 5)***

### **5.6.2. Fundición.**

El proceso productivo se inicia con la alimentación de un depósito con petróleo que es activado mediante un motor eléctrico de 1 HP de potencia, y mediante una cañería pasa el combustible para prender el horno. Luego de prendido el horno se visualiza el crisol candente diseñado para la fundición de materiales de aluminio, el metal se calentará a temperatura de fusión, es decir se reducirá del estado sólido al estado líquido, luego mediante unos vasos el metal fundido es introducido a unos moldes para la formación de placas de aluminio.

La temperatura promedio de fundición es 650°C, con dos (2) horas de combustión, para la cantidad de materiales de aluminio empleados.



Después de la colada, se debe esperar que el metal se solidifique y se enfríe en el molde, para luego empezar con el desmoldeo, obteniéndose las placas de aluminio.

#### **5.6.2.1. Hornos.**

##### **Horno de crisol**

Su empleo se va haciendo cada vez más raro en las fundiciones de transformación.

Estos hornos están equipados generalmente de un crisol carburo de Silicio, con una capacidad que va desde los 300 a los 500 Kg.

El calentamiento se efectúa con petróleo y la llama del mechero ataca tangencialmente la base del crisol, a fin de que los gases de la combustión giren alrededor de él, según un movimiento ascensional helicoidal.

Esta disposición favorece los intercambios térmicos. La transmisión de la energía al metal que se debe de fundir, al realizarse indirectamente a través de la pared del crisol, causa un escaso rendimiento térmico en estos hornos y un consumo de combustible importante. Por otra parte, la necesidad de reemplazar periódicamente los crisoles grava de una forma pesada los costos de la fusión.

Esta Sección consta de 2 hornos:

El horno N°1 es de pozo revestido con ladrillos refractarios y lleva un crisol de carburo de silicio de 500 Kg. de capacidad máxima.

El horno N°2 es de pozo revestido con ladrillos refractarios y lleva un crisol de carburo de silicio de 300 Kg. de capacidad máxima.

Estos hornos son calentados con aceite quemado filtrado y petróleo mediante un mezclador con aire proporcionado por un ventilador, el cual es inyectado al horno tangencialmente.

**(Ver Fig. 2 de Anexo 5)**

##### **Insumos de fundición**

Los insumos que se usan en la fundición de aluminio son las siguientes:

## **ALUXAL 112**

Flux estándar, con reacción exotérmica, para la cobertura y desescoriado de las aleaciones de aluminio.

Formación de un estrato compacto de cobertura antioxidante.

Reducción de las fusiones en el metal. Formación de escorias con bajo contenido metálico. Facilita el repartimiento de las escorias.

Características del Producto:

Aspecto : Fluor en polvo

Granulometría : <22 mesh

Tipo escoria : Seca

El flux Aluxal 112 es un producto de uso general, para la cobertura y para el desescoriado de la aleación de aluminio fundida en hornos a crisol, - Durante el empleo el producto crea sobre la superficie del baño una barrera válida capaz de reducir al mínimo la oxidación del metal y la absorción del hidrógeno, con las consiguientes disminuciones de fusiones.

El flux Aluxal 112, añadido y mezclado íntimamente en la superficie del baño, lo depura y elimina las inclusiones no metálicas. - La reacción exotérmica del producto genera escoria seca con bajo contenido de metal.

El flux Aluxal 112 se aconseja para las aleaciones de aluminio fundidas en hornos o crisol

## **ELIDRON 201**

Flux en pastillas con acción fuerte de nitrógeno, para el tratamiento del lavado y desgasificado de los baños de aluminio. Permite a eliminación de los óxidos en suspensión y el movimiento del hidrógeno.

Las pastillas de Elidron 201 se aconsejan para el lavado del baño con nitrógeno, para el removimiento de los óxidos en suspensión, para la eliminación del gas y del hidrógeno contenido en el baño. Las pastillas de Elidron 201, respecto a las pastillas de Elidron 200, tienen una acción desgasificante más intensa en cuanto, durante la reacción, liberan una mayor cantidad de gas de nitrógeno.

Las pastillas de Elidron 201 tienen una acción de doble efecto, de naturaleza sea física y química. La pastilla por efecto del calor del baño se descompone

liberando nitrógeno gaseoso capaz de llevar en la superficie el hidrógeno disuelto y los óxidos suspendidos en el baño.-La acción química viene a través de las sales, contenidas en el producto, capaces de reaccionar con los óxidos y de conseguir una óptima depuración del metal.

Normalmente se recomienda de emplear 100-300 gr. -de producto para cada 100 Kg. de metal.

- El efecto de desgasificación y de desoxidación mejorará si se efectúa en dos tomas.
- Esto se aconseja especialmente cuando estamos en presencia de cantidades grandes de metal, por ejemplo más de 250 Kg. de aluminio.
- Debemos recordar que una turbulencia fuerte del gas en el baño, aunque facilita el removimiento de los óxidos y de las inclusiones, puede tener una acción negativa en cuanto puede ser causa de formación de óxidos indeseados.

Las pastillas de Elidron 201 deberán de ser precalentadas situándolas cerca de una fuente de calor (por ejemplo en el borde superior del horno) para reducir eventuales pequeños restos de humedad del producto y para evitar de introducir en el metal cualquier resto de humedad que cualquier objeto pueda recoger a temperatura ambiente,

- La pastilla precalentada va sumergida después de haber removida la escoria flotante en el baño.
- Esto es a fin de evitar que, durante la acción del burbujeo del nitrógeno, las escorias u óxidos presentes en la superficie del baño puedan conllevarse o trasladarse al interior del metal.

### **GERMINAL 1084P**

Fundente en pastillas con contenido de Titanio y Boro, Para el afino de la aleación de Aluminio. Exento de Cloro y de Sodio.

### **Características del producto**

- Aspecto: Pastillas
- Pastillas de: 100 y 500grs.
- Color: gris
- Composición: Titanio y Boro.

Fundente afinante para seguir añadiendo Titanio y Boro en el metal en estado líquido.-Producto estándar para el tratamiento del metal nuevo o precedentemente afinado.

El uso del Germinal 1084P asegura la obtención en la producción de piezas de aluminio que contienen una estructura metalográfica con dimensiones de grano muy fino y, en consecuencia con altas características mecánicas.-La acción positiva del Titanio y del Boro favorece la formación de grandes cantidades de centros de cristalización capaces de impedir el aumento del grano especialmente durante el tratamiento térmico de las piezas.

El Germinal 1084/P está indicado para la mayor parte de aleaciones de Aluminio que comprenden las aleaciones del Al-Si y Al-Mg.

Durante la fusión, la carga metálica debe de estar protegida con el fundente protector apropiado.-Cuando el metal está a punto para el tratamiento de afino, aconsejamos de desplazar o extraer las escorias flotantes en el baño para evitar que la pastilla de Germinal 1084/P. cuando se introduzca con campana, pueda intrapolar escorias en el interior del baño.-La misma advertencia se aconseja de seguir durante el tratamiento de desgasificado.

El Germinal 1084/P se usa normalmente en cantidades de 0,1 - 0,2% (0,1 - 0,2 Kg. de producto por 100 Kg. de metal).- Para obtener mejores resultados hundir el 50% de la cantidad aconsejada de Germinal 1084/R - Al final de la reacción de las pastillas repetir el tratamiento con el remanente 50% de la cantidad aconsejada.

Las pastillas de Germinal 1084/P se deben hundir en el baño utilizando una campana perforada de orificios (diámetro 10-12 mm) para consentir una reacción perfecta del producto. La campana debe estar seca y bien pintada con Metkote 100.- Después del afino

completar el tratamiento usando Elidron 200 a fin de asegurar una distribución buena de los núcleos de cristalización y de eliminar los óxidos en suspensión en el baño y obtener los resultados mejores metalúrgicos (**Ver Fig. 3 y Fig. 4 de Anexo 5**)

Aproximadamente un 5% de la materia prima corresponde a los residuos sólidos, lo que indica que con el 95% se obtiene el producto final (**Ver Fig. 5 de Anexo 5**)

El producto que se obtiene son placas formadas en la matriz de aproximadamente 5 kg. Las cuales se revisan para que no presenten defectos en laminación (**Ver Fig. 6 de Anexo 5**)

### **5.6.3. Laminación: Laminación en frío.**

#### **Generalidades sobre la maquinaria de laminación en frío**

Los laminadores empleados son del tipo dúo. Su constitución es del tipo clásico; consta de dos cilindros de diámetro, 270 a 540 mm, de fundición templada o de acero, arrastrado por una caja de piñones, la cual a su vez es movida por un grupo motoreductor, esta conecta a una caja inversora para dar movimiento a los dos rodillos.

Estos laminadores son habitualmente no reversibles.

Del ajuste de los cilindros se encarga un grupo motorreductor.

