



**Universidad Nacional
Autónoma de México**

Facultad de Ingeniería

**Implementación de línea de
Colada Continua para la
generación de cinta
aleaciones de aluminio**

TESIS

**Para obtener el título de:
Ingeniero Industrial**

Presenta:

Ángel Daniel López Duque

Director de Tesis:

Ing. Jorge Luis Romero Hernández





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

“Si he logrado avanzar más rápido, ha sido por porque he subido a hombros de gigantes”

Gigantes a los que siempre estaré en deuda.

Gracias por su confianza.

Índice

| | |
|---|----|
| 1. Introducción..... | |
| Prólogo | |
| Objetivo | |
| Justificación | |
| Resumen | |
| Índice de figuras..... | |
| 1.2. Ventajas sobre otros procesos de fundición..... | 1 |
| 1.3. Defectos comunes en el proceso de fundición tradicional..... | 2 |
| 1.4. Beneficios de la Colada Continua y sus productos | 3 |
| 1.5. Fabricación de cinta de aleaciones de Al por Colada Continua | 3 |
| 2. Aleaciones Tribológicas | 5 |
| 2.1. Tribología | 5 |
| 2.2. Aleaciones tribológicas base aluminio | 6 |
| 2.3. Aleaciones tribológicas base Al-Sn para buje y cojinete..... | 7 |
| 3. Métodos de Colada Continua Al-Sn..... | 9 |
| 3.1. Clasificación del proceso | 9 |
| 3.2.1. Colada en par de rodillos | 10 |
| 3.2.2. Colada de un solo rodillo | 11 |
| 3.2.3. Colada continua por bandas | 11 |
| 3.2.4. Colada por bloques | 12 |
| 3.2.5. Colada con una banda de acero y un rodillo | 12 |
| 3.2.6. Colada continua de arrastre..... | 12 |
| 3.3. Desarrollos actuales..... | 13 |
| 3.3.1. Colada en par de rodillos con dirección horizontal | 13 |
| 3.3.2. Colada por bloques | 15 |
| 3.3.3. Técnicas de colada por bandas de acero | 16 |
| 3.3.4. Combinación de una banda de acero y un rodillo enfriado por agua..... | 17 |
| 3.5. Innovaciones tecnologías en el proceso de colada continua | 20 |
| 3.5.1 Innovaciones en método de bandas desarrollados por Hazelett | 20 |
| 3.5.2 Innovaciones en el método de par de rodillos con inclinación de 15° desarrollados por FATA Hunter | 23 |
| 4. Identificación de la necesidad de la línea de colada continua..... | 24 |
| 4.1 Diagrama de proceso | 24 |

| | |
|--|----|
| 4.2. Descripción de los procesos de manufactura actuales | 25 |
| 4.3. Layout actual..... | 28 |
| 4.4. Personal operativo en las estaciones de trabajo | 28 |
| 5. Propuesta | 29 |
| 5.1. Principales proveedores de la maquinaria..... | 31 |
| 5.2 Maquinaria y especificaciones | 31 |
| 5.3 Comparación de especificaciones de las máquinas y el proceso actual..... | 34 |
| 5.4. Diagrama de proceso actual vs propuesto..... | 36 |
| 5.5. Layout propuesto..... | 37 |
| 5.6. Personal operativo en las nuevas estaciones de trabajo. | 37 |
| 5.7. Definiendo al mejor proveedor | 38 |
| 5.8. Esquema de las instalaciones propuestas..... | 39 |
| 6.-Conclusiones | 42 |
| Glosario | 43 |
| Bibliografía..... | 46 |

1. Introducción

En el presente escrito se presenta un análisis y la propuesta para la implantación de una línea de Colada Continua para la fabricación de cinta aleación Al-Sn en diversos anchos y espesores. Cinta que en proceso sucesivo será sometida a colaminado con cinta de acero de bajo carbono, con la finalidad de aportar rigidez y estabilidad dimensional, para finalmente dirigir el producto final (cinta de aluminio con respaldo de acero) a la manufactura de buje y cojinete.

Se toma como modelo a una planta manufacturera con este problema. Donde su actual proceso de fabricación de cinta utiliza el método de fundición por molde permanente, que en esta tesis denominaré como “fundición discontinua”, está en desventaja e imposibilitado para las satisfacer el abastecimiento a los procesos subsecuentes.

Con el fin de situar el presente trabajo en un entorno actual y concreto, se analizarán los aspectos de elementos de maquinaria, redistribución de planta y procesos entre otros.

Prólogo

El presente trabajo muestra a la Colada Continua como una alternativa viable para la generación de cinta de aleación aluminio-estaño, aleación tribológica usada para la posterior fabricación de buje y cojinete.

Se describen los diferentes métodos de obtención de cinta, los desarrollos actuales y la tecnología de punta incorporada para hacer cada vez más eficiente la manufactura de la misma.

Así mismo se muestran las características más relevantes de la maquinaria y las partes que la componen, para con esto hacer una comparación entre un método discontinuo o tradicional de fabricación y los métodos de Colada Continua para aumento de la tasa de producción.

Para este análisis se incorpora información trascendental de los mejores fabricantes de maquinaria a nivel global, con el objetivo de elegir los mejores métodos y fabricantes de Colada Continua para la fabricación de esta aleación poco documentada.

Objetivo

El objetivo del presente escrito es mostrar las ventajas productivas del uso de una maquina de Colada Continua para la fabricación de cinta de aleación aluminio-estaño y compararlas contra el proceso de vaciado por gravedad en lingoteras. Posteriormente se sugerirá el método y maquinaria adecuada para la fabricación de esta cinta de aleación especial con base a las ventajas que pudiera ofrecer destacándose de otras.

Justificación

Actualmente en México se han establecido las principales empresas de autopartes de Norteamérica, Europa y Asia con la finalidad de garantizar las entregas “justo a tiempo” y facilitar la flexibilidad de producción requerida por las armadoras. 100 de las empresas más importantes de autopartes están en el país, entre las que destacan Robert Bosch, Denso, Delphi, Magna, Visteon, Eaton, Valeo, Bridgestone/Firestone, Johnson Controls, Michelin, Aisin Seiki, Goodyear, Lear, ThyssenKrupp, Faurecia, Siemens, San Luis Rassini, Metalsa, Mahle, Bocar, Federal Mogul, Daimler, Brembo, entre muchas otras.

Estas empresas de autopartes, son altamente motivadas por la demanda de las armadoras actuales y las venideras, provocando que las compañías dedicadas a abastecer las piezas necesarias para en ensamble final, busquen mejores métodos para acelerar la fabricación de sus piezas. Y en este caso las que fabrican buje y cojinete no son la excepción.

Algunas de estas compañías se ven forzadas a importar parte de su producción desde otras plantas manufactureras alrededor del mundo, ya sean estas del mismo corporativo o no, para completar la demanda de insumos de las plantas locales. Dando como resultado un perjuicio en las utilidades generadas en su mayoría por costos de envío y maquila proveniente de terceros.

Este trabajo va dirigido a aquellas empresas del giro metalmecánico automotriz que siguen teniendo cuellos de botella en el área de fabricación de cinta de aluminio, debido al sistema que utilizan de colada en lingoteras, careado, tratamiento térmico de homogenización y laminación por etapas hasta conseguir el espesor de la cinta requerida, para finalmente pasar a un segundo tratamiento térmico de recristalización previo al colaminado con la cinta de acero.

Dicho en otras palabras, en las que la producción del departamento de corte y formado, supera por mucho al de la fabricación de cinta de aluminio con respaldo de acero.

Se presenta una alternativa tecnológica para aumentar la tasa de producción, reducción de procesos y tiempos de entrega, lo que se traduce en aumento de productividad.

Resumen

Las máquinas de Colada Continua de cinta de aluminio que forman el tema principal de la presente tesis tienen una historia de más de un siglo. El concepto original de la colada continua fue concebido a inicios de la segunda mitad del siglo XIX, por el ingeniero Inglés Henry Bessemer, el cual tenía como objetivo inventar un método de alta producción de acero. En el año de 1857 obtuvo la patente de la colada de metal entre dos rodillos con rotación en contrasentido. Con el paso del tiempo, la industria se vio en la necesidad de aplicar esta tecnología a otros metales y sus aleaciones. Aunado al acero, el aluminio y el cobre por sus grandes aplicaciones aseguraron un futuro próspero para este tipo de tecnologías de alta productividad.

Pero no fue hasta la primera mitad del siglo pasado que W. Hazellet inventó una máquina para la generación de cinta de aluminio. Esta nueva máquina se derivó del diseño de Bessemer.

Debido a sus muchas ventajas económicas, la colada continua de aluminio durante los últimos 40 años se ha hecho más importante, tanto que actualmente existen 5 métodos para la generación de cinta y una sexta en

desarrollo. Entre las tecnologías de colada continua, la generación de cinta de aluminio, actualmente representan cerca del 30% de la producción mundial de aluminio laminado semimanufacturado. Estos procesos se utilizan principalmente para la producción de cinta para su posterior laminación o para procesos de deformación de estampa como el embutido.

Este método de colada es preferido en las instalaciones modernas, ya que ofrece una mayor productividad. Sin embargo, hay limitaciones en el uso de esta tecnología porque no todas las aleaciones se pueden trabajar. Este proceso elimina eficazmente las operaciones relacionadas con la fundición de molde tradicional (proceso discontinuo) y genera ahorro de energía en deformaciones posteriores como la laminación en caliente, ya que no es necesario recalentar la cinta luego de colarla, si no que al salir de la zona de solidificación, se aprovecha su elevada temperatura para la inmediata reducción de espesor.

Con los actuales desarrollos tecnológicos, las máquinas de colada continua de cinta de aluminio han venido evolucionando, con el fin de trabajar con una amplia gama de aleaciones, dimensiones y mejores acabados, todo esto sin descuidar las cualidades mecánicas para las aplicaciones finales.

Hoy día se siguen teniendo avances tecnológicos para ampliar todavía aún más la variedad de aleaciones trabajadas. (1)

Índice de figuras

| No. | Descripción | Página |
|-------------|--|--------|
| Figura 1.3A | Defecto: Burbujas de gas en la base del lingote. | 2 |
| Figura 1.3B | Defecto. Rechupe en la base del lingote. | 2 |
| Figura 1.3C | Defecto: Inclusión de escoria. | 2 |
| Figura 2.3A | Cojinete. | 7 |
| Figura 2.3B | Distintos modelos de bujes. | 7 |
| Figura 3.2A | Colada Continua en par de rodillos. | 10 |
| Figura 3.2B | Esquema de la Colada Continua en par de rodillos | 10 |
| Figura 3.2C | Colada Continua Hazelett (1930-1940) | 10 |
| Figura 3.2D | Colada Continua Hunter Engineering | 11 |
| Figura 3.2E | Colada Continua con un solo rodillo | 11 |
| Figura 3.2F | Colada Continua por bandas | 11 |
| Figura 3.2G | Colada continua por bloques | 12 |
| Figura 3.2H | Colada continua banda de acero con un rodillo | 12 |
| Figura 3.2I | Colada continua de arrastre | 13 |
| Figura 3.3A | Colada en par de rodillos con dirección horizontal | 13 |
| Figura 3.3B | Línea de Colada Continua con par de rodillos | 13 |
| Figura 3.3C | Máquina Jumbo 3CM | 14 |
| Figura 3.3D | Colada Continua FATA-Hunter | 14 |
| Figura 3.3F | Colada Continua por bloques | 15 |
| Figura 3.3G | Colada continua por bandas | 16 |
| Figura 3.3H | Colada Continua por bloques | 16 |
| Figura 3.3I | Máquina Hazelett | 16 |
| Figura 3.3J | Colada continua rotatoria | 17 |
| Figura 3.5A | Boquilla de alimentación Strip-Stream | 20 |
| Figura 3.5B | Cinta de acero sin precalentamiento | 20 |
| Figura 3.5C | Cinta de acero con precalentamiento | 21 |
| Figura 3.5D | Respaldo de rodillos magnéticos | 21 |
| Figura 3.5E | Tecnología en la interfaz de moldeo | 21 |
| Figura 3.5F | Interfaz de gas en el molde | 22 |
| Figura 3.5G | Esquema Hazelett con todos los aditamentos | 22 |
| Figura 4.1A | Diagrama de proceso actual | 24 |
| Figura 4.2A | Fundición de la aleación | 25 |
| Figura 4.2B | Filtros cerámicos | 25 |
| Figura 4.2C | Corte transverso del sistema de enfriamiento del molde | 25 |
| Figura 4.2D | Sierra cinta | 25 |
| Figura 4.2E | Distribución de lingotes para tratamiento térmico | 26 |
| Figura 4.2F | Fresado de lingote por medio de fresa con insertos | 26 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 4.2G | Lámina de aluminio con pureza de 99.98% | 26 |
| Figura 4.2H | Revestimiento y colaminado de lingote de aluminio | 26 |
| Figura 4.2I | Cortadora de bobina de acero por medio de cizallamiento | 27 |
| Figura 4.2J | Proceso de colaminado de cinta de aleación Al-Sn con acero | 27 |
| Figura 4.3A | Layout de proceso actual | 28 |
| Figura 5A | Producción de autopartes en México | 30 |
| Figura 5B | Presencia a nivel nacional de Fundición | 31 |
| Figura 5C | Presencia a nivel nacional de Tratamientos Térmicos | 31 |
| Figura 5D | Presencia a nivel nacional de Estampado | 31 |
| Figura 5E | Presencia a nivel nacional de Maquinado CNC | 31 |
| Figura 5.2A | Aluminum Continuous Caster Machine-Silver Atlantic | 32 |
| Figura 5.2B | Aluminum Continuous Casting Machine HZCM | 32 |
| Figura 5.2C | Aluminum Continuous Casting Machine | 33 |
| Figura 5.2D | Hazelett Aluminumstrip Caster AS1320 | 33 |
| Figura 5.2E | Hazelett Aluminum Strip Caster AS1650 | 33 |
| Figura 5.2F | Hazelett Aluminum Strip Caster AS2000 | 33 |
| Figura 5.2G | Horno de fundición Hormesa | 34 |
| Figura 5.2H | FATA Hunter SuperCaster Plus | 34 |
| Figura 5.2I | FATA Hunter The Speed Caster | 35 |
| Figura 5.3A | Tecnología de Colada Continua contra Proceso Actual | 36 |
| Figura 5.4A | Diagrama de proceso actual vs propuesto | 37 |
| Figura 5.5A | Layout propuesto incluyendo la instalación de la Colada Continua | 38 |
| Figura 5.8A | Esquema de una máquina por método de bandas Hazelett | 40 |
| Figura 5.8B | Esquema de una máquina por método de par de rodillos con inclinación de 15° FATA Hunter | 41 |

1.1. Colada Continua

Este proceso es utilizado principalmente para la generación de lámina, placa, cinta, tochos y perfiles fabricados en diferentes metales y aleaciones, todos estos en su mayoría, son productos semimanufacturados, dejando de lado al método de fundición tradicional, que radica en verter el metal líquido en un molde permanente, luego el molde es enfriado por medio de circulación de agua en su interior, posteriormente se retira el lingote solidificado para pasar a otras etapas de proceso como laminado.

La colada continua se define como el proceso en el cual un metal en fase líquido es vertido en un molde abierto de fondo desplazable cuya sección transversal genera un perfil continuo. El material es enfriado, conforme a su avance, con agua en recirculación de forma directa e indirecta dando lugar al sólido deseado. Se denomina continuo porque permite la solidificación y al mismo tiempo el retiro inmediato del metal del molde utilizado. (2)

La colada puede realizarse tanto de forma vertical como horizontal, dependiendo de la densidad y volumen del producto a obtener. Hoy en día, la mayor parte de plantas de Colada Continua operan horizontalmente por las facilidades operacionales, logísticas y seguridad del procedimiento. (1)

El proceso inicia en un horno de fundición, donde es controlada la temperatura y composición química del metal, para luego vaciarlo a través de un distribuidor que regula la cantidad de metal vaciado y después pasar a la coquilla para que el material adopte las dimensiones de ancho y espesor deseado. En dicha coquilla se lleva a cabo un primer proceso de enfriamiento mediante un sistema de refrigeración de agua en recirculación constante que permite una solidificación homogénea y micro estructura uniforme, el control térmico en la solidificación es sumamente importante, ya que éste determina las características físicas y mecánicas del material colado. A su vez, la coquilla está conectada a un mecanismo de rodillos y/o bandas transportadoras con sistema de refrigeración por donde el perfil es conformado y transportado hasta una estación de laminado o corte en la que se le lleva a un espesor y longitud deseado.

Algunos de los procesos posteriores a la colada continua son: laminado en caliente y frío, trefilado, rolado, fresado, colaminado, corte, entre otros.