La velocidad de laminación está comprendida entre 30 y 60 m/min. Los cojinetes de bronce que soportan los cilindros están lubricados con grasa o aceite.

La lubricación de las tablas de los cilindros, en el curso de la laminación, se hace periódicamente, proyectando aceite ligero sobre ellos con la simple ayuda de una bomba de engranajes.

Los filtros de presión sobre los cilindros tienen la doble misión de detener las partículas de aluminio que se pegan al cilindro y de distribuir uniformemente el aceite por toda la superficie.

La chapa es introducida previamente entre este rodillo y el cilindro superior, para sufrir un acoplamiento perfecto con el cilindro, lo cual es

fundamental para la posterior entrada de la chapa en los cilindros de trabajo; toda ondulación de la chapa de entrada se evita así y se elimina el riesgo de plegado del material, cuando pasa entre los cilindros.

Unas guías horizontales, colocadas en la salida, un poco por debajo de la generatriz superior del cilindro, recogen las chapas a la salida de los cilindros.

**Manipulación de los productos laminados.**- El procedimiento clásico consiste en dos soportes horizontales, colocados a la salida y entrada del laminador, guarnecidos con madera dura, sobre los cuales se deslizan las chapas.

El obrero introduce las chapas entre los cilindros, que son recogidas por uno o dos operarios, los cuales las envían de nuevo por encima del cilindro superior.

Algunos dispositivos de manejo mecánico, tienen por objeto reducir o suprimir el número de operarios necesarios para el reenvío de las chapas, en el lado de salida del laminador.

En la planta, la laminación de desbaste se realiza en una laminadora duo reversible Mino de 280mm diámetro x 610mm.y una duo reversible Nash de 300mm diámetro x 410mm (**Ver Fig. 7 y Fig. 8 de Anexo 5**) El espesor de la plancha a la salida del desbaste es igual al espesor de entrada de acabado y es en promedio a 10mm.

El laminado de acabado en frío se realiza en un duo reversible Farrel de 490mm diámetro x 750 mm (**Ver Fig. 9 de Anexo 5**)

### **Defectos debidos a la laminación en frío**

**Defecto de planeidad.**- Bandas con ondulaciones en las orillas abolladuras

**Defectos de superficie.**- El aluminio y sus aleaciones, débilmente aleadas, son bastante blandas, por lo que la superficie de las bandas presenta las huellas de los diferentes materiales con los que está en contacto, los cuales le ocasionan defectos muy variados.

**Arañazos.-** Se llaman así, las marcas producidas en la superficie del metal.

Cada marca está constituida por una línea estrecha de unos milímetros de longitud, y una profundidad que oscila entre unas milésimas o centésimas de milímetro.

Se pueden presentar en zonas de ancho variable, en líneas continuas o de manera dispersa. Su origen es sumamente diverso.

Otros arañazos igualmente frecuentes son los causados por frotamiento de la banda sobre partes metálicas; a este respecto, es necesario vigilar los diferentes rodillos, principalmente los de la prensa de entrada.

**Marcas de cilindros.-** Los defectos de superficie en los cilindros de trabajo se reproducen sobre la banda; estos defectos son frecuentemente rayas de cilindros y marcas por hundimiento. Se localizan a lo largo de la banda por estar separados entre sí por una distancia igual a la circunferencia del cilindro de trabajo.

Un caso particular de marcas de cilindro es el llamado marcas de rectificación: se caracteriza por una alternancia de bandas oscuras y claras en oblicuo.

**Esmerilado.-** Se da el deslucido, cuando la banda roza al cilindro fuera de la zona de laminación. La banda toma entonces un aspecto lechoso. En esta categoría de defectos, pondremos el pliegue de laminación; la banda es más larga en el lugar del pliegue, ya sea porque era más larga a la entrada de los cilindros o bien porque los cilindros no están paralelos entre sí. El defecto aparece en forma de líneas oscuras.

**Adherencias.-** El origen de las adherencias es un depósito de metal sobre una superficie en movimiento (cilindro o rodillo). En general, desaparecen cepillando la superficie del cilindro. El defecto se da con mayor frecuencia cuando se lamina metal recocado.

### **Defectos debidos a la lubricación.**

**Dientes.** Se trata de un defecto, de aspecto característico, debido a un exceso reducción, ya sea porque el sistema de rociado funciona

deficientemente, o que el lubricante no es suficientemente untuoso o, también, porque se haga una reducción demasiado importante.

**Vibración.** Menos frecuente que el anterior, se manifiesta por una alternancia de líneas oscuras y claras transversales. Se debe a una reducción muy débil, para una tracción muy importante. Para remediarlo, es conveniente aumentar la untuosidad del lubricante y la rugosidad de los cilindros.

**Manchas de cracking.** Estas manchas, de aspecto oscuro, se producen en el recocido, y se deben a un mal enjuague de la banda, la cual queda cargada de aceite de laminación

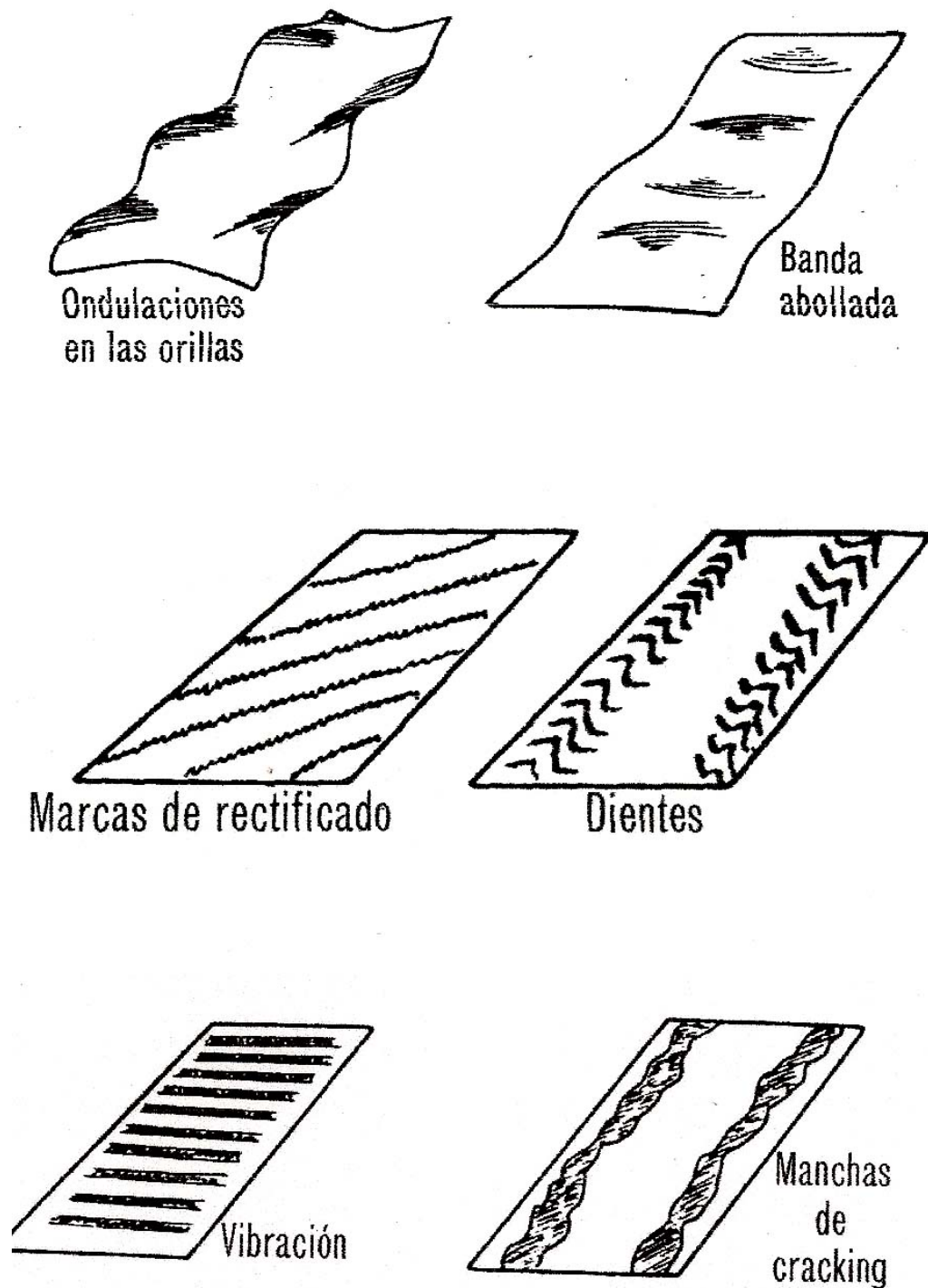
### **Rectificación de los cilindros de los laminadores**

La rectificación tiene por objeto dar a los cilindros el perfil y la rugosidad adecuados al trabajo que se les pide, trabajo que depende de la posición del laminador en el ciclo de transformación.

### **Generación del perfil de los cilindros**

Al cuerpo de los cilindros rectificadas se le da cierto bombeo, para neutralizar el efecto de curvatura en los cilindros cuando se efectúa la laminación de las chapas, con ángulos generalmente débiles, variables desde unas centésimas a algunas décimas de milímetro.

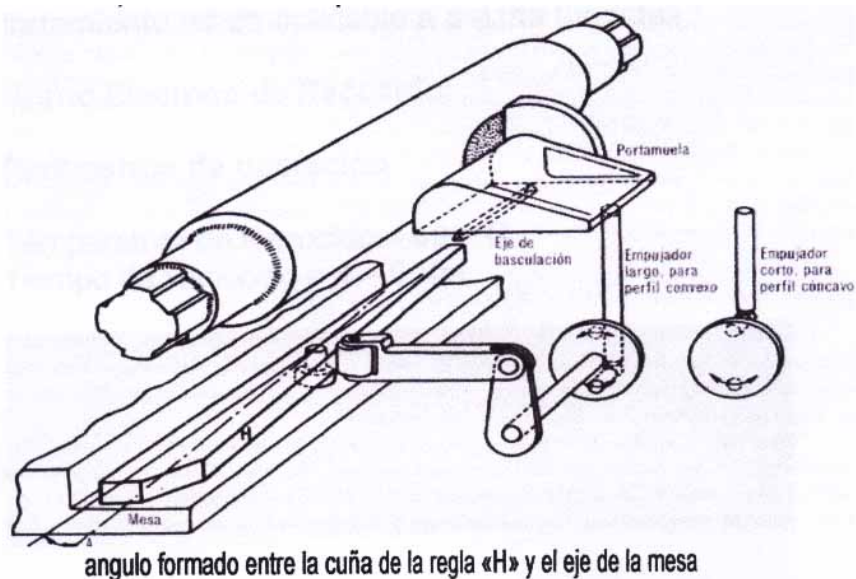




**Fig. 5.7 Defectos en planchas laminadas en frio**

La generación de tales perfiles, es una operación delicada. En efecto, para que los perfiles sean logrados con exactitud, es necesario que los frotamientos que afectan al órgano móvil sean extremadamente débiles. Pero, a causa del peso de las dimensiones de las piezas a trabajar, las máquinas de rectificar los cilindros, se poseen amplias

dimensiones, y en particular, la cabeza portamuela es pesada y está sometida a frotamientos importantes. Por ello, el movimiento de traslación de la cabeza portamuela hacia el eje del cilindro, movimiento que sirve para realizar el perfil, ha sido normalmente sustituido por un movimiento de rotación alrededor de un eje horizontal; la línea de contacto de la muela con el cilindro no queda en el mismo plano diametral del cilindro. El perfil depende, pues, de la posición del contacto muela cilindro, con relación al plano diametral de referencia.



**Fig. 5.8 Máquina de rectificar con regla, tipo Churchill.**

#### 5.6.4. Tratamiento Térmico: Recocido. (Ver fig. 10 de Anexo 5)

El “recocido” se refiere al tratamiento térmico que se aplica para que el metal se haga dúctil. En el aluminio, el recocido elimina el efecto de endurecimiento de trabajo por la elaboración en frío y también el efecto del tratamiento térmico. El metal se calienta a la temperatura en la cual los granos se rompieron por el trabajo en frío, estos vuelven a cristalizar. A esta temperatura de recristalización una aleación tratada térmicamente vuelve a la condición del metal enfriado lentamente permitiendo que los elementos de aleación se precipiten gradualmente. Las aleaciones fraguadas y recocidas se denotan por el símbolo “O”. El tratamiento no es aplicable a piezas fundidas.

Horno Eléctrico de Recocido:

Parámetros de operación

Temperatura de Recocido = 400°C

Tiempo de Recocido = 4 –5 Hrs.

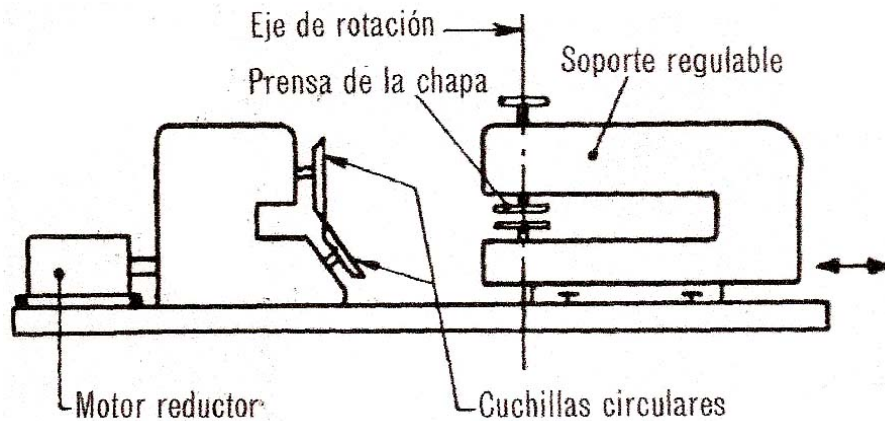
(Ver fig.11 de Anexo 5.)

#### 5.6.5. Corte de las Planchas. (Poner Foto)

Los discos de aluminio son cortados en estado recocido, y también son cortados en estado crudo, en razón del mayor riesgo de deterioración de las superficies en el curso de la manipulación de los productos y durante el corte.

##### **Recorte de discos.**

Este procedimiento consiste en cortar el disco a partir de un cuadrado; el cuadrado a cortar es fijado por su centro sobre un pivote y presentado delante del útil del corte; el cuadrado gira alrededor de su pivote soporte a medida que se va cortando.



**Fig.9 Cortadora de discos.**

Este procedimiento se utiliza cuando el número de discos es demasiado pequeño para justificar el empleo de una prensa o la construcción de un utillaje, o bien cuando el diámetro de los discos es demasiado elevado para las prensas corrientes.

##### **Producciones rectangulares.**

Este procedimiento consiste en la fabricación de planchas sin recocer, teniendo en cuenta el ancho, espesor y el alargamiento de la chapa se da como consecuencia de los parámetros indicados.

Otro de los productos rectangulares, consiste en la fabricación de planchas semiduras. Estos son laminados parcialmente hasta 4mm, antes del espesor final, para espesores relativamente gruesos y 1 milímetro antes del espesor final para espesores delgados (0.8 - 0.5)mm.

Se producen planchas recocidas para cortarlo en la cizalla, según el ancho y espesor deseado.

**(Ver. Fig. 12 y 13 de Anexo 5)**

Todos los recortes son compactados y devuelto a la fundición o entregado a los clientes que se hizo el servicio de laminado.

**(Ver Fig. 14 de Anexo 5)**

#### **5.6.6. Producción Final.**

##### **5.6.6.1. Control de Calidad:**

El producto final tanto de Fundición como de laminación pasa por un control y si presentan defectos son devueltos a fundición.

En el caso de producción de discos se controla:

- Diámetro del disco
- Espesor del disco.
- Dureza

En el caso de fabricación de planchas, se controla:

- Ancho de la plancha.
- Espesor de la plancha.
- Dureza de la plancha.
- Defecto de planeidad (distorsión de la superficie de la plancha).

##### **5.6.6.2. Servicios:**

La Empresa también presta servicios de laminado a partir de placas fundidas de acuerdo a requerimientos.

**(Ver Fig. 15 y 16 de Anexo 5)**

## 6. Conclusiones y Recomendaciones

- El aluminio es un metal que reúne una serie de propiedades mecánicas excelentes dentro del grupo de los metales no ferrosos, de ahí su elevado uso en la industria.
- El metal reciclado requiere solo 5% de la energía necesaria para producir el metal nuevo.
- El reciclaje de la chatarra de aluminio ayuda a conservar el medio ambiente.
- Es factible la fundición de chatarra de aluminio por sus costos moderados a nivel de mediana industria dándole valor agregado con laminación en frío.
- Unos de los factores que contribuyen a estos costos son los usos de insumos adecuados y eficientes, así como la optimización de los procesos.
- Otro de estos factores, es el control de calidad de los productos y servicios de laminación a terceros.

## 7. Bibliografía

- Millán Gómez, Simón (2006), *Procedimientos de Mecanizado*, Madrid: Editorial Paraninfo.
- Eduardo Capello, Tecnología de la Fundición, Editorial Gustavo Gili S.A.
- Sandvik Coromant (2006), *Guía Técnica de Mecanizado*, AB Sandvik Coromant 2005.10.
- Manual del Aluminio Alcan, Aluminium Limited Sales Inc.
- Larbáburu Arrizabalaga, Nicolás (2004), *Máquinas. Prontuario. Técnicas máquinas herramientas.*, Madrid: Thomson Editores.
- Enciclopedia del Aluminio, Volumen 2, Grupo Pechney – Urmo S.A de Ediciones.