Y por mencionar los productos finales de fabricación son: envases, utensilios de cocina, placa, latas, cables, bujes, cojinetes, arandelas, tochos, varillas, etc. (3)

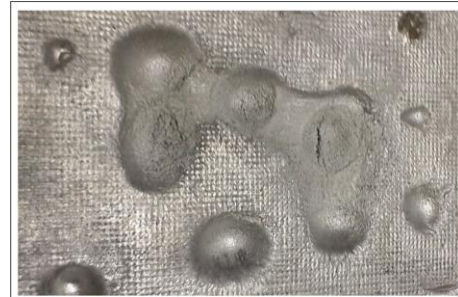
1.2. Ventajas sobre otros procesos de fundición

Una de las grandes ventajas de la tecnología de colada continua es el ahorro de varios procesos productivos. Comparado con el método convencional, los costos de proceso son de una tercera parte y por mucho la mitad que el proceso tradicional, los costos de operación van de un cuarto a una tercera parte y un espacio de trabajo reducido. En la colada continua se necesita menor energía debido a que no es necesario recalentar el material para un laminado en caliente. La productividad es de 15-20% más alta, el consumo de materiales 1.5-2% más bajo. Además de que los nuevos desarrollos tales como los hechos por Pechiney y FATA Hunter ofrecen cinta muy delgada por debajo de los 3[mm] espesor. Lo anterior conduce a menos estaciones o pasos de laminado. La tecnología actual ofrece espesores de 3-20[mm] y anchos hasta de 2.15[cm]. Otra de las ventajas es que inmediatamente de generada la cinta puede ser embobinada o hacerla pasar por un laminador para reducir aún más el espesor aprovechando su alta temperatura. (1)

1.3. Defectos comunes en el proceso de fundición tradicional

Para más adelante entender los beneficios que ofrece el proceso de colada continua es indispensable describir los defectos más comunes que causa la fundición tradicional en el material.

Burbujas de gas: en la fundición por molde permanente este defecto se presenta internamente, con una apariencia redonda o alargada de diferentes tamaños y con superficies internas suaves debido a los gases que producen los moldes, ocasionadas por las altas temperaturas del metal fundido. En la producción de Colada Continua, la coquilla, al estar fabricada de grafito, no produce gases debido a que soporta altas temperaturas, lo que inhibe la formación de burbujas en la estructura metálica. (Fig. 1.3.A)



Defecto: Burbujas de gas en la base del lingote Fig.1.3.A
Cortesía MAHLE Componentes de Motor de México

Rechupes centralizados: vacío que se forma por falta de metal fundido en una sección durante la solidificación. En la fundición continua, el flujo continuo de material fundido a través del horno de alimentación evita que esto ocurra. (Fig. 1.3.B)



Defecto: Rechupe en la base del lingote Fig.1.3.B
Cortesía MAHLE Componentes de Motor de México

Inclusión de escoria: Este residuo no metálico siempre se encuentra en las fundiciones que operan con moldes cerrados. Por lo general, estas impurezas se vierten junto con el metal, provenientes del crisol al molde. Por otra parte, el proceso de Colada Continua comienza vertiendo el metal líquido en el horno de alimentación, también conocido como distribuidor, lo que hace que impurezas, como la escoria, floten en la superficie del metal líquido y facilite retirarlas y mantenerlas alejadas de la salida del metal hacia el molde de grafito o coquilla. (Fig. 1.2.C)



Defecto: Inclusión de escoria Fig.1.3.C
Cortesía MAHLE Componentes de Motor de México

1.4. Beneficios de la Colada Continua y sus productos

La Colada Continua de aluminio se distingue de otros procesos de solidificación por su naturaleza de estado estacionario. El metal líquido se solidifica en contacto con las paredes del molde mientras al mismo tiempo avanza manteniendo una interfaz entre fase líquida-sólida hasta alcanzar la solidificación completa.

Relativamente comparada con otros procesos, la Colada Continua requiere de un capital de inversión más alto, pero por otra parte posee un bajo costo de operación. Éste es el método de mayor eficiencia en costos y energía para producción en masa de productos semimanufacturados con una calidad consistente en una variedad de formas y tamaños. Su sección transversal puede ser rectangular para posteriormente ser laminada en placa o lámina y cuadrada o circular para la fabricación de tochos y perfiles. (4)

Cuando se utiliza la Colada Continua para fabricar papel aluminio, es posible alcanzar espesores inferiores a 0.025 [mm], proceso en el cual, en el último laminado se colocan dos capas juntas para evitar fisuras por lo delgado del papel generando de un lado un acabado brillante (al contacto con el rodillo) y el otro mate (al contacto con la otra cara de papel aluminio). (5)

Otra de las ventajas de la Colada Continua es la eliminación de operaciones relacionadas con el proceso de fundición tradicional o por molde permanente, generando ahorros en la adquisición de matrices del moldeo. Por lo que los costos de capital de proceso son significativamente menores que el proceso convencional. En la Colada Continua, el molde de grafito puede ser adaptado para fabricar productos de diferentes tamaños y formas, así como seleccionar las dimensiones y geometrías que se acerquen a las del producto final.

Los productos elaborados mediante este proceso presentan menor rebaba, ya que permite producir piezas en diferentes formas y dimensiones muy cercanas a la pieza final y con una superficie libre de inclusiones y otros defectos producidos por el vaciado.

1.5. Fabricación de cinta de aleaciones de Al por Colada Continua

Las actuales tecnologías de fabricación de cinta mediante Colada Continua son adecuadas para la fundición del aluminio y sus aleaciones, permitiendo la producción de cinta de 3 [mm] a 20 [mm] de espesor y hasta 2.15 [m] de ancho.

Por otro lado el método convencional para producir planchas es por enfriamiento directo sobre el metal, aunque algunas se producen mediante el vertido de metal fundido en un molde permanente. Después del enfriamiento directo, las planchas se vuelve a calentar a aproximadamente a 500 ° C y se laminan en caliente para posteriormente embobinarse a un espesor deseado.

La mayor ventaja de una instalación de Colada Continua en comparación con las tecnologías convencionales, es el ahorro de procesos de producción en la manufactura de cinta o lámina.

Cuando la Colada Continua para la fabricación de cinta se introdujo por primera vez, parecía tener muchas ventajas las cuales resultaban en mejores dividendos. Sin embargo, pronto se hizo evidente que en algunas de las características del producto final limitaba su uso en comparación con el material producido por el método tradicional.

Las mayores desventajas son las dificultades existentes en la fundición con alto contenido de aleación. No todos los metales se solidifican en el punto más estrecho de la máquina de colada, el metal líquido o semisólido puede salirse de la coquilla, esto es, del molde de fundición. Es posible evitar esto con una tasa de colada inferior, pero incluso esta solución está limitada ya que, si la velocidad de colada es demasiado baja, es posible tener la solidificación en la dirección contraria de la coquilla. En síntesis, la tasa de producción de aleaciones de aluminio es menor que la de aluminio comercialmente puro. Por lo tanto sólo las aleaciones con un contenido de baja aleación se pueden procesar. (1)

2. Aleaciones Tribológicas

Dentro del estudio y desarrollo de nuevas características en los materiales metálicos, cabe destacar la necesidad de nuevas aleaciones que ayuden a desempeñar más eficientemente sus funciones como elementos mecánicos en contacto con otros. El resultado de esto es una ciencia especializada en el estudio de materiales antifricción cuyo nombre es Tribología. En el caso particular de esta tesis me enfocaré a las aleaciones de aluminio.

2.1. Tribología

En sí, la Tribología podría parecer algo nuevo, pero solamente el término como tal lo es, ya que el interés en temas relacionados con la disciplina existe desde antes de que la historia se escribiera. Como un ejemplo, se sabe que las “brocas” realizadas durante el periodo Paleolítico para perforar agujeros o para producir fuego, eran “fijados” con rodamientos hechos de cornamentas o huesos.

Los documentos históricos muestran el uso de la rueda desde el 3500 a.C., lo cual ilustra el interés de nuestros antepasados por reducir la fricción en movimientos de traslación. Los egipcios tenían el conocimiento de la fricción y los lubricantes, esto se ve en el transporte de grandes bloques de piedra para la construcción de templos y monumentos. Para realizar esta tarea utilizaban agua o grasa animal como lubricante.

La palabra Tribología se deriva del término griego *tribos*, que significa frotar, así que la interpretación de la palabra puede ser, “la ciencia del rozamiento”.

Los diccionarios definen a la Tribología como la ciencia y tecnología que estudia la interacción de las superficies en movimiento relativo, así como los temas y prácticas relacionadas.

La Tribología se centra en el estudio de tres fenómenos; **la fricción** entre dos cuerpos en movimiento, **el desgaste** como efecto natural de este fenómeno y **la lubricación** como un medio para evitar el desgaste. Esta ciencia está presente en prácticamente todos los aspectos de la maquinaria, motores y componentes de la industria en general. (6)

Los elementos tribológicos más comunes son:

- **Rodamientos**
- **Frenos y embragues**
- **Sellos**
- **Anillos de pistones**
- **Engranajes y Levas**
- **Bujes y cojinetes**

Por otro lado las aplicaciones más comunes de los conocimientos tribológicos son:

- **Motores eléctricos y de combustión (componentes y funcionamiento)**
- **Turbinas**
- **Proceso de Extrusión**
- **Proceso de Rolado**
- **Proceso de Fundición**
- **Forja**
- **Procesos de corte (herramientas y refrigerante)**
- **Elementos de alojamiento magnético**
- **Prótesis articulares (cuerpo humano)**

La aplicación de los conocimientos de la Tribología en estas prácticas deriva en:

- **Ahorro de materias primas**
- **Aumento en la vida útil de las herramientas y la maquinaria**
- **Ahorro de insumos**
- **Ahorro de energía**
- **Protección al medio ambiente**
- **Ahorro económico**

2.2. Aleaciones tribológicas base aluminio

Las aleaciones tribológicas han sido materia de estudio en las últimas décadas. Mediante el desarrollo y búsqueda de nuevas tecnologías, se ve la necesidad de encontrar elementos mecánicos que generen entre sí, cada vez menos fricción, además de eso, que éstos tengan una larga duración en contra del desgaste. Por otro lado los fluidos de lubricación también hacen su parte para mitigar los impactos negativos provocados por los correspondientes coeficientes de fricción de los materiales en contacto.

Un claro ejemplo de aleaciones tribológicas son las que resultan de la combinación del aluminio como metal base, en conjunto con otros metales que le añaden características especiales destinadas a una aplicación en particular. Los porcentajes de los metales que acompañan a la aleación base normalmente no exceden el 10%, esto va a depender de las necesidades particulares de cada aplicación. Cabe resaltar que en la práctica las aleaciones de esta categoría no se encuentran constituidas por únicamente dos elementos, sino que se agregan otros metales con el fin de mejorar la aleación, pero por estar en un bajo porcentaje no se les nombra.

Por lo que resulta que una aleación Al-Sn puede no ser únicamente de esos dos metales, sino que también puede contener otros como Ti, Pb, Mg, Cu, V, en un porcentaje muy inferior al Sn.

En el caso particular de esta tesis, la cinta de aleación a manufacturar por el método de colada continua es precisamente Al-Sn, orientado a la fabricación de buje y cojinete.

Las aleaciones de aluminio son aleaciones obtenidas a partir del aluminio en combinación con otros elementos tales como Cu, Zn, Mn, Mg, Si, Pb, Sn, entre otros. Estas combinaciones forman parte de las llamadas aleaciones ligeras, con una densidad mucho menor que los aceros ($2.7 \text{ [g/cm}^3\text{]}$) comparada con $7.9 \text{ [g/cm}^3\text{]}$ del acero), elevada conductividad eléctrica y térmica y resistencia a la corrosión en algunos medios, incluyendo el atmosférico. Las aleaciones de aluminio tienen como principal objetivo mejorar la dureza y resistencia del material final.

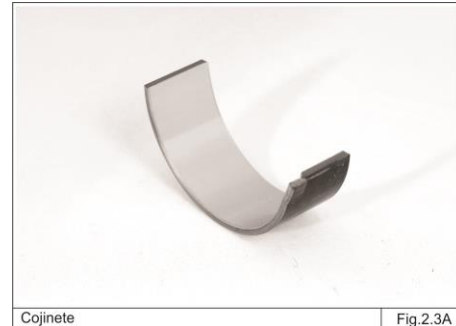
A muchas de estas aleaciones se les puede deformar con facilidad, esto debido a su elevada ductilidad; esta propiedad es evidente en el aluminio puro, el cual se puede convertir en lámina muy delgada y manipularse con facilidad.

Algunas de las aplicaciones más comunes de las aleaciones de aluminio son: partes estructurales de los aviones, latas, envases, partes de las carrocerías de autobuses y de los automóviles (culatas, pistones, bujes, cojinetes, etc).

Actualmente se presta mucha atención a las aleaciones de aluminio y de otros metales de baja densidad tal como el Mg y Ti, para ser utilizados en los medios de transporte debido al efecto de ahorro de combustible. Una importante característica de estos materiales es la resistencia específica, cuantificada como la relación entre resistencia a la tracción y densidad. Aunque una aleación de estos metales tenga una resistencia a la tracción inferior a la de un material más denso como el acero, para un peso determinado puede soportar una carga mucho mayor.

2.3. Aleaciones tribológicas base Al-Sn para buje y cojinete

El cojinete (Fig.2.3A) es un elemento interpuesto entre dos piezas en movimiento relativo y cuya función principal es minimizar el desgaste, reducir las fuerzas de fricción y permitir la transmisión de carga y par. Su geometría básica consiste en una sección cilíndrica hueca en su interior contiene un eje cuyo diámetro es ligeramente menor comparado con el cilindro, lo cual permite un deslizamiento relativo entre ambos elementos. Los sistemas más comunes y geoméricamente más sencillos son aquellos que permite la rotación relativa alrededor de un eje fijo, con una carga aplicada en dirección perpendicular. (7)



Cojinete

Fig.2.3A

La geometría del cojinete es aproximadamente un semicírculo de 180°, a diferencia de éste, el buje presenta una simetría circular cerrada para así completar los 360° de cobertura sobre un eje, el propósito es el mismo que el del cojinete. (Fig. 2.3B)



Distintos modelos de bujes

Fig.2.3B

Tanto el buje y el cojinete poseen un respaldo de acero en el diámetro exterior y una capa de aleación de aluminio en el diámetro interno, el cual estará en contacto con otra superficie tal como un eje rotativo. Esta aleación es precisamente la que se pretende fabricar en la línea de colada continua.

La aleación Al-Sn está clasificada en la serie 8xxx, se le consideran dentro de una categoría llamada aleaciones especiales, las cuales únicamente tienen un fin particular de aplicación: la de rodamientos.

El propósito del estaño en las aleaciones de aluminio es reducir la fricción en aplicaciones. Muchas aleaciones han sido utilizadas como materiales para cojinetes, la mayoría de estas basadas en tener una fase blanda en una matriz de aluminio, tales como Al-Pb y Al-Si, con partículas duras de otros elementos alojadas en la fase blanda. También se ha empleado con bismuto, plomo y cadmio en concentraciones más bajas para proporcionar propiedades de maquinado. Su peso ligero reduce al mínimo las cargas en aplicaciones de movimiento alternativo y por ser un buen disipador de calor mejora la vida útil de los rodamientos.

La mayoría de las aleaciones de Al-Sn contienen de 5,0% a 7,0% de Sn y son ampliamente utilizadas para garantizar baja fricción, resistencia a la compresión, resistencia a la fatiga y la resistencia a la corrosión. (8)

El estaño mejora por mucho la maquinabilidad y además influye en la respuesta de dureza en algunas aleaciones. El estaño tiene un punto de fusión bajo (227.7°C), Por lo que en rodamientos, al someterse a condiciones de calentamiento severo, proporcionan una lubricación líquida en las superficies de contacto, sirviendo de agente reductor de desgaste. El Sn de la aleación se ve sacrificado con el fin de evitar el contacto con el respaldo de acero del rodamiento y causar daños mayores

Las adiciones de cobre, níquel y magnesio contribuyen a la dureza y resistencia y el silicio se añade para mejorar la colada, reducir la fragilidad en caliente y aumentar la resistencia a la compresión. Durante el proceso de fundición se requiere de agitación previa al vaciado para lograr una homogenización correcta, en su defecto el estaño tiende a segregarse por diferencia de densidades.

Las aleaciones de Al-Sn tienen una resistencia mayor que la de los Babbitts a la temperatura de trabajo. Pequeñas adiciones de otros elementos como el cobre níquel no afectan la capacidad de redistribución del estaño por medio del tratamiento térmico. Estas adiciones se disuelven en la matriz del aluminio endureciéndola. También, cuenta con otros elementos salientes como puede ser el silicio de impurezas como el hierro, que proveerán partículas duras que mejoraran la resistencia mecánica, ya que la falla en este caso se da mediante el crecimiento de las discontinuidades del material al estar sometido a cargas cíclicas, por lo que las partículas con morfología esférica frenarán este crecimiento. (9)

Debido a las enormes sollicitaciones a las que está sometido un cojinete de deslizamiento, las propiedades que debe tener una aleación para garantizar elementos de calidad, son:

- Resistencia la compresión: necesaria para soportar la carga radial;
- Resistencia la fatiga: imprescindible para soportar los cambios cíclicos de la carga;
- Compatibilidad con el material del muñón: propiedad de la aleación para no soldarse con otro material cuando trabajan en condiciones de contacto mutuo;
- Incrustabilidad: propiedad fundamental que permite que las partículas extrañas de orden de magnitud de la película lubricante, penetren en la superficie y sean eliminadas sin provocar ralladuras o abrasión;
- Conductividad térmica: para que el calor generado debido a la fricción pueda ser disipado de forma eficiente;
- Coeficiente de expansión térmica: se debe buscar el adecuado para evitar diferencias con el eje. (7)

La empresa modelo en estudio para esta tesis ha desarrollado una nueva aleación Al-Sn para la fabricación de sus rodamientos, esta aleación Al-Sn, combina otros metales en pequeños porcentajes los cuales por secreto empresarial no citaré, pero para nuestro estudio de interés la llamaremos únicamente aleación Al-Sn.

3. Métodos de Colada Continua Al-Sn

3.1. Clasificación del proceso

Clasificación de las diferentes tecnologías de fundición de cinta en base a sus dimensiones del producto final.