**Tabla 2.1: Resumen de las normas DIN para semielaborados y piezas fundidas, análisis comparativo de normas, prescripciones y recomendaciones según ISO y otros países**

Nº DIN		OBJETIVO DE LA NORMA	Francia AFNOR	Gran Bretaña Brit.Std.	EE.UU ANSI Std.	ASTM	ISO Std
			NF...	BS...	Federal Spec.')	Spec.')	Recomm
<b>Normas Básicas</b>							
1700		Metales no féreos .Sistemática de simbolos abreviados	(NF A 02-004)	(BS 1470/74)	ANSI H 35 1	B 275	2092
17007	P.4	Números del material.Sistemática de los grupos principales 2 y 3 de metales no féreos	NF A 02-104		-		2107
17600	P.1	Terminología de metales no féreos;concepto fundamen-	-	BS 3660	-	-	(Estado) TR 33134/1,5
50049		Certificado sobre ensayos de materiales	-	-	-	-	-
	Hoja sup. 1	Ejemplos para extender certificaciones					
<b>Productos Metalúrgicos .Composición</b>							
1712	P.1	Lingotes (aluminio metalúrgico)	NF I 57-702			B 179	
1725	P.2	Aleaciones de moldeo;en arena , en coquilla	NF A 57-702	BS 1490	QQ-A-601/596	B 26 ,B 108	
		Fundición a presión	NF A 57-703		QQ-A-591	B 85	3522
1725	P.3	Aleaciones madre					
	Norma en prepar.	Fundición de aleaciones de moldeo		BS 1490		B179	
<b>Semielaborado. Composición</b>							
1712	P.3	Aluminio puro y purísimo	En normalización de	En normalización	AA.Registr.	En norm.	R 209
1725	P.1	Aleaciones para laminación y forja	semielaborado	de semielaborado	Record Wrought	de semiel.	
<b>Indicaciones y prescripciones generales</b>							
1725	P.1	Aleaciones para laminación y forja .Ejemplo de aplicación	-	-	-	-	-
	Hoja sup. 1	Semielaborados .Tolerancias admisibles					
<b>FED STD 245 ANSI H 35 2</b>							
<b>Chapas , bandas , láminas</b>							
<b>Características resistentes</b>							
1745	P.1	Chapas y bandas con espesores superiores a 0,35mm	NF A 50-451	BS 1470	QQ-A-250')	B209	TR-2138
1788		Chapas y bandas con espesores superiores a 0,21 hasta 0,350mm	NF A 50-471	BS 3313			
40501	P.1	Chapas y bandas de E-Al para Electrotecnia		BS 2897(?)	-	-	-
59605		Chapas con diseños por laminación			-	-	-
59606		Bandas y chapas para cajas y tapaderas	NF A 50-481	BS 3313	-	-	-
		Chapas y bandas de AlZnMg (7020)		BS4300/14	-	-	-

Tabla 2.1: Resumen de las normas DIN para semielaborados y piezas fundidas, análisis comparativo de normas, prescripciones y recomendaciones según ISO y otros países

Nº DIN	OBJETIVO DE LA NORMA		Francia AFNOR NF...	Gran bretaña Brit.Std. BS...	EE.UU ANSI Std. Federal Spec.')	ASTM Spec.')	ISO Std Recomm
<b>Configuración</b>							
1748	P.3	Perfiles extrusionados;configuración					
<b>Barras , alambres</b>							
<b>Características mecánicas</b>							
1747	P.1	Barras	NF A 50-411	BS 1474	—	B 211	—
1790	P.1	Alambres	NF A 50-735/6	BS 1475	—	B 211	—
40501	P.3	Perfiles , Barras de E-Al y E-AlMgSi0,5 para Electrotecnia		BS 2898	—	B 236	—
40501	P.4	Alambres de E-Al para Electrotecnia Barras de AlCu6Bi y AlCu4Pb (también composición)		BS 2627 BS 4300/5		B 262,B 230	2729
<b>Condiciones técnicas de suministro</b>							
1747	P.2	Barras	NF A 50-411			B 211	5191
1790	P.2	Alambres	NF A 50-735/6			B 211	5191
40501	P.3	Perfiles , barras de E-Al y E-AlMgSi0,5 para Electrotecnia		BS 2898			
40501	P.4	Alambres de E-Al para Electrotecnia		BS 2627		B 230,B 544	
40501	P.5	Alambres de Fusión , laminados de E-Al				B 233	
59675		Alambres y barras para roblones (sustituidas por DIN 1790)		BS 1473	QQ-A-430	B 316	R 828
<b>Medidas , tolerancias admisibles</b>							
1769		Barras rectangulares estiradas	NF A 50-734	—	—	—	—
1770		Barras rectangulares extrusionadas	NF A 50-705	—	—	—	—
1796		Barras cuadradas estiradas	NF A 50-732	—	—	—	—
1797		Barras hexagonales estiradas	NF A 50-733	—	—	—	—
		Barras hexagonales extrusionadas	NF A 50-704	—	—	—	—
1798		Redondos estirados	NF A 50-731	—	—	—	5193;7274
1799		Redondos extrusionados	NF A 50-702	—	—	—	7273
40501	P.5	Alambres de fusión, laminados, de E-Al para Electrotecniaç					
46433		Alambres plano y platinas estirados con cantos redondeados					
59675		Alambres y barras para roblones (sustituida por DIN 1790)				B 136	—
59700		Barras cuadradas extrusionadas	BF A 50-703	—	—		—
59701		Barras hexagonales extrusionadas(F -estiradas)	NF A 50-704	—	—		—
		Alambres en aros	NF A 50-703	—	—		—
		Alambres planos en aros	NF A 50-735	—	—		—



Tabla 2.1: Resumen de las normas DIN para semielaborados y piezas fundidas, análisis comparativo de normas, prescripciones y recomendaciones según ISO y otros países

Nº DIN	OBJETIVO DE LA NORMA		Francia AFNOR NF...	Gran Bretaña Brit.Std. BS...	EE.UU ANSI Std. Federal Spec.')	ASTM Spec.')	ISO Std Recomm
<b>Chapas , bandas ,Laminas (continuación)</b>							
<b>Condiciones técnicas de suministro</b>							
1745	P.2	Chapas y bandas.Calidad normal ( a partir de la edición 02,83 también para calidad anodizada)	NF A 50-451	BS 1470	QQ-A-250')	B 209	DIS 6361
		Chapas reflectoras		(BS 4300/2)	AA Reg ReC		-
		Chapas placadas	NF A 50-451	-	AA Reg ReC	B 209	-
40501	P.1	Chapas y bandas de E-Al para Electrotecnia		-	-	-	-
59604	P.1	Pastillas para extrusión		-	-	-	-
<b>Medidas ,tolerancias admisibles</b>							
1783		Chapas , bandas ,laminados en frío más de 0,35mm	NF A 50-751,761	BS 1470	QQ-A-250')	B 209	
1784		Chapas ,Bandas , Formatos, laminados en frío,0,21 hasta 0,350mm	NF A 50-471	BS 3313			
1784	P.3	Bandas,laminas:laminadas en frío 0,007 hasta 0,020mm	NF A 50-471	BS 3313	QQ-A-1876	B 373	7271
59600		Chapas , Bandas,Laminadas en caliente	NF A 50-751	BS1470	QQ-A-250')	-	-
59602		Discos; laminados en caliente		-	-	-	-
59603		Discos;laminados en frío	NF A 50-771	-	-	-	-
59604	P.2	Pastillas para extrusión		-	-	-	-
59605		Chapas con diseño por laminación		-	-	-	-
59606		Bandas y chapas para cajas y tapaderas	NF A 50-481	-	-	-	-
		Culver pipr Alclad 3004 H34			WW-P-402	-	-
<b>Tubos</b>							
<b>Características mecánicas</b>							
1746	P.1	Tubos	NF A 50-411	BS 1471,-74	WW-T-700	B 210(Z),B 221	
40501	P.2	Tubos para Electrotecnia		BS 2898	QQ-A-200 WW-C-540	B 241 (P)	TR 2778
<b>Condiciones técnicas de suministro</b>							
1746	P.1	Tubos	NF A 50-411	BS 1471,-74	WW-T-700 QQ-A-200	B 210(Z),B 221 B 241 (P)	5191
40501	P.2	Tubos para Electrotecnia		BS 2898	WW-C-540	B 317	

**Tabla 2.1: Resumen de las normas DIN para semielaborados y piezas fundidas, análisis comparativo de normas, prescripciones y recomendaciones según ISO y otros países**