- Para fundición de cinta ancha (ancho hasta 2150[mm]);
- Para fundición de cinta angosta (ancho máximo 800[mm]);
- Para cinta que puede ser embobinada inmediatamente después de la fundición (espesor máx. 10[mm]);
- Para cinta que va a ser laminada en caliente inmediatamente de la máquina de colada continua (espesor entre 20 [mm] y 40[mm]);
- Para espesor delgado (menos de 3[mm]).

Clasificación por proceso.

- Horizontal
- Vertical

Clasificación por el tipo de molde

- Fijo
- Paredes móviles

En este último caso las paredes se mueven con el metal fundido, lo que permite la generación de diferentes anchos y espesores, mientras que en el molde fijo las paredes están inmóviles por lo que se le considera una limitante. Comúnmente el molde fijo se utiliza para lingotes o planchas de aluminio en colada vertical.

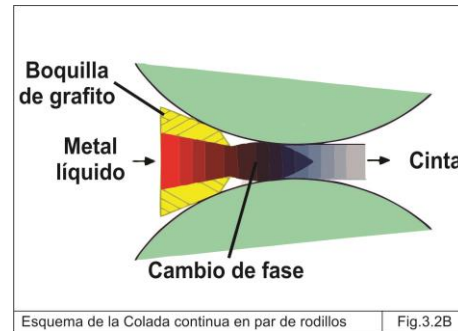
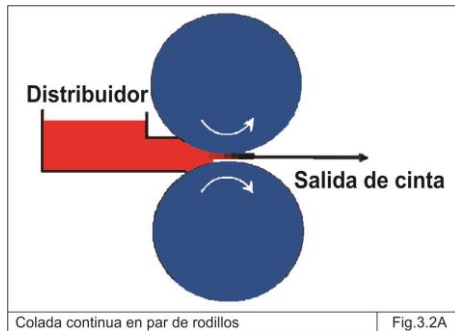
Actualmente existen cinco tipos de fundición para colada continua de cinta de aluminio y se trabaja en un nuevo prototipo. La mayoría de ellos producen cinta o placa de aleación de aluminio. [2]

- Colada en par de rodillos
- Colada de un solo rodillo
- Colada continua por bandas
- Colada por bloques
- Colada con una banda de acero y un rodillo
- Colada continua de arrastre

3.2. Descripción de los métodos de colada continua y sus principales componentes

3.2.1. Colada en par de rodillos

Este es el método de mayor aplicación comercial, especialmente para la producción de lámina para embutido profundo (Figura 3.2A y 3.2B)



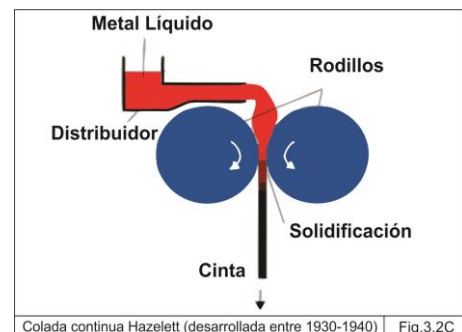
El metal fundido se hace pasar por el espacio entre el par de rodillos que giran en contrasentido, en su interior, los rodillos están refrigerados con agua en recirculación. En poco tiempo el metal fundido que sale de la coquilla y se solidifica debido al contacto con los rodillos. La zona de solidificación es de 10[mm] a 20[mm] de largo, esto dependiendo del diámetro de los rodillos, luego es seguido por laminación en caliente. A la salida de la coquilla debe de existir una distribución homogénea del metal fundido. El material es laminado inmediatamente después del proceso de colada, debido a que el espesor de la cinta se puede reducir considerablemente, esto es, de 5% a 20% de un solo paso, gracias a que a la salida de los rodillos la cinta presenta una temperatura de 400°C a 500°C. En este método de colada la posición puede ser horizontal o vertical. (1)

Dirección de colada vertical

a) Vertical hacia abajo - Hazelett

Para el caso del aluminio, las tecnologías más importantes para la fundición de cinta continua fueron desarrollados por J. Hunter (Hunter-Douglas, Hunter Engineering), W. Lauener (Alusuisse Caster I y II) y W. Hazelett.

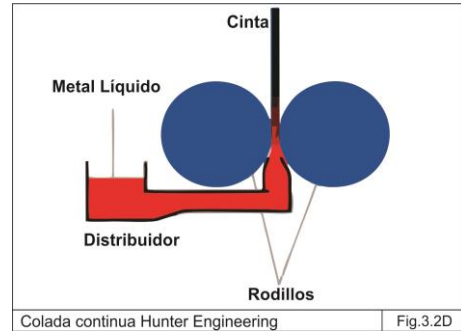
Hazelett construyó la primera máquina para el moldeo industrial de la cinta de aluminio en los años treinta del siglo pasado. Era una máquina de colada de doble rodillo con dirección de colada vertical (Figura 3.2C).



El metal fundido se deposita desde la parte superior, en el espacio entre dos rodillos de colada. La tira sale verticalmente hacia abajo entre los rodillos. La máquina se utilizó para la colada de cinta para la Compañía Crown Cork (EE.UU). (1)

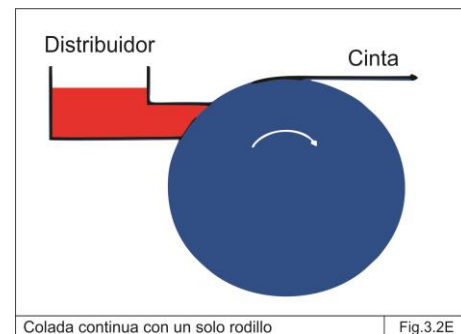
b) Vertical hacia arriba - Hunter Engineering

Desde 1948 el equipo de ingeniería de Hunter se ha sido de los más importantes. En este proceso el metal fundido se alimenta también verticalmente, pero con una diferencia: El flujo de metal es hacia arriba (Figura 3.2D). La coquilla de colada está situada debajo de los dos rodillos. Por la presión metalostática, determinada a partir del nivel de líquido en el distribuidor (tundish), el metal fundido fluye a través de la boquilla e inmediatamente, se pone en contacto con los rodillos. Los rodillos transportan el material solidificado de tal manera que el material recibe una deformación ligera. La cinta sale en la parte superior y comienza a embobinarse. La temperatura de la cinta finalizada es 300°C a 350°C. Es posible colar cinta de hasta 1.7m de ancho y de 6 mm a 9mm de espesor. En caso de ser aleación de Mg el porcentaje se limita a 2% del total de la misma. (1)



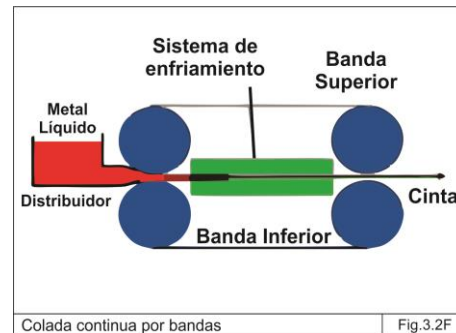
3.2.2. Colada de un solo rodillo

El metal fundido se suministra a la superficie de un rodillo giratorio que es internamente refrigerado por agua. El metal fundido es arrastrado sobre la superficie del rodillo para formar una cinta de bajo espesor, que se enfría en contacto con la superficie del tambor. (Figura 3.2E)



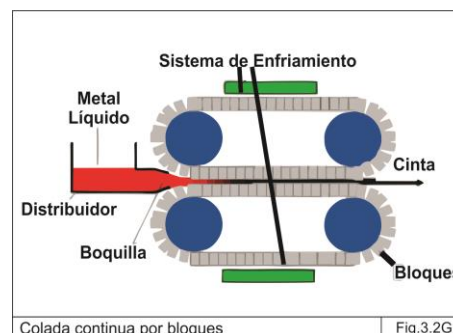
3.2.3. Colada continua por bandas

Dos bandas delgadas de acero y con movimiento en contrasentido están provistas para recibir el metal fundido (Figura 3.2F). Las bandas se someten a gradientes térmicos extremadamente altos al contacto con el metal fundido. En el respaldo de las bandas de acero están dispuestos aspersores de agua para disminuir la temperatura de la misma al contacto con la cinta de aluminio. Este enfriamiento genera la solidificación del metal y por ende la formación de la cinta de aluminio. (1)



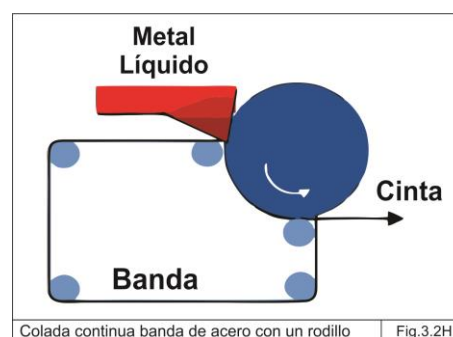
3.2.4. Colada por bloques

Un número determinado de bloques de refrigeración están montados en un par de pistas opuestas que giran en contrasentido. Estos bloques de moldeo requieren un control dimensional preciso para prevenir rebabas causadas por pequeños espacios entre los bloques al momento de recibir al metal fundido o semisólido. Dicha rebaba puede causar defectos en la cinta cuando es laminada en caliente. (1)



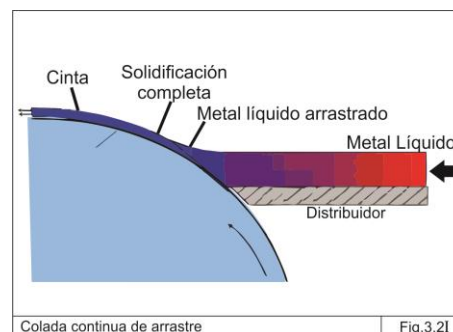
3.2.5. Colada con una banda de acero y un rodillo

En este método, el molde se forma entre la banda y un sector del perímetro del rodillo (Figura 3.2H).



3.2.6. Colada continua de arrastre

Este método implica la utilización de un solo rodillo para la operación de colada continua (Figura 3.2I). En los últimos años, este método hizo frente a muchas dificultades y esta tecnología no ha sido abiertamente introducida a la industria. Sin embargo, recientes desarrollos han hecho que el proceso sea más consistente y adecuado como un sustituto de otros procesos para ciertas líneas de productos. Puede ser un método alternativo para la producción de bajos espesores, pero la tecnología aún está en etapa de desarrollo. Un rodillo prototipo, desarrollado por Reynolds Metals en 1997, la identifica como una colada de arrastre de alta productividad y proceso de bajo costo de inversión. Una característica única es una tasa de enfriamiento muy alta, esto ayuda cuando se quiere cinta de 2mm o menor espesor. Por consecuencia, el producir cinta a un espesor tan bajo como 1mm, reduce el número de pasadas en la laminación. La rueda en su núcleo interno contiene canales de enfriamiento y posee una carcasa exterior ranurada. El metal fundido se hace pasar sobre el rodillo desde el distribuidor, el cual está abierto, y al contacto con el rodillo se enfría al instante. A medida que el rodillo gira, la solidificación se manifiesta y normalmente termina de una a dos pulgadas fuera del distribuidor. Por lo tanto, la solidificación es prácticamente unidireccional. En este proceso debe mantenerse un enfriamiento uniforme y riguroso en el rodillo para evitar variaciones de espesor. La tasa típica para la colada de arrastre es de 50[m/min] y 70[m/min]. Para la mayoría de las aleaciones a esta velocidad se pueden generar espesores de entre 1[mm] y 1.3 [mm]. (1)



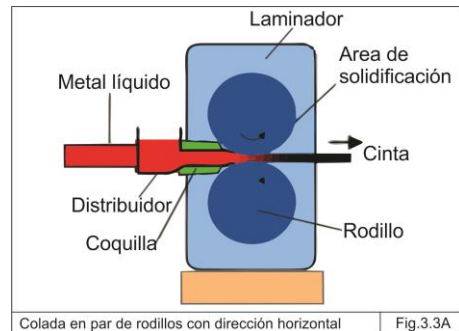
3.3. Desarrollos actuales

3.3.1. Colada en par de rodillos con dirección horizontal

Actualmente las tecnologías de colada continua con alimentación horizontal son de gran importancia para la producción de diferentes anchos de cinta de aluminio, entre 1[m] y 2[m] de ancho y un espesor de entre 6[mm] y 10[mm], en los últimos desarrollos, incluso de 2[mm] a 3[mm]. (1)

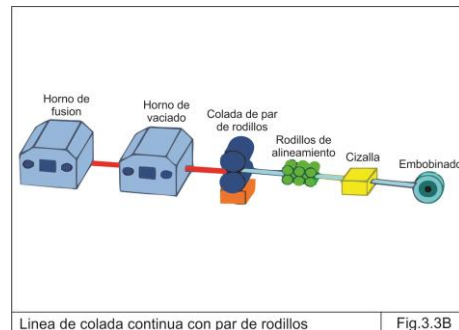
A) Alusuisse I, Jumbo 3C

Los mejores ejemplos de este tipo de máquinas son la **Alusuisse**, de la ex compañía Algroup (Suiza) y la maquina **Jumbo 3C Standard** de la ex compañía Pechiney (Francia), ahora ambas adquiridas por Rio Tinto Alcan (Canadá). La tasa de fundición por lo general depende de la aleación, pero en estas máquinas se encuentra entre 1[m/min] a 5[m/min]. Las más de 100 máquinas de colada continua con dirección horizontal, que se han instalado en todo el mundo presentan la configuración de la Figura 3.3A. La cinta sale horizontalmente de la máquina de colada continua e inmediatamente se embobina en caliente (Figura 3.3B). El tamaño de la bobina se adapta a las dimensiones necesarias para operaciones posteriores.



Estas máquinas son adecuadas para las aleaciones con un intervalo corto de solidificación, por ejemplo las series 1000, 3000 y 5000 con un máximo de contenido de 2.5% de Mg.

Desafortunadamente para la fundición de mayores contenidos de aleación, la tasa de colada debe ser reducida significativamente, dando lugar a una baja productividad. (1)



B) Desarrollo de la máquina Jumbo 3C a la Jumbo 3CM para cinta de bajo espesor

El modelo **Jumbo 3C Standard** produjo una cinta de 1.5 [m] de ancho y 6 [mm] de espesor. El metal líquido se solidificaba entre 2 rodillos refrigerados con un diámetro de 62[cm]. La siguiente generación de máquinas conocidas como **Jumbo 3C** es capaz de fabricar cintas de 2.15 [m] de ancho. El gran diámetro de los rodillos aumento a 96[cm], los cuales generan un crecimiento en la productividad. En ambos casos, estas máquinas muestran varias ventajas metalúrgicas debido a la rápida solidificación de menos de 3 segundos para cintas de 10[mm] de espesor.

Por otro lado la máquina Jumbo 3CM, creada en 1997 (Figura 3.3C) tuvo los siguientes antecedentes: Los últimos fabricantes de cinta habían desarrollado equipos y procesos para reducir el espesor de la cinta de un rango de 6-10[mm] a uno de 3-5[mm]. Aun así, el espesor deseado es de tan solo 2 mm o menos. El conseguir un espesor de 1mm ofrecería la posibilidad de una mayor productividad reflejada en los costos, ya que se ahorra pasos de laminación.

La nueva máquina, cuenta con equipamiento de última tecnología para la obtención de rollos de cinta de aluminio, que incluye un nuevo sistema de refrigeración para los rodillos. La máquina puede trabajar con aleaciones de la serie: 1000, 3000 y serie 5000, con espesores entre los 2 y 3[mm].

Un espesor óptimo por debajo de 3mm permite las siguientes ventajas:

- **Ventajas metalúrgicas debido a la rápida velocidad de solidificación;**
- **La geometría de la cinta es compatible con los requerimientos de alta velocidad en el proceso de laminado en frío;**

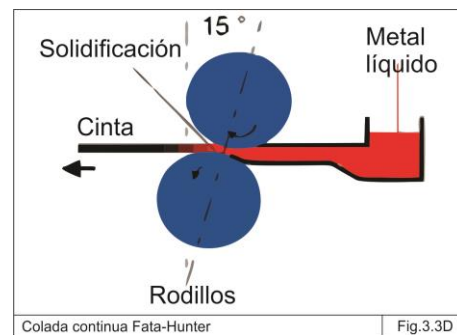
Para utilizar todas estas ventajas la forma y el tamaño de la coquilla se ha rediseñado completamente para regular el flujo del metal y dejarlo libre de turbulencias al suministrarlo en los rodillos. Los nuevos desarrollos en la línea de la Jumbo 3CM, cuenta con una inclinación en la zona de fusión - horno, un sistema de alimentación de metal fundido que incluye una mesa de apoyo motorizado y un sistema de control de nivel automático en el distribuidor y la coquilla. Para algunas aleaciones, éste último parámetro juega un papel muy importante, debido a su influencia en el intercambio de calor entre el metal fundido y los rodillos, ya que esto tiene efectos sobre la estructura del producto. Algunas otras características de la máquina son un laminador de 2 rodillos con refrigeración interna con un diámetro de 1.15 [m]. El nuevo diseño posee un sistema de lubricación de rodillos y un cortador de bordes. El rango del espesor de la cinta es de 1 a 10[mm], un ancho de hasta 2.02 [m]. La cinta es adecuada para la producción de papel de aluminio en espesores de hasta 6,5 μm . Gracias a la estructura de grano fino y la alta velocidad de solidificación la calidad final es excelente. (1)



Máquina Jumbo 3CM <http://www.novelis.com/> Fig.3.3C

C) Colada continua en ángulo - FATA Hunter Speed Caster

Otro de los conceptos más populares, es la máquina FATA Hunter, su característica principal es un ángulo de 15 ° de inclinación en la parte posterior del soporte de los rodillos. Esto permite que el metal fundido ingrese a los rodillos sin turbulencias (Figura 3.3D). Fue desarrollada en el año de 1997 para satisfacer la demanda de calibres de bajo espesor. Está basado en el proceso de par de rodillos, que fue desarrollado por Joseph Hunter en la década de los 50s. Las primeras máquinas conocidas como “Hunter estándar caster” se limitaron en el ancho y la aleación. A finales de la década de 1970 Hunter introdujo una máquina mucho más robusta llamada “SuperCaster”, que ofreció un aumento de la productividad y era capaz de colar una amplia gama de aleaciones con anchos de hasta 2[m].



Colada continua Fata-Hunter Fig.3.3D

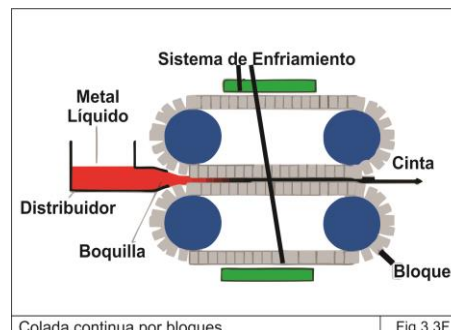
La “SpeedCaster”, es una máquina con laminador de 2 rodillos que se caracteriza por un calibre de bajo espesor y desarrollar altas velocidades y puede producir una cinta de 2.13 [m] de ancho. La máquina está dispuesta para funcionar a velocidades de hasta 38.1 [m/min] y espesores tan bajos como 0.635[mm].

Es adecuada para un proceso donde se requiere laminados de bajo espesor. El proceso de colada suministra el material directamente a un par de rodillos en caliente seguido por otro par que le dará el espesor y acabado final. (1)

3.3.2. Colada por bloques

A) Hunter-Douglas

En los EU Joe Hunter en un principio desarrolló el proceso Hunter-Douglas, el cual trabajó con cadenas de bloques de acero rígido, las cuales tenían enfriamiento interno con agua. Estos bloques de moldeo rotan como orugas. Esta máquina está limitada a anchos de colada alrededor de los 61[cm]. Los espesores trabajados son alrededor de los 16[mm] y la velocidad de colada está en un rango de 2 a 4 [m/min]. El contenido de aleación de magnesio se limita a un máximo de 3.5%.



Para lograr una buena calidad superficial es muy importante ajustar todos los bloques rígidos individuales de manera precisa. Sin embargo, la calidad de la superficie fue limitada debido a las altas tensiones térmicas en los bloques de moldeo, causadas por el flujo de calor unidireccional. Esto significa que el calor pasa directamente desde el metal en solidificación a través del bloque de acero enfriado por agua. Las tensiones térmicas resultantes dieron lugar al agrietamiento por fatiga en la superficie de los bloques de moldeo. En 1970 se desarrolló una innovación en el que los bloques de acero absorben el calor de la solidificación. De esta forma el calor se cede al agua de refrigeración sólo después de que los bloques han perdido el contacto con la cinta solidificada.

B) Alusuisse Caster II

Esta máquina de colada construida por W. Lauener, está produciendo placas y cintas de hasta 1.75 [m] de ancho con espesores entre 10 a 40[mm], con una velocidad de colada de 0.5 a 10 [m/min]. La tecnología es adecuada para una amplia gama de aleaciones, por ejemplo para el aluminio con hasta 5% de magnesio, además de que se puede utilizar para reciclar latas de aluminio. A sus vez, puede ser utilizada para la fundición de materiales que son propensos a sufrir grietas en el caso de un enfriamiento rápido. La capacidad anual puede llegar a 100000 [t/año] con tres turnos de trabajo.

El sistema de enfriamiento posee dos juegos de bloques que rotan para formar una cavidad de molde móvil, en el que se vierte el metal líquido. Debido al contacto con los bloques de enfriamiento, el metal se solidifica. La cinta es transportada junto con estos bloques hasta que se enfría lo suficiente como para salir de la máquina de colada. Los bloques van y vienen, y cuando retornan el calor absorbido se elimina por enfriamiento externo. Este método de enfriamiento con su construcción única es la razón de la capacidad de producir una gama más amplia de aleaciones. Los bloques pueden ser usados en temperaturas entre 50 ° C y 200 ° C. (1)

3.3.3. Técnicas de colada por bandas de acero

Este es el método para solidificar el metal fundido entre dos bandas de acero rotativas. Algunos ejemplos de este tipo de colada son las máquinas Hazelett Caster y Kaiser Caster.

A) Hazelett Caster

En esta máquina el metal fundido se solidifica entre dos bandas de acero rotativas de un espesor de 1.5[mm]. Con esta tecnología se produce cinta de 1.5 a 2.5 [cm] de espesor y hasta 2[m] de ancho. Este tipo de maquinaria se utiliza para la manufactura de papel aluminio y lamina para latas de aluminio. El proceso se muestra esquemáticamente en la figura 3.3I

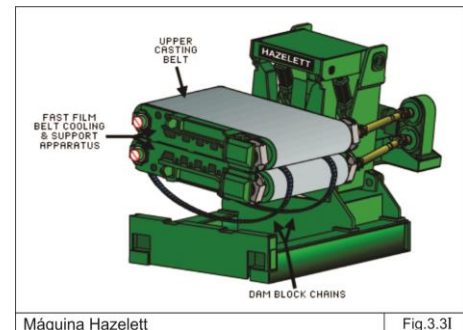
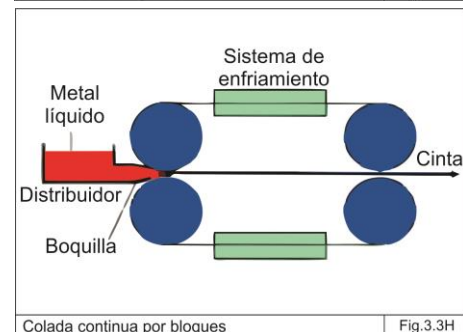
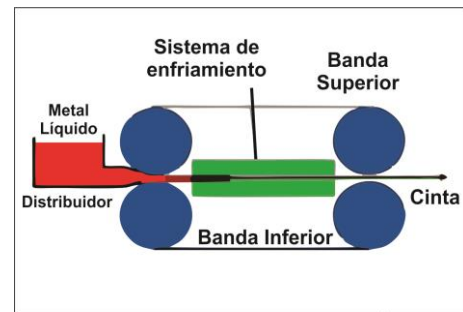
El principio de funcionamiento es verter el metal fundido en el espacio entre las cintas a través de una coquilla, la cual debe de tener el mismo ancho que la cinta que se desea generar. En este espacio entre las bandas el metal se solidifica y se extrae de la máquina por un sistema de rodillos que generan tracción. La tasa de colada es de 5 a 9[m/min]. La cinta luego de salir de la máquina a una temperatura de 420°C a 460°C, es inmediatamente laminada en caliente entre 2mm a 6mm para luego embobinarse. La cinta se embobina a una temperatura alrededor de los 200°C.

La diversidad de aleaciones que se pueden trabajar, son mayores que en el caso de la máquina de par de rodillos, con un límite para el contenido de magnesio de 3%. Sin embargo, los mejores resultados se obtienen con aluminio puro y aleaciones AlMn. El producto no es adecuado para aplicaciones donde se desea buen acabado en la superficie. (1)

B) Kaiser Caster

Las máquinas de bandas y bloques dejaban de lado la calidad en la superficie de la cinta, lo cual no satisfacía la demanda para la creación de latas de bebida. Es por eso que se creó una nueva máquina de colada continua llamada Kaiser. Este concepto se basa en una línea de colada continua de lámina para la fabricación de latas. Posee laminación en caliente, recocido y temple, molinos de laminación en frío y embobinado. El proceso ofrece muchas ventajas sobre los trenes de laminación, tales como: importantes reducciones en el tiempo de proceso y un mantenimiento sencillo. Kaiser Aluminum y Hazelett Strip Casting Corporation son las empresas que desarrollaron en conjunto esta tecnología en 1997.

El espesor de la cinta de aluminio está relacionado con el espesor de las bandas de acero, la temperatura de retorno de las mismas, la temperatura de salida de la cinta y el metal que se está fundiendo. La ausencia de refrigeración en el lado posterior de la banda de acero reduce significativamente gradientes térmicos y elimina los problemas de ebullición de la película que se producen en la zona de colada cuando el flujo de calor crítico es excedido. Otra característica es el fácil inicio de proceso o puesta a punto: un producto de calidad está disponible en 15 minutos. Otra ventaja es que la cinta se libera sin problemas aunque se adhiera



brindando una alta tasa de producción. La temperatura de la cinta de aluminio a la salida de las bandas de acero es suficiente para incluir una línea de laminación en caliente. (1)

3.3.4. Combinación de una banda de acero y un rodillo enfriado por agua.

El Rigamonti y la colada rotatoria

La máquina Rigamonti utiliza un rodillo y una banda de acero para formar el molde, dentro del cual se vierte el metal fundido. Se puede utilizar para producir cinta de hasta 20cm de ancho. La velocidad de colada es de 14 [m/min], esta máquina es un desarrollo posterior de la máquina original de Rigamonti. Mediante la adición de un rodillo guía, la cinta colada sale de la unidad en una dirección horizontal sin ninguna desviación. Se utiliza para producir cinta de hasta 500 x 20 [mm] de sección transversal. Esta cinta angosta se utiliza principalmente para la producción de pequeños discos ("slugs"), utilizados para la extrusión de contenedores de aerosol, latas y tubos. Otra aplicación es la elaboración de láminas de revestimiento, que se colocan en la fachada exterior de las casas estilo norteamericano. (1)

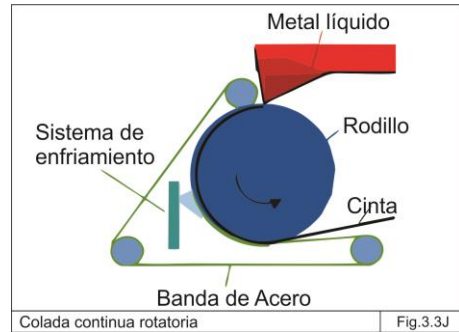
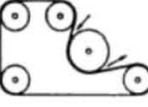
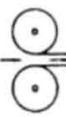
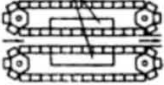

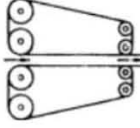
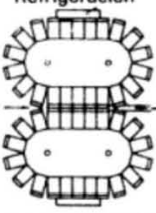
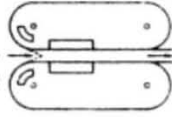
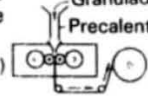


Tabla 3.3A con resumen de los procedimientos industriales utilizados para la fabricación de cinta de aluminio.

| 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 ¹⁾ | 1 hasta 1,8 ¹⁾ | 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 lingo-tera de fibra de vidrio) ³⁾ |  | 1460 | apr. 30 hasta 40 | apr. 0,5 | apr. 2,4 | 5% |
| Laminadores de banda de sinterizado Nr. 2 994 102 ²⁾ | Granulado 950 Pre calentador  | | 2 hasta 4 ¹⁾ | 20 hasta 80 ²⁾ | apr. 25 | 12% |

¹⁾ Referido a aluminio puro
²⁾ Después de la laminación en banda de sinterizado
³⁾ No se conoce ninguna aplicación industrial de estos procedimientos

Origen: Tabla 1.8 Manual del Aluminio Escrito por W. Hufnagel Pag.27

3.4. Parámetros que intervienen en el proceso de Colada Continua

Las principales características de las diferentes tecnologías de la Colada Continua son: la rápida solidificación y la velocidad de enfriamiento posterior a la solidificación, estos factores pueden afectar la estructura en comparación con productos de colada convencional. Los productos de Colada Continua muestran una sobresaturación en elementos o impurezas de la aleación, que pueden tener efectos en subsecuentes tratamientos térmicos. Otra característica es la gran densidad de imperfecciones y la segregación en la superficie.

Por esta razón, los productos de máquinas diferentes, pueden tener una gran variedad de estructuras y propiedades entre ellas. Sin embargo, algunas de las características principales de todas estas cintas coladas se pueden resumir en el tamaño de grano y la sobresaturación.

Otras diferencias son creadas por diferentes tiempos de fusión en los hornos a altas temperaturas, las cuales pueden conducir a una reducción de la sobresaturación y al engrosamiento del grano. Por lo tanto, no todas las características antes mencionadas se encuentran en el mismo grado en cada colada continua. En consecuencia, dependiendo del proceso, las coladas continuas muestran diferencias en la estructura y propiedades. (1)

Colada continua de par de rodillos

Muestra varias ventajas metalúrgicas, debido a la rápida solidificación, por ejemplo en la máquina de Pechiney, en menos de 3 segundos se obtiene una cinta de 10 mm de espesor. Una estructura de colada fina se obtiene con dendritas finas y un tamaño de grano fino, con esto la segregación se ve reducida. Por lo tanto algunas aleaciones pueden tener mejores propiedades para producir lámina para proceso de embutido que otras. Después de la colada el material tiene que ser laminado en frío, donde un alto grado de deformación trae una buena calidad de la superficie.

Colada de arrastre

Debido a su alta velocidad de enfriamiento, la colada continua de arrastre permite modificaciones únicas en aleaciones donde se obtienen mejoras de en las propiedades físicas. La solidificación es prácticamente unidireccional; un fenómeno que tiene tanto ventajas y desventajas. Por otro lado, la solidificación irregular puede conducir a la estructura homogénea no deseada.

La colada de cinta por bloques

En su mayoría no pueden igualar la calidad de los laminados en caliente convencional de la cinta, porque su superficie es rayada debido a los espacios entre los bloques. En comparación con la colada de par de rodillos, la cinta tiene una sobresaturación inferior con los elementos manganeso hierro y silicio. (1)

3.5. Innovaciones tecnológías en el proceso de colada continua

Los proveedores con más experiencia en la fabricación y uso de aleaciones han desarrollado nuevos dispositivos que se adaptan a la maquinaria de la colada continua para dar todavía aún más ventajas al producto durante el proceso. Las dos compañías a nivel mundial que muestran mayores avances en sus investigaciones y desarrollos son Hazelett y FATA Hunter. Cada una de ellas en sus correspondientes tecnologías, por medio de bandas y par de rodillos respectivamente, modernizan los equipos para lograr una automatización plena, ahorro de tiempos, la generación de un producto bajo tolerancias muy cerradas tanto para anchos y espesores, controles de temperatura, entre otros. Es por eso que se dedica este punto a mostrar y destacar aquellos avances que hacen hoy día de la colada continua uno de los procesos más altamente eficientes. (10)

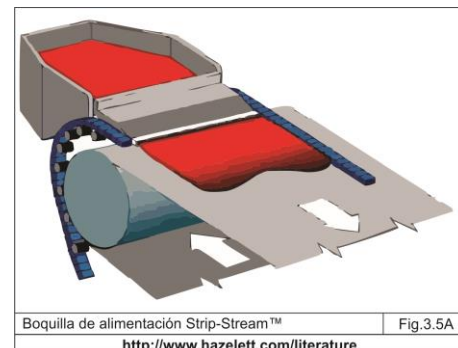
3.5.1 Innovaciones en método de bandas desarrollados por Hazelett

Hazelett ha desarrollado importantes avances en el proceso de fundición que mejoran la capacidad transferencia de calor y la uniformidad del mismo.

Coquilla de alimentación “Strip-Stream”

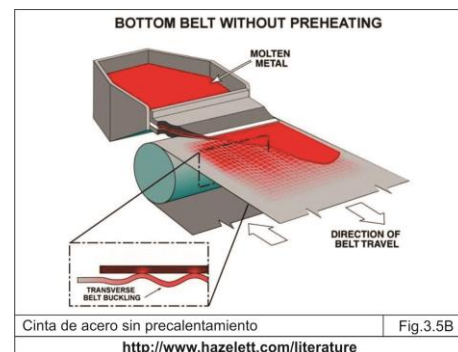
Usando una coquilla convencional para alimentar el metal, la turbulencia de múltiples flujos de metal dentro del molde de fundición resulta en tasas de solidificación irregulares provocando una superficie rayada en la cinta de aluminio final.

La coquilla de alimentación “Strip-Stream” combina las corrientes de metal separadas en una sola antes de entrar al molde, esto evita turbulencia en el molde y brinda tasas uniformes de solidificación.(Figura 3.5A)



Estabilización de la banda de fundición

Tasas de solidificación relativamente altas son necesarias cuando se trabaja con aleaciones con un amplio rango de solidificación, si es que se quiere alcanzar una buena superficie y estructura interna. Las bandas de acero deben permanecer completamente planas a las elevadas temperaturas y tasas de transferencia de calor. Cualquier distorsión térmica que puedan tener generará variaciones locales resultando en una mala superficie y en casos extremos porosidad y grietas en la cinta de aluminio.

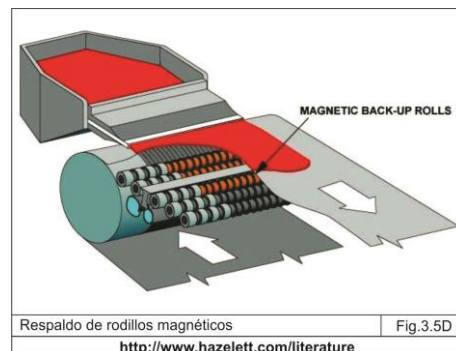
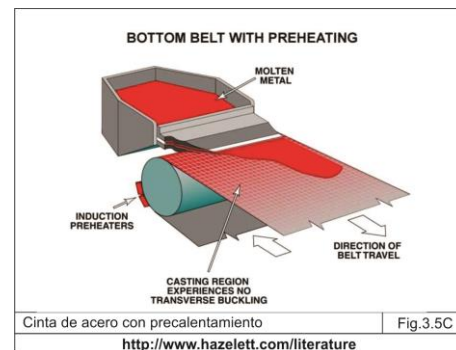


El principal elemento de distorsión es el que llaman “cold framing”. Este marco frío impide el calentamiento de la banda en la zona del moldeo se expanda en sentido transversal a medida que gana temperatura.