Nº DIN		OBJETIVO DE LA NORMA	Francia AFNOR NF...	Gran Bretaña Brit.Std. BS...	EE.UU ANSI Std. Federal Spec.')	ASTM Spec.')	ISO Std Recomm
<b>Tolerancias generales para piezas fundidas en bruto</b>							
1680	P.1	Fundamentos sobre tolerancias en general y demasías de mecanizado	—	—	—	—	—
1680	P.2	Sistemas de tolerancias generales	—	—	—	—	—
1680	P.1	Piezas Fundidas en bruto de aleaciones de metales ligeros: tolerancias generales , demasías de mecanizado, fundición en arena	NF A 66-001	—	QQ-A-601	B 26	—
1680	P.3	Piezas fundidas en bruto de aleaciones de metales ligeros: tolerancias generales , demasías de mecanizado, fundición en coquilla	NF A 66-001	—	QQ-A-596	B 108	—
1680	P.4	Piezas fundidas en bruto de aleaciones de metales ligeros: cotas libres sin tolerancias, fundición inyectada	NF A 66-002	—	QQ-A-591	B 85	—
<b>Materiales de aplicación para soldadura ,soldaduras para aluminio</b>							
Composición , aplicación, condiciones técnicas de suministro							
1707		Soldadura blanda	—	—	—	—	3677
1732	P.1+P.2	Materiales de adición para soldadura	NF A 81-331	BS 2901 Pt.4	QQ-R-566	ANS/AWS 5.3	—
8513	P.4	Soldadura fuerte, soldadura básica con aluminio	NF A 81-331	BS 1845 Gr Al	QQ-B-655	5.10	3677
<b>Alambres para metalizar</b>							
8566	P.1	Alambres macizos para metalizar con llameado	—	—	MIL-W6712	—	—
8566	T.2	Alambres macizos para metalizar con arco	—	—	—	—	—

Otras prescripciones o especificaciones sobre este caso

QQ-A-250:General especificación, además las hojas parciales QQ-A-250 para 30 materiales

WW-T-700:General especificación, además las hojas parciales WW-T-700 para 7 materiales

QQ-A-250:General especificación, además las hojas parciales QQ-A-250 para 17 materiales

(z)=estirado, (P) = extrusionado

Nota. Los datos sobre normas nacionales y extranjeras, igual que las prescripciones y especificaciones , no pretenden ser exhaustivos. En cada país otros reglamentos para aplicaciones concretas: por ejemplo; AFNOR-AIR;BS-I y DTD;en EE.UU;ASME, AMS,MIL y SAE Specifications: en Alemania Normas Din y Normas para la navegación aérea que no se tienen en cuenta aquí.

Tabla 2.1: Resumen de las normas DIN para semielaborados y piezas fundidas, análisis comparativo de normas, prescripciones y recomendaciones según ISO y otros países

Nº DIN	OBJETIVO DE LA NORMA		Francia AFNOR NF...	Gran Bretaña Brit.Std. BS...	EE.UU ANSI Std. Federal Spec.')	ASTM Spec.')	ISO Std Recomm
1795	P.2	Tubos estirados sin costura para uso general	NF A 50-737	BS 1471	—	B 438,B210	—
1795	P.3	Tubos estirados sin costura para conducciones	—	BS 1471	—	B234,B345	—
		Tubos rectangulares estirados	NF A 50-738	—	—	—	—
		Tubos soldados	NF A 50-801,-805	BS 4300/1	—	B 313,B 574	—
9107		Tubos a presión	NF A 50-711/12	BS 1474	QQ-A-200	B241 B 429	—
559751		Tubos y perfiles hexagonales para mecanizado con arranque de viruta en tornos automáticos, estirados sin costura.	—	BS 4300/5	—	B 491 (coiled)	—
		Tubos de aletas (integral finas)	—	—	—	B 404	—
<b>Perfiles extrusionados</b>							
Características mecánicas							
1748	P.1	Perfiles extrusionados	NF A 50-710	BS 1474	QQ-A-200	B 221	R 827
40501		Barras, perfiles para Electrotecnia	—	BS 2898	—	—	—
<b>Condiciones técnicas de suministro</b>							
1748	P.2	Perfiles extrusionados	—	BS 1474	QQ-A-200	—	DIS 6362
G 95 105 P.2)		_, de AlZnMg	—	BS 4300/15	—	—	3335
		_,para reflectores y piezas decorativas	—	BS 4300/4	—	B 308	—
		_,de 6061	—	—	—	—	—
17615	P.1	Perfiles de precisión de AlMgSi0,5	—	—	—	—	—
40501	P.3	Barras,perfiles para Electrotecnia	—	BS 2898	QQ-B-825	—	—
<b>Medidas, tolerancias admisibles</b>							
1748	P.4	Perfiles extrusionados	NF A 50-710	—	—	B 221	—
1771		Perfiles angulares extrusionados: medidas y valores estadísticos	NF A 50-706	—	—	—	—
9712		Perfiles en doble T extrusionados:medidas y valores estadísticos	NF A 50 707	—	—	—	—
9713		Perfiles en U extrusionados:medidas y valores estadísticos	NF A 50-709	—	—	—	—
9714		Perfiles en T extrusionados: medidas y valores estadísticos	NF A 50-708	—	—	—	—
17615	P.3	Perfiles de precisión, de AlMgSi 0,5	—	—	—	—	—
80291-293		Perfiles para construcción naval (plano con bulbo, ángulo con bulbo	—	BS 2614	—	—	1175
5513		Perfiles para vehículos sobre rieles ( con datos sobre resistencia)	—	—	—	—	—
		Perfiles para construcción 6061	—	—	—	B 308	—

Tabla 2.1: Resumen de las normas DIN para semielaborados y piezas fundidas, análisis comparativo de normas, prescripciones y recomendaciones según ISO y otros países

Nº DIN	OBJETIVO DE LA NORMA		Francia AFNOR NF...	Gran Bretaña Brit.Std. BS...	EE.UU ANSI Std. Federal Spec.')	ASTM Spec.')	ISO Std Recomm
<b>Piezas forjadas</b>							
1749	P.1	Forja con estampa	—			B 247	
17606	P.1	Forja libre	—	BS 1472	QQ-A-367		R 829
<b>Condiciones Técnicas de suministro</b>							
1749	P.2	Forja con estampa	—		B 247		—
17606	P.2	Forja libre (sin estampa)	—	QQ-Q-367	—	5191	—
<b>Medidas ,tolerancias admisibles</b>							
1749	P.4	Forja con estampa	—	—	—	—	—
17606	P.4	Forja libre (sin estampa)	—	—	—	—	—
<b>Fundamentos para la construcción</b>							
1749	P.3	Forja con estampa				B 247	
17606	P.3	Forja libre (sin estampa)			QQ-A-367		
<b>Piezas coladas</b>							
<b>Características mecánicas</b>							
1725	P.2	Fundición en arena	NF A 57 702	BS 1490	QQ-A-601	B26	3522
1725	P.2	Fundición en coquilla	NF A 57 702	BS 1490	QQ-A-596	B 108	
1725	P.2	Fundición a presión	NF A 57 703	QQ-A-591	B 85		
<b>Condiciones técnicas de suministro</b>							
1690	P.1	Condiciones generales de suministro para piezas fundidas de materiales metálicos	NF A 57 701	BS 1490	—	—	3522

Tabla 2.3

Símbolos abreviados del material Número del material	Sufijo indicativo del estado	Chapas. Notacion del estado	bandas (DIN 1745 Parte 1)				Resistencia a la traccion		Limite 0.2 R N/mm2 min	Alargamiento de rotura		HB 2.5 /62.5	Bandas delgadas (DIN 1788)		Resistencia a la traccion		Limite 0.2 R N/mm2 min.	Alargamiento de rotura		
			Espesores				R N/mm2 min	R N/mm2 máx		A % min	A % min.		Notacion del estado	Espesores		R N/mm2 min		R N/mm2 máx	A 100 % min.	A 10 % min
			Chapas mas de	mm hasta	Bandas más de	mm hasta			um min			máx.								
Al 99 (cont.)	0.260	F 12	0.35	10	0.35	3	120	160	100	6	4	37	F 12	40	179	120	160	100	1	2
	0.270	F 14 F 16	0.35	10	0.35	3	140	180	120	4	3	42	G 12	180	350	120	160	100	-	6
	0.300												F 16	40	179	160	200	140	1	-
	0.320												F 19	180	350	160	200	140	-	2
	0.340												F 19	40	179	190	-	1	-	2
AlRMg0.5	0.100	W 8	0.35	6	0.35	3	80	120	25-60	23	20	23	Sin normas de resistencia							
3.3309	0.270	G 10	0.35	3	0.35	3	100	140	70	15	12	33								
Al99.9Mg0.5	0.290	G 12	0.35	2.5	0.35	2.5	120	160	90	10	8	38								
3.3308	0.310	G 14	0.35	2	0.35	2	140	180	110	8	6	43								
Al99.85Mg0.5	0.100	W 10	0.35	6	0.35	3	100	140	35-60	23	20	30	Sin normas de resistencia							
3.3307	0.250	G 12	0.35	3	0.35	3	120	160	70	15	12	40								
Al99.9Mg1	0.270	G 14	0.35	2.5	0.35	2.5	140	180	100	10	8	45								
3.3318	0.310	G 15	0.35	2	0.35	2	160	200	130	8	6	50								
Al99.85Mg1	0.320	F 18	0.35	2	0.35	2	180	160	160	4	3	55								
3.3317	0.100	W 8	0.35	3	0.35	3	80	115	30	35	30	25	W 8	21	39	75	110	-	5	-
AlFeSi	3.0915	F 13	0.35	2.5	0.35	2.5	130	170	110	5	4	40	G 11	40	69	80	115	-	10	-
0.260													70	109	80	115	-	15	-	
0.270													110	179	80	115	-	20	-	
0.280													180	350	80	115	30	-	30	
0.290													180	350	110	150	80	-	7	
0.300	F 15	110	179	150	190	130	1	2												
0.320	G 15	110	179	150	190	130	2	3												
	F 17	0.35	2	0.35	2	170	210	150	3	2	50	F 20	110	179	200	180	1	2		
		0.35	1.5	0.35	1.5	190	180	180	3	2	55		180	350	200	180				