Este problema se superó mediante el precalentamiento en la banda de acero a una temperatura tan alta como a la salida del molde. La figura 3.5B muestra la banda fría y la figura 3.5C muestra la banda con precalentamiento. Otro beneficio es que cualquier signo de humedad en el revestimiento de la banda, el cual podría causar defectos de superficie, es eliminado.

Otro factor que provoca distorsión en la banda es el efecto de torcimiento térmico debido a la diferencia de temperaturas de un lado de la banda al otro. Esta distorsión se previene usando una banda de sujeción magnética.

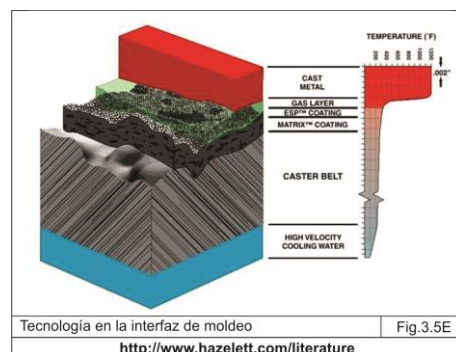
En la figura 3.6D, se aprecia los rodillos instalados para estabilizar la banda en las regiones críticas asegurando una calidad superficial a la cinta de aluminio. La fuerza magnética mantiene a la cinta de acero en un plano preciso. Con esto una amplia gama de aleaciones pueden ser fabricadas sin distorsión de la banda de acero. (10)



La tecnología de interfaz de moldeo

Con una banda estabilizada magnéticamente, es posible enfocarse en la interfaz entre la banda de acero y la cinta de aluminio que se está solidificando. En la figura 3.6E se muestra el esquema de trabajo y las diferentes capas involucradas en el proceso de colada.

Se puede ajustar la composición, espesor, textura y porosidad del revestimiento de la matriz para alcanzar una transferencia de calor de línea base deseada. Con la tecnología de interfaz de moldeo, se puede controlar la humectación y ajustes adicionales en la transferencia de calor, generando la habilidad para controlar la tasa de transferencia de calor para una aleación en particular. También se puede controlar la atmósfera para evitar la oxidación de la superficie solidificada. (10)



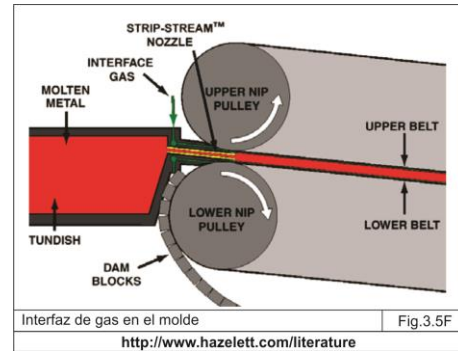
Sistema de recubrimiento ESP™

Una poderosa herramienta para ajustar y controlar la humedad en el molde es el sistema de recubrimiento ESP™. Un polvo fino es cargado electrostáticamente y son atraídos por la banda de acero. El resultado es una fina y uniforme capa de polvo aplicada a una tasa que puede ser ajustada para diferentes aleaciones y condiciones atmosféricas. Este recubrimiento cambia la cantidad de humedad de la superficie del molde y previene la adherencia de la cinta de aluminio a la banda de acero en algunas aleaciones de aluminio.

Interfaz de gas al molde

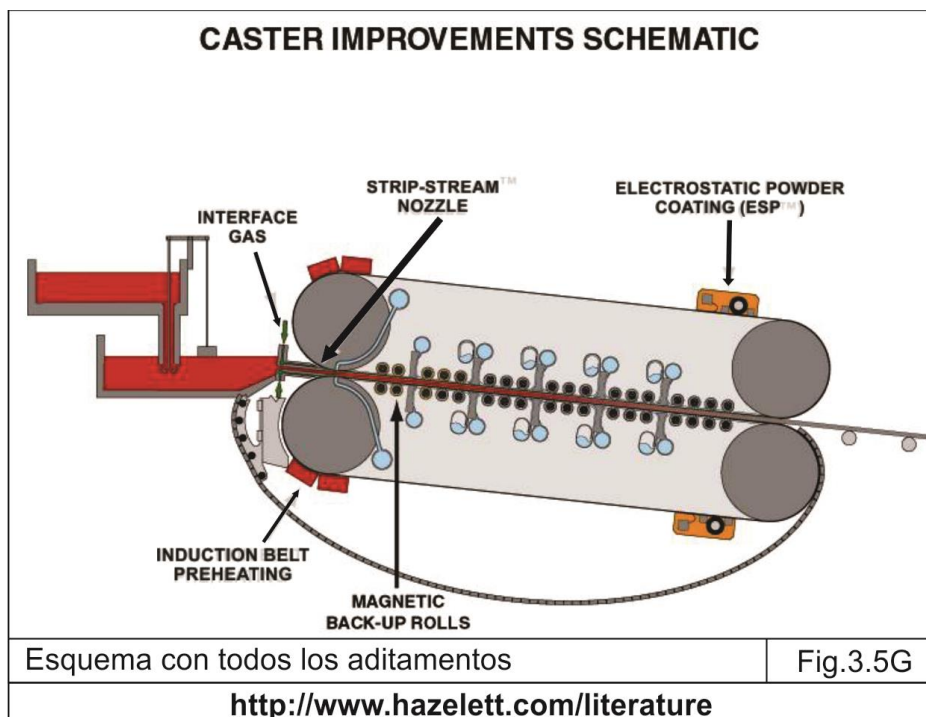
La introducción de gases en la interfaz entre el recubrimiento y la superficie de solidificación es tal vez la herramienta más útil para ajustar y controlar la conductividad del calor en el molde. En la figura 3.6F se muestra que la interfaz de gas está siendo introducida al mismo tiempo que el metal líquido entra al molde. Los gases no son aplicados únicamente para controlar la oxidación, sino que también para realizar la transferencia de calor desde la cinta de aluminio que se está solidificando. Un ejemplo de esto es la introducción de helio dentro de la interfaz del molde puede incrementar satisfactoriamente la tasa de solidificación.

Esto puede ser importante en aleaciones con un amplio rango de solidificación cuando las altas tasas de transferencia de calor son necesarias para tener la mejor superficie y estructura interna en la cinta de aluminio. Los gases deben ser aplicados a través del ancho de la cinta o tanto como sea necesario, o inclusive sobre ciertas secciones a través del ancho de la cinta, dándole al operador una herramienta útil para controlar la temperatura de la cinta a la salida, la cual es importante para el trabajo de laminado en la misma línea.



Interfaz de gas en el molde Fig.3.5F
<http://www.hazelett.com/literature>

Las herramientas desarrolladas y disponibles para controlar el proceso de solidificación en las máquinas de Hazelett permiten corridas de fundición sin comprometer la calidad de la cinta. Un recubrimiento durable de la banda de acero combinado con las técnicas de estabilización y la tecnología de interfaz de molde hacen que el sistema de colada continua por método de bandas muy flexible y amigable con el usuario. (10)



Esquema con todos los aditamentos

Fig.3.5G

<http://www.hazelett.com/literature>

3.5.2 Innovaciones en el método de par de rodillos con inclinación de 15° desarrollados por FATA Hunter

Al igual que la colada continua por método de cintas desarrollado por Hazelett, la metodología de par de rodillos ha evolucionado gracias a los desarrollos hechos por FATA Hunter, la cual con el objetivo de cubrir las necesidades y retos de nuevos mercados en el campo del aluminio reinventa ingeniosos dispositivos para hacer más eficiente el proceso. (11)

Adaptabilidad y retro compatibilidad de rodillos

Tan sólo dos diámetros de rodillos están disponibles, uno de 675 [mm] de ancho con 650 [t] de fuerza y otro de 700 [mm] de ancho con 740 [t] de fuerza para cintas muy anchas de aleaciones muy duras. La máquina puede también adaptarse a trabajar con los rodillos de 620 [mm] de diámetro para aquellos clientes que poseen máquinas más antiguas y quieran hacer intercambio de rodillos entre las antiguas y nuevas máquinas. Con el objetivo de minimizar los costos de diseño, están disponibles únicamente dos anchos de rodillos, uno de 1320 [mm] y otro de 1500 [mm].

Manejo de la máquina

Los rodillos son conducidos independientemente usando dos cajas de engranes planetarios y frecuencia variable AC que ajustan el uso de diferentes diámetros de rodillo. Esta condición es necesaria porque en estas máquinas pequeñas se tiene la tendencia de que se les pegue la cinta de aluminio en los rodillos. En el caso de la Super Caster Plus se caracteriza por un gran diámetro en los rodillos, un gran torque en el motor y fuerzas de laminado. Las máquinas incorporan inclinación de 15°, rodillos con gran diámetro con control individual y la capacidad de controlar los bucles.

Sistema de atomizado

Para asegurar la fiabilidad de la operación, alta productividad y buena calidad de superficie, las características del sistema de atomizado incorporan el mismo sistema que en la boquilla con un control del PLC. Este sistema sólo se encuentra en las máquinas más grandes.

The h-System

El sistema ofrece 0, 1 y 2 niveles capaces de controlar la línea de colada, generando datos y registros de funciones, reportes, registros de producción, resolución de problemas y capacidades de diagnóstico lo cual lo convierte en un sistema amigable con el usuario y una interfaz intuitivamente humana.

Scanner X-ray

El escáner de rayos X sirve para regular el espesor de la cinta y provee un control automático.

Optiflow System

Este sistema de alimentación de metal fundido, crece su diseño facilita los cambios de anchos en la aleación con una mínima alteración en los componentes. Éste permite un control fino de la distribución del metal, velocidad y temperatura uniformes a través todo el ancho de la cinta, generando mayor productividad. Éste sistema ha sido especialmente diseñado para la industria de la colada continua del aluminio. La técnica de manufactura usada y las propiedades químicas, físicas y mecánicas le permiten la producción de cinta de aluminio de alta calidad para embobinada inmediatamente después de ser iniciada. (10)

4. Identificación de la necesidad de la línea de colada continua

4.1 Diagrama de proceso

El presente diagrama muestra los distintos procesos que se llevan a cabo para la manufactura de la cinta de Al-Sn con respaldo de acero para la fabricación de bujes y cojinetes (amarillo).

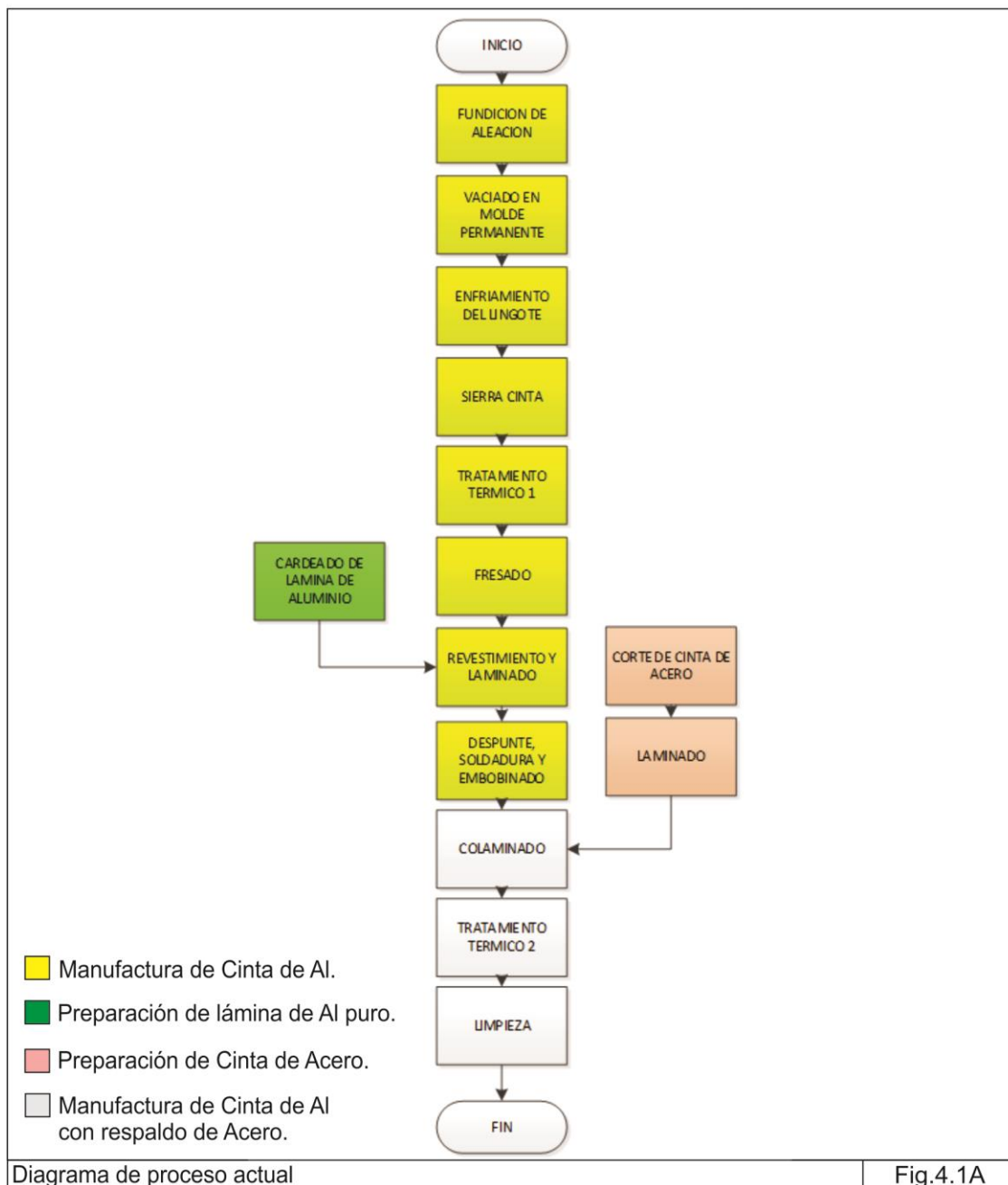


Fig.4.1A

4.2. Descripción de los procesos de manufactura actuales

A continuación se describen los procesos de manufactura por el método molde permanente, la descripción se hará a grandes rasgos y con algunas omisiones intencionalmente.

Fundición de la aleación AlSn: Una carga de Al, Sn y otros metales complementarios (5% de Sn aprox.) se disponen a ser fundidos en un crisol de grafito. La aleación cambia de fase a una temperatura de 660 °C pero se eleva hasta los 750°C ±20°C para facilitar el vaciado. Durante el cambio de fase se retiran escorias del metal fundido para eliminar la mayor cantidad de impurezas de la superficie y agitaciones con el fin de homogenizar la aleación.



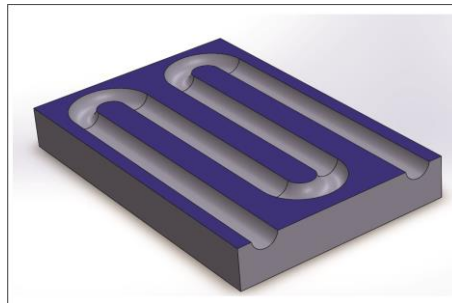
Fuente: <http://www.fipsa.com.mx/fundicion-de-metales/> Fig.4.2.A

Vaciado en molde permanente: Un filtro cerámico es colocado en un embudo (previo al molde) por el cual se hace pasar el metal fundido, el filtro retiene impurezas que no se eliminan en el paso anterior. El metal fundido llega al molde metálico dando lugar a un lingote de forma rectangular. Las dimensiones aproximadas del lingote (50cmx20cmx5cm).



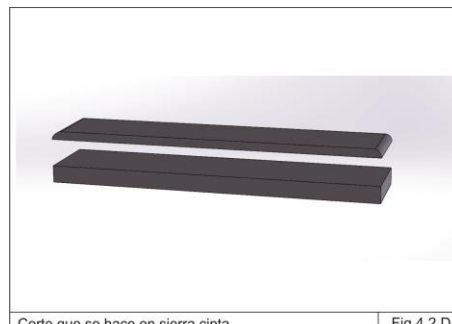
Fuente: <http://buenos-aires.all.biz/filtro-ceramico> Fig.4.2.B

Enfriamiento: En el interior del molde permanente hay un sistema de cavidades por donde fluye agua para el enfriamiento del lingote.



Corte transverso del sistema de enfriamiento del molde Fig.4.2.C

Sierra cinta: En esta máquina es cortada la cara superior del lingote con dos objetivos, hacer el lingote lo más parecido a un prisma rectangular, ya que en el enfriamiento las fuerzas de adhesión y cohesión presentes en el molde generan en la cara superior filetes en las orillas del material las cuales son indeseables para procesos posteriores. Por otro lado se eliminan impurezas y porosidades generadas en el enfriamiento.



Corte que se hace en sierra cinta Fig.4.2.D

Tratamiento térmico 1: Los lingotes son colocados en un carro especial que mantiene cierta distancia entre lingotes con el fin de homogenizar la temperatura para todos. El tratamiento se lleva a cabo en un horno de caja., alimentado por gas LP, el tratamiento térmico elimina las tensiones en el material provocadas por el enfriamiento. Al finalizar los lingotes se dejan enfriar dentro del horno hasta temperatura ambiente.