Tabla 2.3

Símbolos abreviados del material Número del material	Sufijo indicativo del estado	Chapas. bandas (DIN 1745 Parte 1)										Bandas delgadas (DIN 1788)																		
		Notación del estado	Espesores				Resistencia a la tracción R		Limite 0.2 R N/mm2 min	Alargamiento de rotura A		HB 2.5 /62.5	Notación del estado	Espesores		Resistencia a la tracción R		Limite 0.2 R N/mm2 min.	Alargamiento de rotura A											
			Chapas mas de	mm hasta	Bandas más de	mm hasta	N/mm2 min	máx		% min	% min.			um min	máx.	N/mm2 min	máx		% min.	% min										
AlMn1Mg0.5 (Cont.)	0.28	F 20	0.35	4	0.35	3.0	195	235	175	3	2	65	G 21 F 25	70 180	109 250	205 245	245	-	5 1	-	-									
	0.29	G 20	0.35	4	0.35	3.0	195	235	165	5	4	65										245	230	1	-	-				
	0.30	F 22	0.35	4	0.35	3.0	215	235	195	3	2	75																		
	0.31																													
	0.32	F 24	0.35	4	0.35	3.0	235		220	2	1	80																		
AlMn1Mg1 3.0526	0.10	W 16	0.35	2	0.35	2.0	155	200	60	18	15	45	W 16	40	69	155	195	-	7	-										
	0.24	F 19	0.35	2	0.35	2.0	190	230	155	6	4	55		70	109	155	195	-	10	-										
	0.25	G 19	0.35	2	0.35	2.0	190	230	145	8	6	55		110	179	155	195	-	13	-										
	0.26	F 22	0.35	2	0.35	2.0	220	260	180	4	3	65		180	350	155	195	60	-	15										
	0.27	G 22	0.35	2	0.35	2.0	220	260	170	6	5	65																		
	0.28	F 24	0.35	2	0.35	2.0	240	280	200	3	2	70																		
	0.29	G 24	0.35	2	0.35	2.0	240	280	190	5	4	70																		
	0.30	F 26	0.35	2	0.35	2.0	260		230	3	2	75																		
	0.31	G 26	0.35	2	0.35	2.0	260		210	4	3	75																		
	AlMg1 3.3315	0.10	W 11	0.35	10	0.35	3.0	105	140	35	24	21	32	W 11	110	179	105	135	335	13	-									
		0.24	F 13	0.35	10	0.35	3.0	125	165	95	8	6	42		180	350	105	135		-	20									
0.25		G 13	0.35	10	0.35	3.0	125	165	80	10	8	42																		
0.26		F 15	0.35	10	0.35	3.0	145	185	120	5	4	47	F 15	110	179	145	185	125	2	-										
0.27		G 15	0.35	6	0.35	3.0	145	185	110	8	6	47		180	350	145	185			4										
0.28		F 17	0.35	4	0.35	3.0	165	205	145	4	3	52	F 17	180	350	165	205	145			3									
0.29		G 17	0.35	4	0.35	3.0	165	205	130	6	5	52																		
0.30		F 19	0.35	3	0.35	3.0	190		170	3	2	57	F 19	70	179	190	230		1	-										
0.31		G 19	0.35	2	0.35	3.0	190		160	5	4	57		180	350	190	230	170	-	2										
0.32		F 21	0.35	2	0.35	2.0	210		190	3	2	60	F 22	70	179	220			1	-										
AlMg1.5 3.3316	0.10	W 13	0.35	6	0.35	3.0	130	170	45	23	20	37	Sin normas de resistencia																	
	0.27	G 18	0.35	3	0.35	3.0	175	215	130	10	8	55																		
	0.28	F 20	0.35	3	0.35	3.0	200	240	175	4	3	60																		
	0.30	F 23	0.35	3	0.35	3.0	225		200	3	2	65																		
	0.31	G 23	0.35	2	0.35	2.0	225		180	6	5	65																		

Tabla 2.3

Símbolos abreviados del material Número del material	Sufrido indicativo del estado	Chapas. Notación del estado	bandas (DIN 1745 Parte 1)				Resistencia a la tracción		Limite 0.2	Alargamiento de rotura		HB 2.5 /62.5	Bandas delgadas (DIN 1788)							
			Espesores				R		R	A			Notación del estado	Espesores		Resistencia a la tracción		Limite 0.2	Alargamiento de rotura	
			Chapas mas de	mm hasta	Bandas más de	mm hasta	N/ mm2 min	máx	N/mm2 min	A % min.	A % min.			um min	máx.	R N/mm2 min	máx.	R N/mm2 min.	A 100 % min.	A 10 % min
Al Mg2 Mn 0.8 3.3527	0.1	W 19	0.35	6	0.35	3	190	230	80	20	17	50	Sin normas de resistencia							
	0.1	W 19	6	50			190	230	80	18		50								
	0.07	F 19	5	50			190	230	80	12		50								
	0.07	F 20	10	25			200	240	120	10		60								
	0.07	F 21	6	10			210	250	140	12		60								
	0.24	F 22	0.35	10	0.35	3	220	260	165	9	7	65								
	0.25	G 22	0.35	10	0.35	3	220	260	130	14	12	65								
	0.26	F 24	0.35	10	0.35	3	240	280	190	5	4	73								
	0.27	G 24	0.35	10	0.35	3	240	280	160	10	8	73								
	0.28	F 27	0.35	4	0.35	3	265	305	215	4	3	80								
	0.29	G 27	0.35	4	0.35	3	265	305	190	7	6	80								
	0.3	F 29	0.35	3	0.35	3	290	250	250	3	2	85								
	AlMg2.7Mn 3.3537	0.07	F 22	4	25			215	280	100	17			55	Sin normas de resistencia					
0.07		F 22	25	50			215	100	12			55								
0.25		G 25	4	6			245	305	180	10		75								
0.25		G 25	6	12			245	305	180	8		75								
0.27		G 27	4	6			270	325	200	9		85								
0.27		G 27	6	12			270	325	200	7		85								
AlMg4Mn 3.3545	0.1	W 24	1	6			240	310	100	18		65	Sin normas de resistencia							
	0.1	W 24	6	50			240	310	95	17		60								
	0.24	F 28	1	6			275	330	200	7		80								
	0.25	G 28	1	6			275	330	190	12		80								
	0.27	G 30	1	6			300	360	230	8		90								
AlMg4.5Mn 3.3547	0.1	W 28	0.35	50	0.35	3	275	350	125	17	15	70	Sin normas de resistencia							
	0.07	F 28	4	50			275	125	12			70								
	0.25	G 31	2	40			310	380	205	10		85								
	0.27	G 35	1	6	1	3	345	405	270	6	5	100								

Tabla 2.2 Características mecánicas para planchas , bandas, bandas finas de materiales de aluminio no endurecibles