Distribución de longotes para tratamiento térmico Fig.4.2E
Cortesía MAHLE Componentes de Motor de México

Fresado: El objetivo es darle rugosidad a las superficies con el propósito de facilitar que se adhiera una lámina delgada de aluminio puro en cada cara del lingote en el proceso de revestimiento (cladding). La limpieza en este proceso es primordial, ya que partículas de polvo y otros contaminantes evitaran la adherencia entre el lingote de Al-Sn y las láminas de aluminio puro.



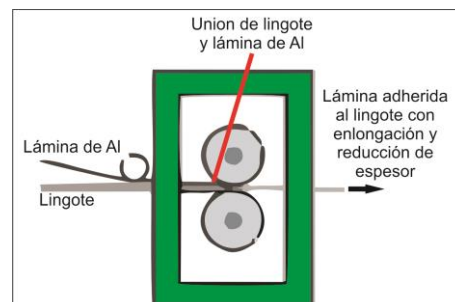
Fresado de lingote por medio de fresa con insertos Fig.4.2F
Cortesía MAHLE Componentes de Motor de México

Cardado de lámina de aluminio puro: Una cara de la lámina (foil) se somete a una carda circular con el fin de obtener un grado de rugosidad adecuado para adherirse al lingote de Al-Sn en el proceso de revestimiento, como ya se mencionó la limpieza es un factor importante. El fresado de lingote se lleva a la par con el proceso de cardado de la lámina de aluminio, para que ambos pasen de inmediato a revestimiento (colaminado entre el lingote y las láminas de aluminio).



Lámina de aluminio con pureza al 99.98% Fig.4.2.G

Revestimiento y colaminado: Se da la unión del lingote con 2 láminas de aluminio. Cada una se coloca en las caras fresadas del lingote. Las dimensiones de las láminas superan a las del lingote con el fin de no dejar áreas de aleación sin cubrir. Se hacen pasar los 3 elementos en un laminador con el fin de conseguir la adherencia con la presión de los rodillos. Luego de la unión de estos 3 elementos, que nombraré en conjunto como “cinta de aluminio”, es laminada en la misma máquina para disminuir el espesor, lo que trae como resultado un aumento de su longitud, consiguiéndose tramos de cinta de 5 [m] de longitud por 0.3 [m] de ancho. La cinta se reducirá a un espesor deseado, el cual va a depender de las especificaciones del buje o cojinete a fabricar.



Revestimiento y colaminado de lingote de aluminio Fig.4.2H

Corte de laterales, despunte, soldadura y lavado: El resultado del revestimiento y laminado es una cinta de Al-Sn revestida con una película de Aluminio puro. Por el uso de guía en los rodillos de laminación que limitan el ensanchamiento de la cinta de aluminio en el laminado, en los costados se originan grietas y roturas, por otro lado en las puntas de cada cinta se tienen irregularidades por lo que se procede a cortarlas. Inmediatamente del corte y despunte quedan tramos de cinta con una longitud promedio de 4.5 [m] y un ancho determinado por especificación del número de parte a fabricar. Los tramos son unidos una tras otra con soldadura TIG para luego pasar a lavarse para retirar todo tipo de contaminante. Por último se embobinan

generando rollos, que más tarde pasaran al proceso de colaminado (bonding), un proceso muy similar al revestimiento.

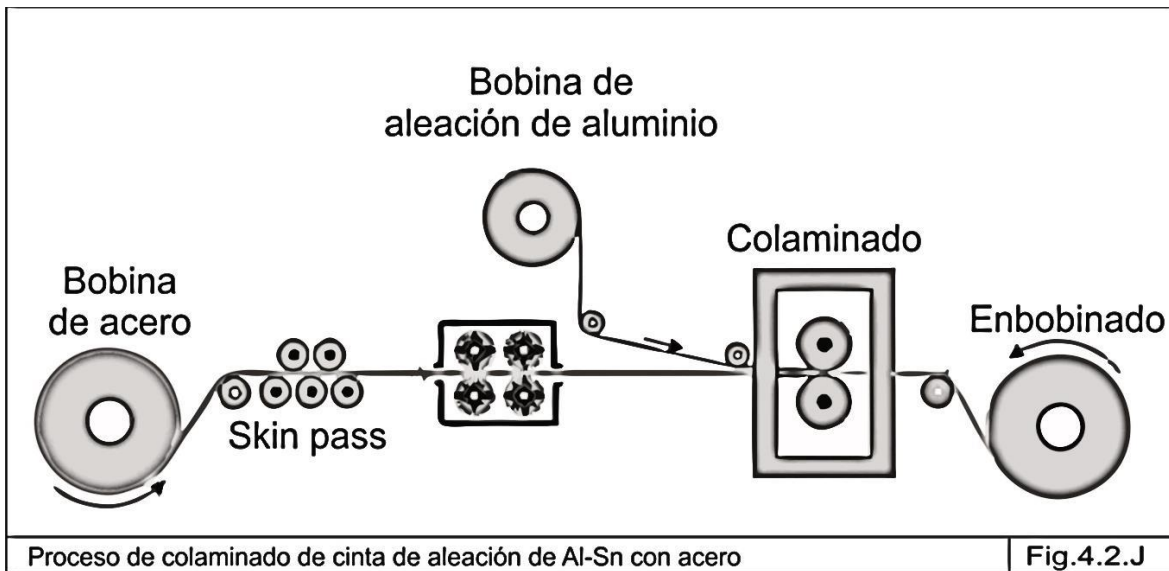
Corte de cinta de acero: Otra materia prima utilizada son bobinas de acero a bajo carbón, estas se cortan en varias cintas menos anchas. El ancho de estas cintas es de dimensiones compatibles con la cinta de aluminio previamente fabricada. El ancho de corte supera por milímetros al ancho de la cinta de aluminio, esto sirve como tolerancia de trabajo en el proceso de colaminado.



Cortadora de bobina de acero por medio de cizallamiento Fig.4.2.I

Laminado de cinta de acero: Luego de obtener las cintas de acero se laminan para llevarlas al espesor de especificación correspondiente. En este proceso se cuidan detalles como la dureza y uniformidad de espesor final.

Colaminado (Bonding): Una vez que se tiene tanto la cinta de acero como la cinta de aluminio (bobinas) previamente descritas, se montan en 2 desembobinadores que mantendrán la cinta alineada para el proceso de colaminado. Ambas cintas tanto de acero como aluminio se hacen pasar primeramente por una pequeña laminadora con guías laterales cuya función es mantener firme y recta la cinta, luego ambas pasan a un proceso de remoción de material por medio de lija giratoria y carda respectivamente, generando superficies rugosas (tal como en el proceso de revestimiento) para que ambas cintas se adhieran con la ayuda de un laminador. Luego de la adherencia el material se embobina nuevamente para pasar este nuevo rollo a un segundo tratamiento térmico. Este nuevo rollo lo denominaré “cinta de aluminio con respaldo de acero”



Tratamiento térmico 2: Este tratamiento tiene como objetivo la aumentar ductilidad y maleabilidad. Ya que será factor clave en prensas para evitar problemas con los dados de corte y formado. Este tratamiento se lleva a cabo en el horno de caja a menor temperatura. Este tratamiento provoca que la “cinta de aluminio con respaldo de acero” exponga el Sn de la aleación en gotas manifestadas en la superficie de la bobina, debido a que la temperatura dentro del horno supera el punto de fusión del mismo. El Sn se plasma en forma de gotas solidas después del tratamiento.

Limpieza de estaño expuesto: Es removido el estaño de la cinta con lijas dejando la superficie libre de imperfecciones provenientes del tratamiento térmico. En esa misma estación de trabajo se identifican los defectos visibles de la cinta que más tarde en área de prensas se identifica como scrap.

4.3. Layout actual

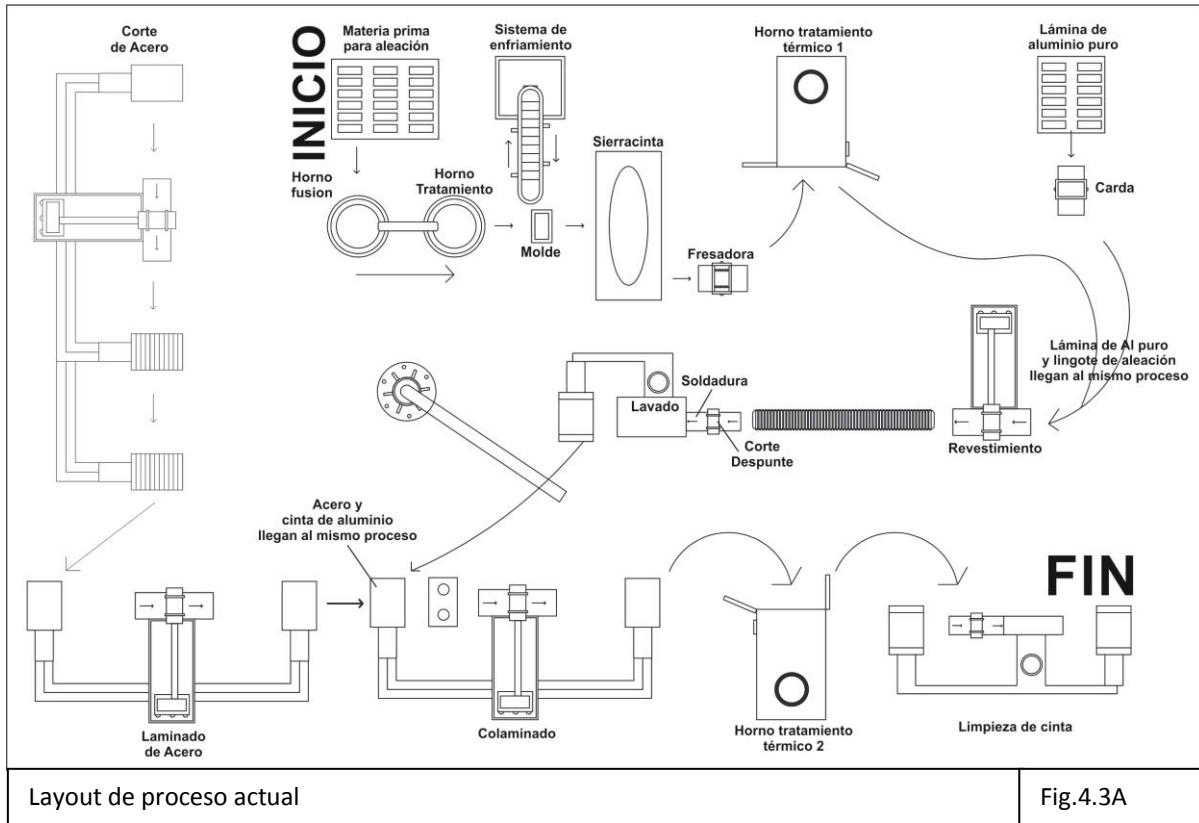


Fig.4.3A

4.4. Personal operativo en las estaciones de trabajo

En la siguiente tabla se muestra el número de operarios involucrados en las distintas estaciones de trabajo o procesos. El trabajador que introduce los rollos de cinta al horno de caja es el montacarguista, éste da servicio a toda la planta, incluyendo otros departamentos. En nuestro análisis lo incluiré. Por otra parte, el personal correspondiente a la línea de colaminado queda descartado ya que es un proceso posterior a la fabricación de la cinta de aluminio.

Total de trabajadores = 12
 Numero de turnos totales = 3
turnos
Total de trabajadores en los
3 turnos = 36

Tabla 4.4A Cantidad de personal actual en las estaciones de trabajo actuales

| Proceso | Personal | Proceso | Personal |
|-------------------|----------|------------------------|----------|
| Horno Fusión | 1 | Cardeado | 1 |
| Horno Tratamiento | 1 | Revestimiento | 2 |
| Sierra cinta | 1 | Corte/Soldadura/Lavado | 1 |
| Fresadora | 1 | Limpieza de cinta | 1 |
| Horno de caja | 1 | Corte de acero | 1 |
| Laminado de acero | 1 | | |

5. Propuesta

La implementación de una línea de Colada Continua brinda múltiples ventajas tal como alta tasa de producción de cinta de aluminio, mantenimiento, diversificación de productos entre otros. Para poder demostrar esta afirmación es necesario hacer un análisis comparativo con el proceso actual.

Lamentablemente algunos análisis no podrán ser llevados a cabo debido a la falta de información, misma que la empresa modelo se ha reservado el derecho de brindarnos. Por otro lado se presentan inconvenientes con los proveedores de maquinaria de colada continua, ya que estos se reservan dar el costo de la maquinaria a una institución universitaria para fines académicos, en otras palabras, ellos argumenta que darán el precio únicamente si se trata de una compra seria y formal.

Pero aun con todos estos obstáculos, se brindará la mayor cantidad de información para un análisis que compruebe que esta tecnología es la conveniente para altos volúmenes de cinta.

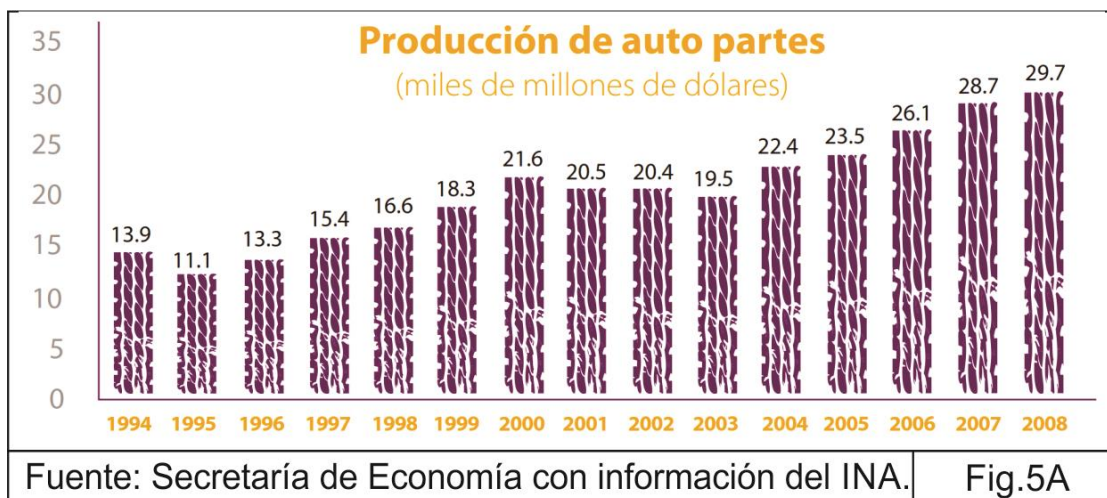
Como antesala, se dará al lector un panorama general de la industria de autopartes nacional, con el cual se muestra a México como área de oportunidad para implantar la tecnología de Colada Continua para la fabricación de buje y cojinete.

La industria de autopartes es muy diversa, engloba los bienes de consumo final que se utilizan para suministrar a la industria terminal de automóviles (armadoras), así como también se encarga de abastecer el mercado de remplazo o refacciones para automóviles usados.

Esta industria representa el 3% del total de la producción del sector manufacturero a nivel mundial. (12)
En México, la industria de autopartes sigue la misma tendencia que la industria automotriz a nivel global. Se prevé que el sector automotriz siga en ascenso durante los próximos años y México producirá más de 3.7 millones de vehículos ligeros al final de 2015. (13)

El crecimiento de la industria terminal beneficia a la industria de autopartes ya que el mercado demandará una alta gama de productos para las líneas de producción de las armadoras, y a su vez el número de vehículos comercializados aumentará la demanda de los diferentes segmentos del mercado de repuesto o aftermarket. (12)

En la figura 5A, se muestra un gráfico con el crecimiento anual de la producción de autopartes en México.



Por su parte, el valor de la producción de las partes para motor, transmisiones, embragues, suspensión, dirección y sus correspondientes partes, hasta 2011 fue de 14,810 millones de dólares con una participación del 22% en todo el mercado nacional. Estos son sólo algunos sectores donde el buje y cojinete se demandan. (Tabla 5A)

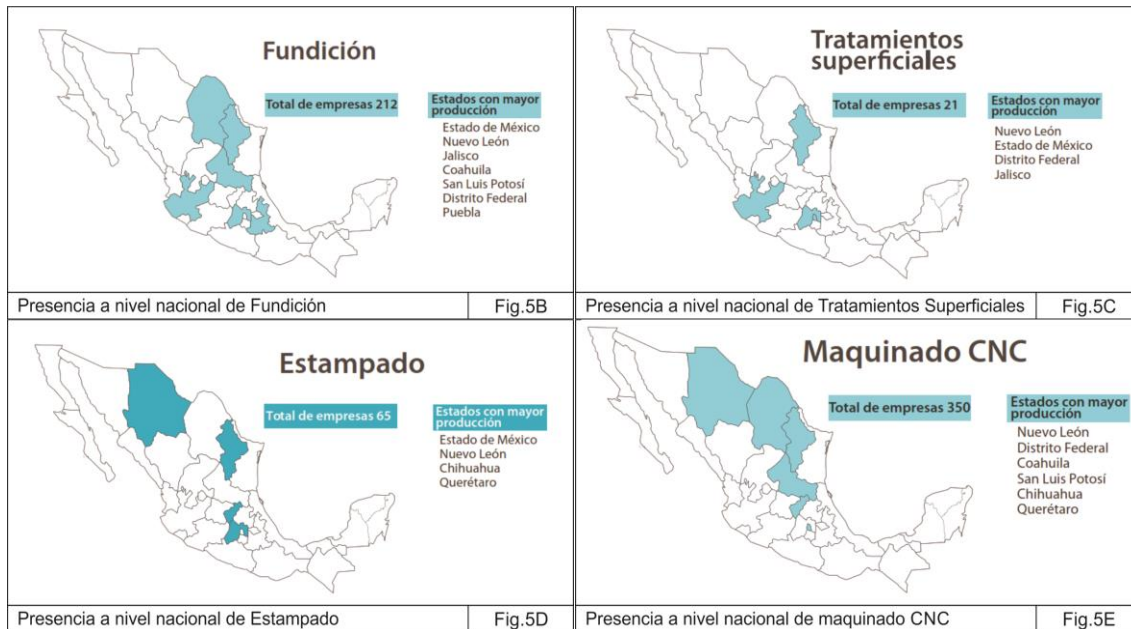
México cuenta con una amplia experiencia en el conocimiento de la cadena de suministro para las empresas del sector automotriz y el sector de autopartes, es por eso que se tiene el desarrollo en procesos del sector metalmecánico, un sector que está vinculado con la fabricación de automóviles y de autopartes de forma directa, entre los procesos que destacan, se encuentran:

- Fundición
- Maquinado CNC (Control Numérico Computarizado)
- Inyección a presión/Die casting
- Estampado
- Pailería
- Ensamblados
- Tratamientos superficiales
- Moldeo por inyección de plástico (14)

| Sistemas o componentes | Monto (Millones de dólares) | % Participación |
|---|-----------------------------|-----------------|
| Partes Eléctricas | 14,933 | 22% |
| Telas, Alfombras y Asientos Automotores | 7,015 | 10% |
| Partes para Motor | 6,565 | 10% |
| Transmisiones, Embragues y sus Partes | 5,556 | 8% |
| Accesorios y Partes de Uso Automotor | 4,347 | 6% |
| Motores a Gasolina | 3,723 | 5% |
| Suspensión, Dirección y sus Partes | 2,689 | 4% |
| Motores a Diesel | 2,567 | 4% |
| Estampados y sus Partes | 2,489 | 4% |
| Frenos y sus Partes | 2,212 | 3% |
| Llantas y Neumáticos Automotores | 1,397 | 2% |
| Carrocerías | 1,170 | 2% |
| Aceites, Lubricantes y Líquidos Automotores | 1,153 | 2% |
| Productos Automotores de Hule | 786 | 1% |
| Vidrios, Cristales y Parabrisas Automotores | 432 | 1% |
| Enfriamientos | 311 | 0% |
| Otros | 10,644 | 16% |
| Total | 67,989 | 100% |

Fuente: INA

En la manufactura de buje y cojinete se destacan el proceso de fundición, tratamientos superficiales, maquinado CNC y estampado, los cuales tienen gran presencia a nivel nacional. En las siguientes imágenes se muestran las regiones en territorio nacional donde estos procesos se llevan a cabo.



Pero cabe agregar que no todas estas empresas están dedicadas a la manufactura del buje y cojinete, pero si muchas están relacionadas con procesos de fundición y generación de cinta para posteriormente transformarla en un producto determinado. Hasta ahora se ha relacionado la fabricación de la cinta Al-Sn con únicamente

buje y cojinete, pero no es el único producto que se puede manufacturar con ella, otro producto del sector automotriz que utiliza esta cinta son las arandelas. Y no todo concluye ahí, sino que también se pueden manufacturar cinta de otras aleaciones para desarrollar otros productos del mismo ramo automotriz y otros sectores tales como el aeronáutico, utensilios de cocina, papel aluminio, la construcción, entre otros. Por lo que es posible pensar en la diversificación de productos una vez ya obtenida la tecnología de Colada Continua.

5.1. Principales proveedores de la maquinaria

Los proveedores de máquinas de colada continua de cinta de aluminio más representativos son los siguientes:

| Tabla 5.1A Principales proveedores de Colada Continua a nivel mundial | |
|---|----------------|
| EMPRESA | PAÍS DE ORIGEN |
| Alcan (Pechiney, Alusuisse) | Canadá |
| Hormesa | España |
| FataHunter | Francia |
| Hazelett | USA |
| Kaiser Aluiminum | Alemania |
| Silver Atlantic | China |
| Zhengzhou Hengzhong | China |

5.2 Maquinaria y especificaciones

A continuación se enlista los datos técnicos de máquinas correspondientes a diferentes proveedores.

Aluminum Continuous Caster Machine

Proveedor: International Trade Co.
 País de origen: Beijing, China;
 Espesor: 6-10 mm;
 Ancho Max: 2150 mm;
 Velocidad Max: 2000 mm/min;
 Aleaciones que trabaja: 1000, 2000, 3000, 5000;
 Fuerza de rodillo: 7500 – 25000 KN;
 Página web: <http://www.silver-atlantic.com> (15)



Aluminum Continuous Caster Machine-Silver Atlantic Fig.5.2A
<http://www.silver-atlantic.com>

Supply aluminum continuous casting machine HZCM

Proveedor: Zhengzhou Heavy Machinery Manufacturing Co.
 País de origen: Henan China;
 Espesor: 5-10 mm;
 Ancho Max: 800-2200 mm;
 Velocidad Max: 2000 mm/min;
 Aleaciones que trabaja: 1000, 3000, 5000;
 Fuerza de rodillo: 6000-25000kN;
 Electric control system: SIEMENS ABB;
 Página web: <http://www.zzhzzg.cn> (16)



Aluminum continuous casting machine HZCM Fig.5.2B
<http://www.zzhzzg.cn>

Hazelett Aluminum Strip Caster AS1320

Proveedor: Hazelett

País de origen: USA

Espesor: 16 - 25 mm

Ancho Max: 1346 mm

Ancho Mín.: 673 mm

Velocidad: 8.88 metros/minuto

Tasa de producción: 35.5 t/h

Área total ocupada por el equipo: 1500m²

Series de aleaciones que trabaja: 1000, 3000, 5000, 6000, 7000, 8000 (17)



Hazelett Aluminum Strip Caster AS1320
<http://www.hazelett.com/>

Fig.5.2D

Hazelett Aluminum Strip Caster AS1650

Proveedor: Hazelett

País de origen: USA

Espesor: 16 - 25 mm

Ancho Max: 1676 mm

Ancho Mín.: 838 mm

Velocidad: 8.88 metros/minuto

Tasa de producción: 44.15 t/h

Área total ocupada por el equipo: 1700m²

Series de aleaciones que trabaja: 1000, 3000, 5000, 6000, 7000, 8000 (17)



Hazelett Aluminum Strip Caster
<http://www.hazelett.com/>

Fig.5.2E

Hazelett Aluminum Strip Caster AS2000

Proveedor: Hazelett

País de origen: USA

Espesor: 16 - 25 mm

Ancho Max: 2032 mm

Ancho Mín.: 1016 mm

Velocidad: 8.88 metros/minuto

Tasa de producción: 53.55 t/h

Área total ocupada por el equipo: 1700m²

Series de aleaciones que trabaja: 1000, 3000, 5000, 6000, 7000, 8000



Hazelett Aluminum Strip Caster
<http://www.hazelett.com/>

Fig.5.2F

Maquinaria de colada continua Hormesa

En el caso particular de esta empresa española no maneja como tal un stock de maquinaria tal como lo hace Hazellet o FATA Hunter, ellos por su parte prefieren trabajar el diseño en base a las necesidades del cliente tomando como concepto el método de par de rodillos para una colada horizontal. (18)



Horno de fundición Hormesa Fig.5.2G
<http://www.hormesa-group.com/>

Super Caster Plus



Fata Hunter SuperCaster Plus® Fig.5.2H

REINVENTING TWIN ROLL CASTING FOR THE 21ST CENTURY

Proveedor: FATA Hunter
País de origen: Italia
Espesor mín.: 0.635 mm
Ancho Máx.: 2134mm
Velocidad: 38.1m/min
Tasa de producción: 53.55 t/h

Área total ocupada por el equipo: 1700m²
Series de aleaciones que trabaja: 1000, 3000,
5000, 6000, 7000, 8000 (11)

The Speed Caster



Fata Hunter The Speed Caster®

Fig.5.2I

<http://www.fatahunter.com/>

Proveedor: FATA Hunter

País de origen: Italia

Espesor mín: 6.35 mm

Ancho Máx: 2400mm

Velocidad: 38.1m/min

Tasa de producción: 53.55 t/h

Área total ocupada por el equipo: 1700m²

Series de aleaciones que trabaja: 1000, 3000, 5000, 6000, 7000, 8000 (11)

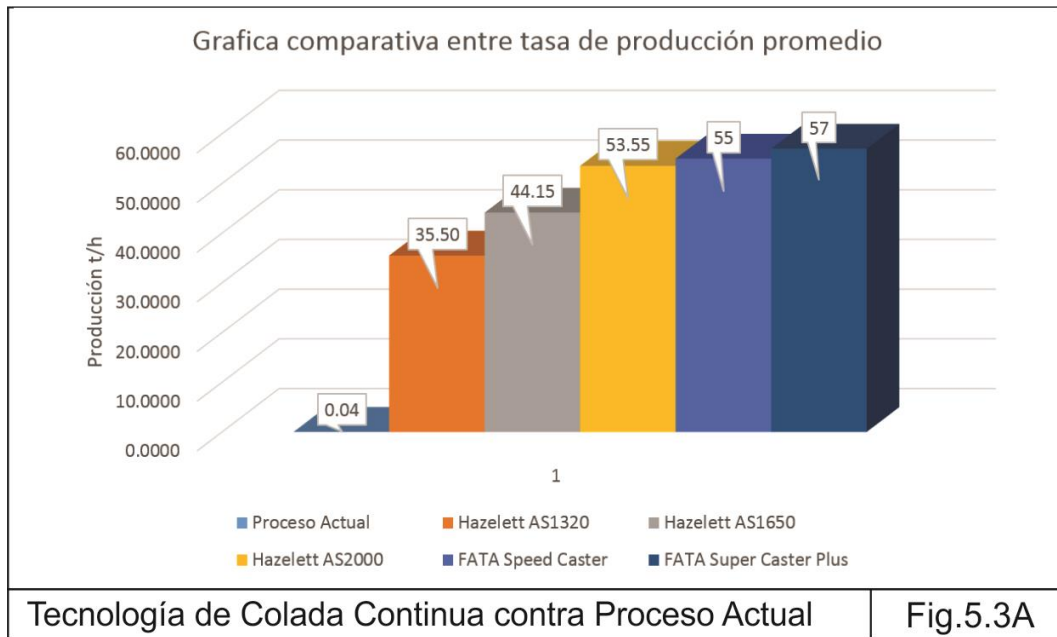
5.3 Comparación de especificaciones de las máquinas y el proceso actual

A continuación se muestra una tabla comparativa de las características generales de la maquinaria actualmente disponible en el mercado internacional.

| Tabla 5.3 A Comparación entre máquinas de Colada Continua | | | | | | | | |
|---|---------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Maquina | Método de colada continua | Espesor Mínimo [mm] | Espesor Máximo [mm] | Ancho Mínimo [mm] | Ancho Máximo [mm] | Velocidad Nominal m/min | Tasa de producción t/h | Área ocupada m ² |
| Proceso Actual | Lingotera | 3 | 6 | 80 | 200 | 0.84 | 0.0375 | NE |
| Hazelett AS1320 | Bandas | 16 | 25 | 673 | 1346 | 8.88 | 35.5 | 1500 |
| Hazelett AS1650 | Bandas | 16 | 25 | 838 | 1676 | 8.88 | 44.15 | 1700 |
| Hazelett AS2000 | Bandas | 16 | 25 | 1016 | 2032 | 8.88 | 53.55 | 1700 |
| Silver Atlantic | Rodillos horizontal | 6 | 10 | NE | 2150 | 3 | NE | NE |
| HZCM Zhengzhou | Rodillos horizontal | 5 | 10 | 800 | 2200 | 1.15 | NE | NE |
| FATA Speed aster | Rodillos inclinados | 0.635 | NE | NE | 2134 | NE | 55 | NE |
| FATA Super aster Plus | Rodillos inclinados | 2.5 | 6.35 | NE | 2400 | NE | 57 | NE |
| Hormesa | Rodillos horizontal | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |

NE: No especificado por el proveedor.

Con maquinaria de la cual se tiene información respecto a la tasa de producción dada en toneladas/hora, se presenta el siguiente gráfico comparativo con respecto al proceso actual.



Es evidente que cualquiera de las máquinas de la comparativa supera por mucho la tasa de producción de la cinta manufacturada por el método tradicional. (Fig.5.3A)

5.4. Diagrama de proceso actual vs propuesto

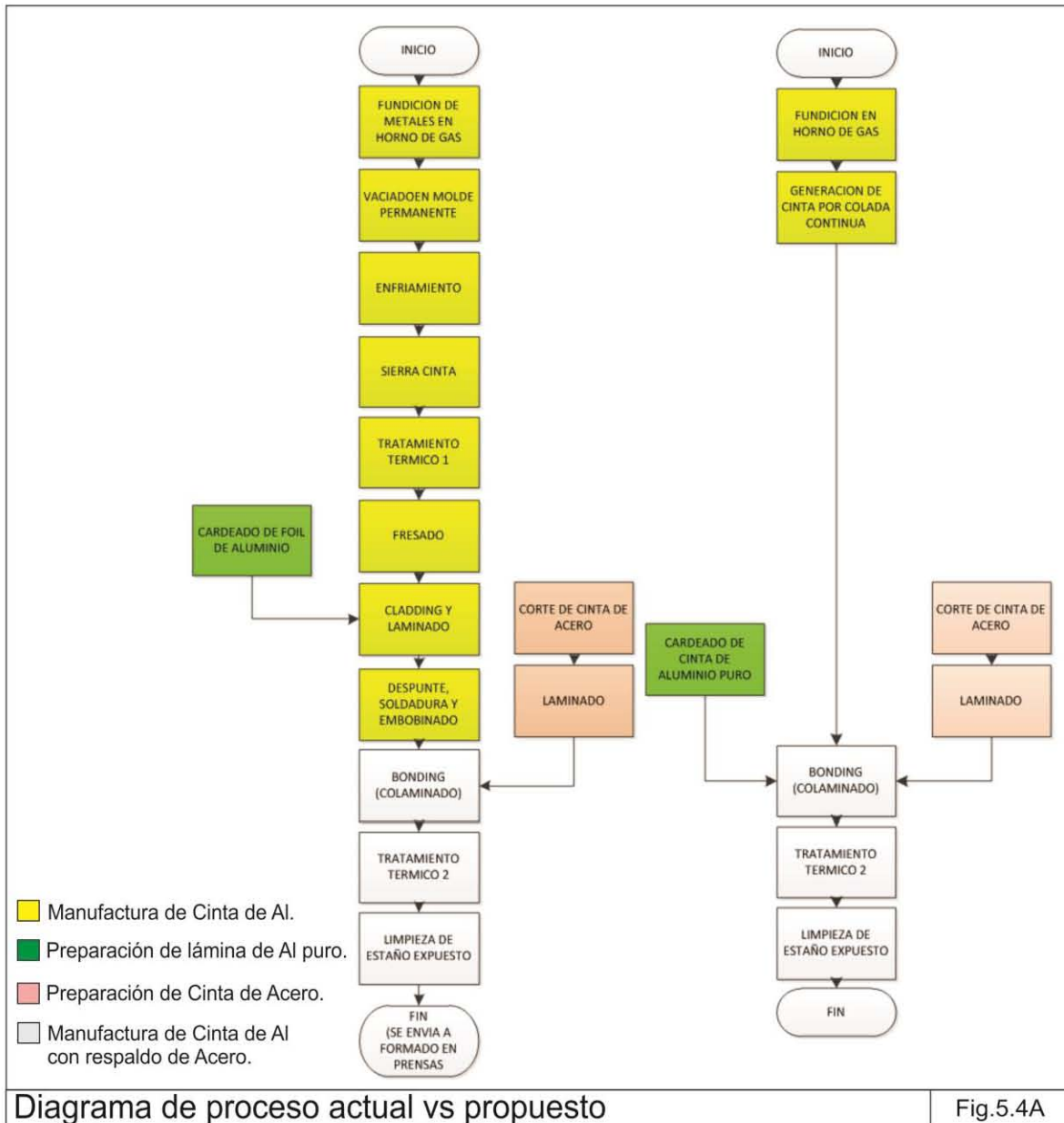
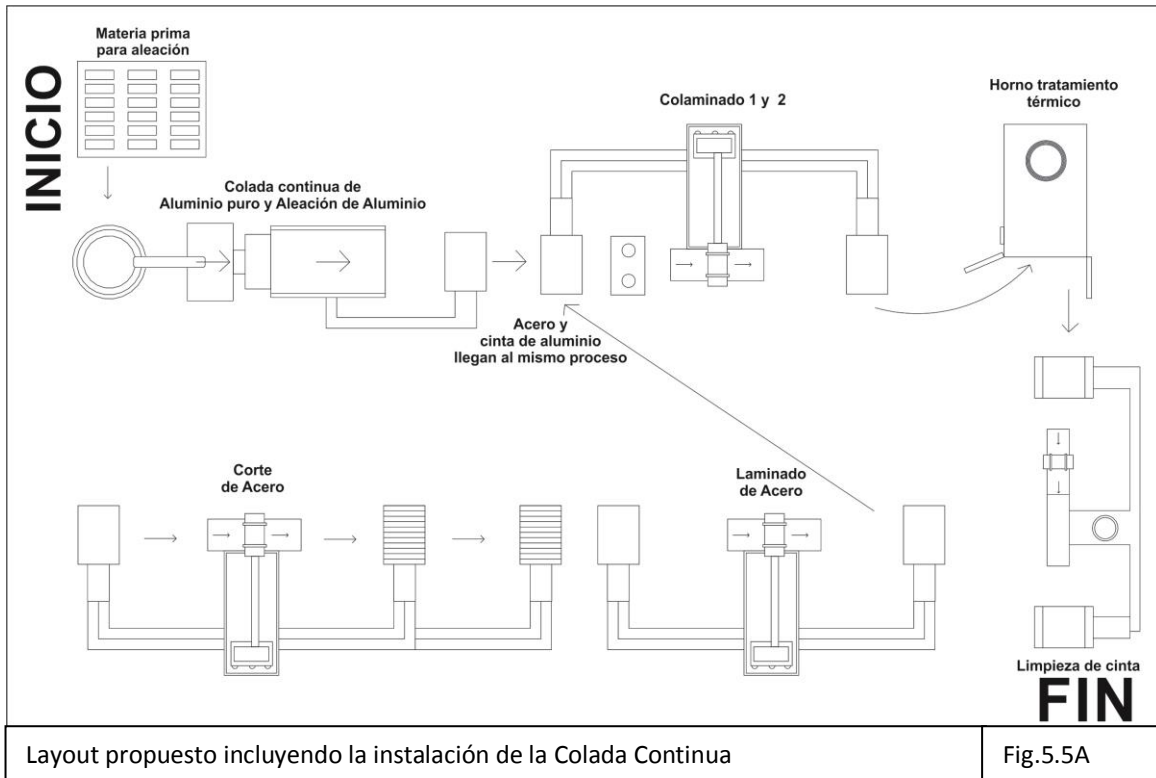


Fig.5.4A

5.5. Layout propuesto

En el siguiente layout muestra los cambios significativos que tendrán que llevarse a cabo para una producción en línea, todo esto con la implementación de la colada continua ya incluida.