Símbolos abreviados del material Número del material	Sufijo indicativo del estado	Chapas. bandas (DIN 1745 Parte 1)										Bandas delgadas (DIN 1788)																				
		Notación del estado	Espesores				Resistencia a la tracción		Limite 0.2	Alargamiento de rotura		HB 2.5 /62.5	Notación del estado	Espesores		Resistencia a la tracción		Limite 0.2	Alargamiento de rotura													
			Chapas mas de	mm hasta	Bandas más de	mm hasta	R		R	A	A			um min	max.	R		R	A	A												
							N/mm2 min	máx	N/mm2 min.	% min.	% min.					N/mm2 min	máx	N/mm2 min.	% min	% min												
AlMn1 3.0515	0.10	W 9	0.35	10	0.35	3.0	90	140	35	24	21	28	Sin normas de resistencia																			
	0.24	F 12	0.35	10	0.35	3.0	120	160	90	7	5	40																				
	0.36	F 14	0.35	10	0.35	3.0	140	180	120	5	4	45																				
	0.30	F 17	0.35	3	0.35	3.0	165	205	145	4	3	50																				
	0.32	F 19	0.35	2.5	0.35	2.0	185	165	165	3	2	55																				
AlMnCu 3.0517	0.10	W 10	0.35	10	0.35	3.0	100	145	35	28	25	30	W 10	40	69	100	140	—	10	—												
	0.24 0.25	F 13	0.35	10	0.35	3.0	125	165	90	7	5	40	70	109	100	140	—	15	—													
													110	179	100	140	—	18	—													
													180	350	100	140	35	—	25	—												
	0.26 0.27	F 15	0.35	10	0.35	3.0	145	185	125	5	4	45	G 13	40	69	125	165	—	8	—												
													109	125	165	—	12	—														
	0.28 0.29 0.30	F 17	0.35	3	0.35	3.0	170	210	150	4	3	50	179	125	165	—	15	—														
G 15													40	69	145	185	—	—	—													
G 17													180	350	170	210	150	—	—	6	—											
AlMn0.5Mg0.5 3.0505	0.10	Sin normas de resistencia	0.35	4	0.35	3.0	120	165	50	23	17	35	W 11	40	69	110	150	—	6	—												
	0.27												G 17	70	109	110	150	—	10	—												
														110	179	110	150	—	13	—												
														180	350	110	150	40	—	22	—											
	0.28 0.29 0.30												F 20	0.35	4	0.35	3.0	155	195	140	6	5	50	180	350	170	210	140	140	—	6	—
																								180	350	195	235	175	—	3	—	
																								G 20	70	179	195	235	—	4	—	
																								F 22	70	179	215	255	—	1	—	
180		350	215	255	185	—	3	—																								
0.32	F 24	0.35	4	0.35	3.0	175	215	145	6	5	55	70	179	240	—	1	—															
180	350	240	—	220	—	2	—																									
AlMn1Mg0.5 3.0525	0.10	W 12	0.35	4	0.35	3.0	120	165	50	23	17	35	W 13	70	109	125	165	—	13	—												
	0.24 0.25 0.26 0.27	F 16	0.35	4	0.35	3.0	155	195	140	6	5	50	110	110	125	165	—	15	—													
													180	180	125	165	50	—	22	—												
													G 17	70	109	165	205	—	5	—												
													F 18	0.35	4	0.35	3.0	175	215	155	4	3	55	—	—							
													G 18	0.35	4	0.35	3.0	175	215	145	6	5	55	G 19	70	109	185	225	—	5	—	



Tabla 2.3

Símbolos abreviados del material Número del material	Sufijo indicativo del estado	Chapas. Notacion del estado	bandas (DIN 1745 Parte 1)				Resistencia a la traccion		Limite 0.2 R N/mm2 min	Alargamiento de rotura		HB 2.5 /62.5	Bandas delgadas (DIN 1788)		Resistencia a la traccion		Limite 0.2 R N/mm2 min.	Alargamiento de rotura		
			Espesores				R N/mm2 min	R N/mm2 máx		A % min	A % min.		Notacion del estado	Espesores		R N/mm2 min		R N/mm2 máx	A % min.	A % min
			Chapas mas de	mm hasta	Bandas más de	mm hasta								um min	máx.					
Al 99 (cont.)  0.260 0.270 0.300 0.320  0.340		F 12	0.35	10	0.35	3	120	160	100	6	4	37	F 12	40	179	120	160	1	-	
														180	350	120	160			100
		F 14 F 16	0.35	10	0.35	3	140	180	120	4	3	42		F 16	40	179	160	200	1	-
															180	350	160	200	140	2
															40	179	190	-	1	-
180	350	190	-	170	2															
AlRMg0.5 3.3309 Al99.9Mg0.5 3.3308 Al99.85Mg0.5 3.3307		W 8	0.35	6	0.35	3	80	120	25-60	23	20	23	Sin normas de resistencia							
		G 10	0.35	3	0.35	3	100	140	70	15	12	33								
		G 12	0.35	2.5	0.35	2.5	120	160	90	10	8	38								
		G 14	0.35	2	0.35	2	140	180	110	8	6	43								
AlRMg1 3.3319 Al99.9Mg1 3.3318 Al99.85Mg1 3.3317		W 10	0.35	6	0.35	3	100	140	35-60	23	20	30	Sin normas de resistencia							
		G 12	0.35	3	0.35	3	120	160	70	15	12	40								
		G 14	0.35	2.5	0.35	2.5	140	180	100	10	8	45								
		G 15	0.35	2	0.35	2	160	200	130	8	6	50								
		F 18	0.35	2	0.35	2	180	160	160	4	3	55								
AlFeSi 3.0915  0.250 0.260 0.270 0.280  0.290  0.300 0.320		W 8	0.35	3	0.35	3	80	115	30	35	30	25	W 8	21	39	75	110	-	5	-
														40	69	80	115	-	10	-
														70	109	80	115	-	15	-
														110	179	80	115	-	20	-
														180	350	80	115	30	-	30
		G 11	180	350	110	150	80	-	7											
		F 13	180	350	130	170	110	-	2											
		F 15	0.35	2.5	0.35	2.5	130	170	110	5	4	40		F 15	110	179	150	190	1	-
															150	350	150	190	130	2
															110	179	150	190	130	3
G 15	180	350	150	190	130	-	-													
F 17	0.35	1.5	0.35	1.5	170	210	150	3	2	50		F 20	110	179	200	-	1	-		
													180	350	200	180	2			

Tabla 2.3

Símbolos abreviados del material Número del material	Sufijo indicativo del estado	Chapas. bandas (DIN 1745 Parte 1)										Bandas delgadas (DIN 1788)																		
		Notación del estado	Espesores				Resistencia a la tracción R		Limite 0.2 R N/mm2 min	Alargamiento de rotura A		HB 2.5 /62.5	Notación del estado	Espesores		Resistencia a la tracción R		Limite 0.2 R N/mm2 min.	Alargamiento de rotura A											
			Chapas mas de	mm hasta	Bandas más de	mm hasta	N/mm2 min	máx		% min	% min.			um min	máx.	N/mm2 min	máx		% min.	% min										
AlMn1Mg0.5 (Cont.)	0.28	F 20	0.35	4	0.35	3.0	195	235	175	3	2	65	G 21 F 25	70 180	109 250	205 245	245	-	5 1	-	-									
	0.29	G 20	0.35	4	0.35	3.0	195	235	165	5	4	65										245	230	1	-	-				
	0.30	F 22	0.35	4	0.35	3.0	215	235	195	3	2	75																		
	0.31																													
	0.32	F 24	0.35	4	0.35	3.0	235		220	2	1	80																		
AlMn1Mg1 3.0526	0.10	W 16	0.35	2	0.35	2.0	155	200	60	18	15	45	W 16	40	69	155	195	-	7	-										
	0.24	F 19	0.35	2	0.35	2.0	190	230	155	6	4	55		70	109	155	195	-	10	-										
	0.25	G 19	0.35	2	0.35	2.0	190	230	145	8	6	55		110	179	155	195	-	13	-										
	0.26	F 22	0.35	2	0.35	2.0	220	260	180	4	3	65		180	350	155	195	60	-	15										
	0.27	G 22	0.35	2	0.35	2.0	220	260	170	6	5	65																		
	0.28	F 24	0.35	2	0.35	2.0	240	280	200	3	2	70																		
	0.29	G 24	0.35	2	0.35	2.0	240	280	190	5	4	70																		
	0.30	F 26	0.35	2	0.35	2.0	260		230	3	2	75																		
	0.31	G 26	0.35	2	0.35	2.0	260		210	4	3	75																		
	AlMg1 3.3315	0.10	W 11	0.35	10	0.35	3.0	105	140	35	24	21	32	W 11	110	179	105	135	335	13	-									
		0.24	F 13	0.35	10	0.35	3.0	125	165	95	8	6	42		180	350	105	135		-	20									
0.25		G 13	0.35	10	0.35	3.0	125	165	80	10	8	42																		
0.26		F 15	0.35	10	0.35	3.0	145	185	120	5	4	47	F 15	110	179	145	185	125	2	-										
0.27		G 15	0.35	6	0.35	3.0	145	185	110	8	6	47		180	350	145	185			4										
0.28		F 17	0.35	4	0.35	3.0	165	205	145	4	3	52	F 17	180	350	165	205	145			3									
0.29		G 17	0.35	4	0.35	3.0	165	205	130	6	5	52																		
0.30		F 19	0.35	3	0.35	3.0	190		170	3	2	57	F 19	70	179	190	230		1	-										
0.31		G 19	0.35	2	0.35	3.0	190		160	5	4	57		180	350	190	230	170	-	2										
0.32		F 21	0.35	2	0.35	2.0	210		190	3	2	60	F 22	70	179	220			1	-										
AlMg1.5 3.3316	0.10	W 13	0.35	6	0.35	3.0	130	170	45	23	20	37	Sin normas de resistencia																	
	0.27	G 18	0.35	3	0.35	3.0	175	215	130	10	8	55																		
	0.28	F 20	0.35	3	0.35	3.0	200	240	175	4	3	60																		
	0.30	F 23	0.35	3	0.35	3.0	225		200	3	2	65																		
	0.31	G 23	0.35	2	0.35	2.0	225		180	6	5	65																		

Tabla 2.3

Símbolos abreviados del material Número del material	Sufrido indicativo del estado	Chapas. Notación del estado	bandas (DIN 1745 Parte 1)				Resistencia a la tracción		Limite 0.2	Alargamiento de rotura		HB 2.5 /62.5	Bandas delgadas (DIN 1788)							
			Espesores				R		R	A	A		Notación del estado	Espesores		Resistencia a la tracción		Limite 0.2	Alargamiento de rotura	
			Chapas mas de	mm hasta	Bandas más de	mm hasta	N/ mm2 min	máx	N/mm2 min	A % min.	A % min.			um min	máx.	R N/mm2 min	máx.	R N/mm2 min.	A 100 % min.	A 10 % min
Al Mg2 Mn 0.8 3.3527	0.1	W 19	0.35	6	0.35	3	190	230	80	20	17	50	Sin normas de resistencia							
	0.1	W 19	6	50			190	230	80	18		50								
	0.07	F 19	5	50			190	230	80	12		50								
	0.07	F 20	10	25			200	240	120	10		60								
	0.07	F 21	6	10			210	250	140	12		60								
	0.24	F 22	0.35	10	0.35	3	220	260	165	9	7	65								
	0.25	G 22	0.35	10	0.35	3	220	260	130	14	12	65								
	0.26	F 24	0.35	10	0.35	3	240	280	190	5	4	73								
	0.27	G 24	0.35	10	0.35	3	240	280	160	10	8	73								
	0.28	F 27	0.35	4	0.35	3	265	305	215	4	3	80								
	0.29	G 27	0.35	4	0.35	3	265	305	190	7	6	80								
	0.3	F 29	0.35	3	0.35	3	290	250	250	3	2	85								
	AlMg2.7Mn 3.3537	0.07	F 22	4	25			215	280	100	17			55	Sin normas de resistencia					
0.07		F 22	25	50			215	100	12			55								
0.25		G 25	4	6			245	305	180	10		75								
0.25		G 25	6	12			245	305	180	8		75								
0.27		G 27	4	6			270	325	200	9		85								
0.27		G 27	6	12			270	325	200	7		85								
AlMg4Mn 3.3545	0.1	W 24	1	6			240	310	100	18		65	Sin normas de resistencia							
	0.1	W 24	6	50			240	310	95	17		60								
	0.24	F 28	1	6			275	330	200	7		80								
	0.25	G 28	1	6			275	330	190	12		80								
	0.27	G 30	1	6			300	360	230	8		90								
AlMg4.5Mn 3.3547	0.1	W 28	0.35	50	0.35	3	275	350	125	17	15	70	Sin normas de resistencia							
	0.07	F 28	4	50			275	125	12			70								
	0.25	G 31	2	40			310	380	205	10		85								
	0.27	G 35	1	6	1	3	345	405	270	6	5	100								

Tabla 2.2 Características mecánicas para planchas , bandas, bandas finas de materiales de aluminio no endurecibles

Símbolos abreviados del material Numero del material	Sufijo indicativo del estado	Chapas. bandas (DIN 1745 Parte 1)										Bandas delgadas (DIN 1788)								
		Notacion del estado	Espesores		Resistencia a la tracción		Limite 0.2 R	Alargamiento de rotura		HB 2.5 /62.5	Notacion del estado	Espesores		Resistencia a la tracción		Limite 0.2 R	Alargamiento de rotura			
			Chapas mas de	mm hasta	Bandas más de	mm hasta	N/ mm2 min	máx	N/mm2 min.			A % min.	A % min.	um min	max.	N/mm2 min	máx	N/mm2 min.	A 100 % min.	A 10 % min
AlMg2.5 3.3523	0.10	W 17	0.35	10	0.35	3.0	170	215	60	17	50	W 18	180	350	175	220	70		20	
	0.24	F 21	0.35	10	0.35	3.0	210	250	160	10	8									65
	0.25	G 21	0.35	10	0.35	3.0	210	250	130	12	10									65
	0.26	F 23	0.35	10	0.35	3.0	230	270	180	5	4									73
	0.27	G 23	0.35	10	0.35	3.0	230	270	150	10	8									73
	0.28	F 25	0.35	4.0	0.35	3.0	250	290	210	4	3									80
	0.29	G 25	0.35	4.0	0.35	3.0	250	290	180	7	6									80
	0.30	F 27	0.35	3.0	0.35	3.0	270	240	240	3	2									85
	0.31	G 27	0.35	3.0	0.35	3.0	270	210	210	6	5									85
	0.34																			F 32
AlMg3 3.3535	0.10	W 19	0.35	6.0	0.35	3.0	190	230	80	20	17	50	W 19	70	179	190	230	80	15	20
	0.10	W 19	6	50	-	-	190	230	80	18	-	50								
	0.07	F 19	25	50	-	-	190	80	80	12	-	50								
	0.07	F 20	10	25	-	-	200	120	10	10	-	60								
	0.07	F 21	5	10	3	10.0	210	140	12	-	-	60								
	0.24	F 22	0.35	10	0.35	3.0	220	260	165	9	7	65								
	0.25	G 22	0.35	10	0.35	3.0	220	260	130	14	12	73								
	0.26	F 24	0.35	10	0.35	3.0	240	280	190	5	4	73								
	0.27	G 24	0.35	10	0.35	3.0	240	280	160	10	8	80								
	0.28	F 27	0.35	4.0	0.35	3.0	265	305	215	4	3	80								
	0.29	G 27	0.35	4.0	0.35	3.0	265	305	190	7	6	85								
	0.30	F 29	0.35	4.0	0.35	3.0	290	250	250	3	2	85								
	0.31											F 24								
0.32											G 24	70	179	240	280		5			
											F 27	180	350	265	305	215		8		
											G 27	180	350	265	305	190		3		
											F 29	180	350	290	330	250		6		
											G 29	180	350	290	330	220		2		
											F 32	70	179	320			2	5		
												180	350	320	280			2		
AlMg2Mn0.3 3.3525	0.10	W 16	0.35	6.0	0.35	3.0	155	200	60	20	17	45								
	0.24	F 19	0.35	3.0	0.35	3.0	185	225	140	10	8	60								
	0.26	F 21	0.35	3.0	0.35	3.0	205	245	170	5	4	65								
	0.27	G 21	0.35	3.0	0.35	3.0	205	245	140	10	8	65								
	0.28	F 23	0.35	3.0	0.35	3.0	230	270	200	4	3	72								
	0.29	G 23	0.35	3.0	0.35	3.0	230	270	170	9	7	72								
	0.30	F 26	0.35	3.0	0.35	3.0	255	230	230	3	2	80								
AlMg4.5 3.3345	0.31												G 34	180	350	340	380	250		5
	0.32												F 37	180	350	370	330			2



## **Anexo 5**



***(Fig.1) Chatarra de Aluminio de alta pureza***



***(Fig. 2) Horno de Pozo con Crisol de Carburo de Silicio en etapa de montaje***



***(Fig. 3) Adición de insumos de Fundición y control de Temperatura.***



***(Fig. 4) Preparación de las matrices para la colada.***





**(Fig. 5) Escorificado del aluminio fundido para su posterior colada.**



**(Fig. 6) Producto de Fundición (placas)**



**(Fig. 7) Laminadora Marca MINO (de desbaste)**



**(Fig. 8) Laminadoras Marca MINO Y NASH (de desbaste)**



***(Fig. 9) Laminadoras Marca FARREL Y LEWIS (de acabado)***



***Fig. 10 Productos del Laminado Final que pasan al corte para su posterior recocido.***





***(Fig.11) Horno de recocido***



***(Fig. 12) Recorte en discos del Aluminio Laminado después del Recocido.***



***(Fig. 13) Discos Recortados a diferentes diámetros.***



***(Fig. 14) Recortes del Aluminio que se recicla a fundición.***



***(Fig.15 Productos terminados de Laminacion***



***(Fig. 16) Productos Terminados de Servicios de Fundicion***