5.6. Personal operativo en las nuevas estaciones de trabajo.

En la siguiente tabla se muestra el número de personal al que le corresponde cada proceso, todo esto con la nueva línea.

Total de trabajadores = **9**

Numero de turnos totales = **3 turnos**

Total de trabajadores en los 3 turnos = 27

Total de trabajadores unicamente para la generación

de la cinta de aluminio = **2 por turno**

Numero de turnos totales = **3 turnos**

Por lo que a comparación con el proceso anterior tenemos una reducción de 21 trabajadores en los 3 turnos, a tan solo 9 trabajadores por turno (en la manufactura de la cinta de Al).

Tabla 5.6A Cantidad de personal propuesto.

| Proceso | Personal |
|--------------------------|----------|
| Línea de Colada Continua | 2 |
| Colaminado | 3 |
| Horno de caja | 1 |
| Corte de acero | 1 |
| Laminado de acero | 1 |
| Limpieza de cinta | 1 |

5.7. Definiendo al mejor proveedor

Es importante mencionar que para poder tener un panorama más amplio y concreto para poder definir la mejor opción o mejor proveedor de tecnología de colada continua se llamó a cada uno de los proveedores en sus sedes correspondientes para obtener la máxima cantidad de información y con ello destacar la tecnología más adecuada a implementar que trabaje con la aleación aluminio-estaño.

Los únicos proveedores que hasta el momento tienen cierta experiencia trabajando con la alineación aluminio - estaño con éxito son FATA Hunter y Hazelett.

FATA Hunter afirma que años atrás puso en práctica el trabajo con cinta aluminio-estaño para pistas de balero con tecnología de Hazelett con el método de bandas de acero. El vicepresidente de ventas Chris Romanowski comentó que actualmente esta tecnología se encuentra en Europa y la patente está protegida por lo que no pudo dar más detalles referentes a algunos parámetros del proceso y la maquinaria. Por otro lado dio a conocer que esta cinta se puede obtener también con sus máquinas de rodillos con inclinación de 15° sin ningún inconveniente con los porcentajes de estaño solicitados.

La compañía Hazellet por su parte dice no tener experiencia trabajando con esta aleación perteneciente a la serie 8000 pero trabaja otras de la misma serie. En la práctica FATA logró obtener cinta entre 5-8% de estaño con la tecnología de bandas utilizada por Hazellet. Pareciera contradictorio, el hecho de que el personal de Hazelett comentó que no ha experimentado con la aleación y por otro lado la gente de FATA afirma que ha logrado la obtención de la cinta por medio de maquinaria de Hazelett, deja entrever que se está protegiendo el conocimiento del manejo de esta aleación por el método de bandas de acero para que la actual dueño de la patente saque el mayor provecho posible.

Por otro lado Hormesa comenta que también ha trabajado con bajos porcentajes de estaño y se encuentra en total disposición de diseñar y fabricar la maquinaria a petición del cliente.

Respecto a las compañías asiáticas, ninguna de ellas ha experimentado con este tipo de aleación, pero en caso de que la adquisición de la maquinaria tome seriedad a nivel de compra están dispuestos a hacer las pruebas necesarias para ofrecer la cinta con las características deseadas por el cliente.

Si el escenario de una empresa interesada en la aleación aluminio-estaño es el de adquirir una tecnología lo más pronto posible para elevar los índices de producción es recomendable que se acerquen a las empresas donde se ha experimentado el trabajo con esta aleación, por lo que el abanico de posibilidades se cierra a dos candidatos Hzelett y FATA Hunter, con la colada por medio de bandas y rodillos con inclinación de 15° respectivamente. Hay que tener en cuenta que los anchos de cinta que ofrece esta maquinaria son bastante significativos a comparación del deseado que es de entre 10-20 cm, por lo que se necesitaran cortadoras para llegar al ancho final deseado.

Si por otro lado el cliente interesado en obtener una maquinaria a dimensiones del producto personalizadas pudiera trabajar con las empresas asiáticas y Hormesa, las cuales están dispuestas experimentar el trabajo con la aleación deseada en base a los requerimientos y necesidades del cliente.

El alcance de esta tesis no es hacer investigación con la maquinaria de los proveedores para saber si son o no factibles para la fabricación de la cinta de Al-Sn. Por lo que descartaré a los proveedores que no tienen la fiabilidad y experiencia de trabajar con la cinta antes mencionada. Por lo que promoveré a dos proveedores que han trabajado y manejado esta aleación en los porcentajes de estaño solicitados.

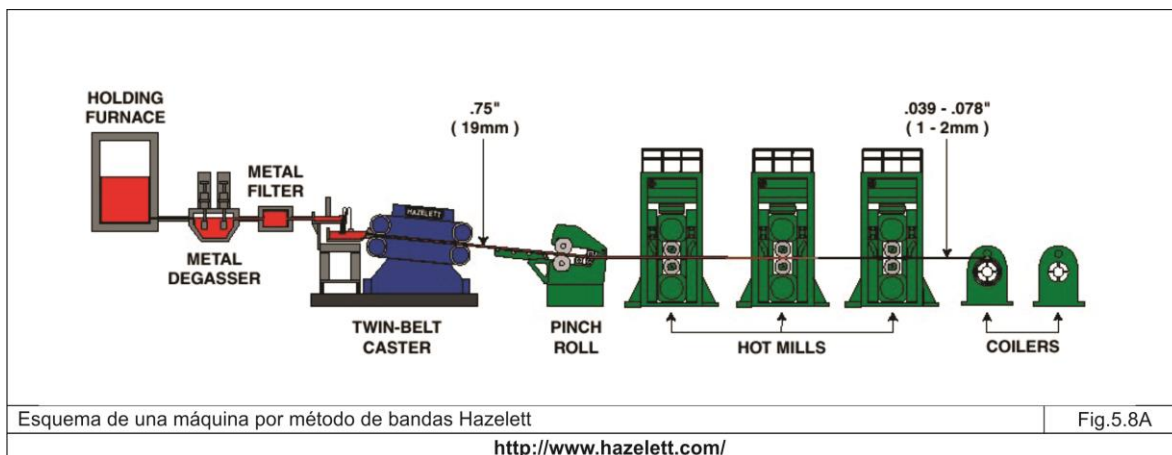
El motivo de seleccionar a estos dos proveedores es porque trabajan la cinta por métodos de colada distintos brindando la posibilidad de escoger entre uno y otro.

5.8. Esquema de las instalaciones propuestas

Es importante tener una idea gráfica de los elementos de los cuales se compondrá la línea de colada continua a instalar. Es por eso que continuación se exponen los esquemas de las líneas de colada continua, sus aditamentos en general y su ordenamiento.

Esquema de la maquinaria de Hazelett

Esta línea de colada continua se compone principalmente de los elementos mostrados en la figura 5.8A, los cuales de izquierda a derecha se describe a continuación.



Horno de fusión

El horno como objetivo el cambio de fase del metal sólido a líquido y con ello preparar la aleación, es importante que se corrobore la composición química del metal y su homogenización. El horno puede tener un revestimiento interno de material cerámico o grafito, dependiendo la aleación a fundir se sugiere uno u otro por el fabricante.

Desgasificador

Su tarea es evitar que el material presente porosidad a lo largo de su solidificación de la cinta, este hecho se debe a la gran capacidad que tiene el caldo metálico en absorber hidrógeno de la atmósfera o vapor de agua que puede existir en el horno. Generalmente, para evitar esta porosidad se utilizan fundente limpiadores como el tricloruro de boro (BCl_3) o mediante la inyección de nitrógeno. [4]

Filtro

El filtro tiene como objetivo atrapar las impurezas (escorias) generadas por la desgasificación, normalmente está hecho de material cerámico.

Distribuidor

La función del distribuidor es la de evitar turbulencias en el metal líquido antes de ser enviado a la máquina de colada con el objetivo de brindar una aplicación uniforme del metal líquido sobre las bandas de acero y con ello obtener una cinta con características y dimensiones constantes.

Coquilla o Boquilla de Grafito

Es el molde mediante el cual se transfiere el metal líquido proveniente del distribuidor a las bandas de acero, regulando el espesor y el ancho de la cinta a fabricar.

Colada continua

La máquina es encargada de recibir el metal líquido y conforme a su avance generando la cinta al ancho y espesor deseado o permitido por los porcentajes de aleación trabajada.

Rodillos de tracción

Este elemento es el que va a recibir la cinta solidificada y va a servir como un pre laminador (skin pass) que le dará uniformidad de la cinta para su posterior introducción a un tren de laminado.

Tren de laminado

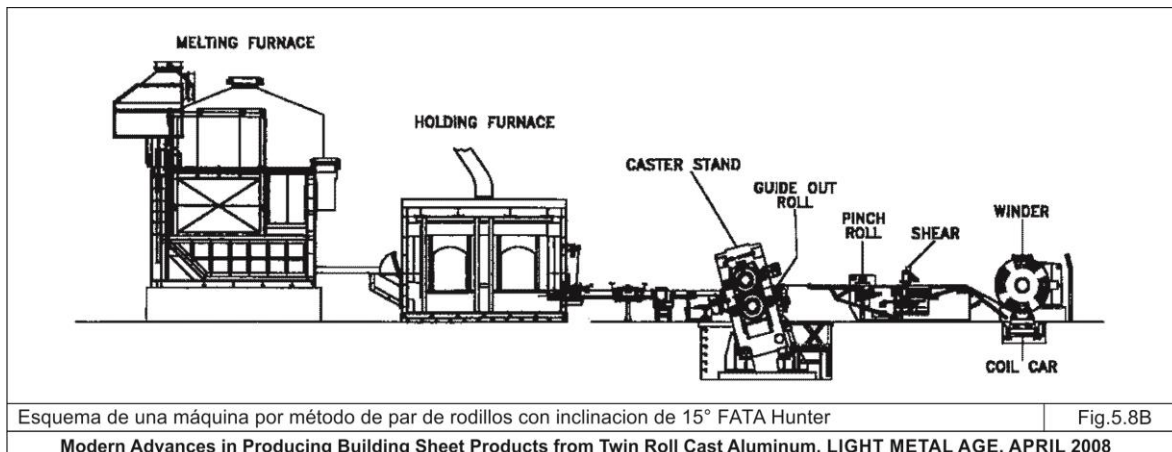
En esta sección la cinta será reducida a un espesor final deseado ya sea mediante un tren de laminación o mediante un único laminador cuyo objetivo es trabajar la cinta en caliente aprovechando su temperatura para dar una mayor reducción del material. Dependiendo del material a trabajar puede o no existir laminadores, ya que en ocasiones algunos materiales requieren enfriarse para ser laminados en frío en otro proceso.

Embobinado

La labor de este mecanismo es la de generar bobinas por rollos de cinta para ser manipulados de una manera compacta. Normalmente poseen mandril hidráulico.

Esquema de la maquinaria de FATA Hunter

En este esquema se describirá únicamente los elementos que hacen diferencia a la línea de colada continua descrita en el punto anterior para evitar redundar en aquellos elementos que comparten ambas líneas.



Hornos

Esta línea cuenta con dos hornos, uno destinado a la fundición del metal y su composición como aleación, el siguiente es un horno de tratamiento térmico en el cual se retirara la mayoría de las impurezas y humedad del ambiente.

Colada continua de par de rodillos con inclinación de 15°

el caso particular de esta maquinaria, la inclinación de 15° ayuda a evitar turbulencias y corrientes diversas en la aleación fundida, otorgando el vaciado uniforme entre el par de rodillos que son enfriados con recirculación de agua en su interior.

Cortador

En el caso de este accesorio brinda la posibilidad de cortar a la cinta tanto transversalmente como los laterales con el objetivo de eliminar rebaba generada en los costados para que al momento del embobinado se tenga un rollo sin protuberancias. (19)

6.-Conclusiones

En el presente trabajo se mostraron los diferentes métodos, proveedores y sus tecnologías actuales para la fabricación de cinta de aleaciones de aluminio, centrándose en aquella con un contenido de estaño 5 y el 8%. Para evidenciar esto se hizo un análisis comparativo entre la tecnología utilizada por nuestra empresa modelo y la implementación de la línea de colada continua.

Claramente se observa que la utilización de una línea de colada continua conlleva un aumento de la productividad, en reducción de costos en personal y estaciones de trabajo, reducción de tiempos de manufactura y por ende un aumento considerable en el volumen de cinta generada.

Ante este escenario, se concluye que el uso de esta tecnología brindará los altos volúmenes de cinta que se necesitan y brinda oportunidades para la manufactura de nuevos productos utilizando la misma maquinaria debido a que se pueden trabajar varios tipos de aleaciones y dimensiones, lo que se traduce en una posibilidad de diversificación de productos gracias al uso de esta tecnología.

Glosario

Acero: Aleación basada en hierro que contiene carbono y otros elementos.

Aleación: combinación, de propiedades metálicas, que está compuesta de dos o más elementos, de los cuales, al menos uno es un metal.

Arandela: disco delgado con un agujero, por lo común en el centro. Normalmente se utilizan para soportar una carga de apriete.

Babitt: es una de las distintas aleaciones utilizadas para la superficie de apoyo en uncojinete de fricción.

Buje: elemento de una máquina donde se apoya y gira un eje.

Careado: también conocido como también como refrentado, mediante esta operación se logra que las caras frontales queden planas y normales al eje de la pieza, se realiza con pasadas de desbaste y afinado.

Cizalla: Máquina para cortar lámina de diversos metales.

Cojinete: pieza o conjunto de ellas sobre las que se soporta y gira el árbol transmisor de momento giratorio de una máquina.

Colada continua: Una máquina que se utiliza continuamente para producir tochos, cinta, cable, etc de aluminio fundido sin interrupciones o operaciones intermedias.

Colaminado: Proceso mediante el cual se une dos laminas o cintas de diferentes materiales por medio de la presión ejercida al hacerlos pasar simultáneamente por un par de rodillos.

Coquilla: También conocida como boquilla, matriz o molde que sirve para la inyección de aluminio fundido.

Deformación elástica: cambio temporal de forma producido por una fuerza mecánica dentro del límite elástico (proporcional) del material bajo presión, recuperándose la forma y dimensión originales al eliminar la fuerza deformante.

Deformación plástica: Deformación permanente que se produce en un material al estar sometido a determinadas tensiones.

Ductilidad: propiedad que presentan algunos materiales, como las aleaciones metálicas o materiales asfálticos, los cuales bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse sosteniblemente sin romperse.

Endurecimiento: El proceso por el que se aumenta la dureza del metal mediante calentamientos y enfriamientos controlados.

Enfriamiento: Solidificación del aluminio fundido cuando se enfría y pasa de estado líquido a sólido.

Ensamble: Es el proceso para unir dos o más piezas mediante tornillos, tuercas, pernos o sujetadores.

Escoria: subproducto formado en algunos procesos de purificación o sedimentación de metales.

Estado estacionario: Se dice que un sistema físico está en estado estacionario cuando las características del mismo no varían con el tiempo.

Extrusión: Proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija, el material maleable se empuja o se extrae a través de un troquel de una sección transversal deseada.

Fatiga: Fallo de un metal por verse sometido a repetidas tensiones cíclicas.

Forja: Proceso por deformación metálica que puede realizarse en caliente ó frío y en el que la deformación del material se produce por la aplicación de fuerzas de compresión.

Fresado: Consiste principalmente en el corte del material que se mecaniza con una herramienta rotativa de varios filos.

Fundente: Un ingrediente para crear escoria o la fluidez incrementada de la escoria.

Fundición o pieza fundida: Colada de metal fundido en un molde o el objeto de metal (por ejemplo, lingote) que se produce con dicha colada.

Fundición por molde permanente: Método de fundición que usa un molde metálico construido en dos secciones que están diseñadas para cerrar y abrir con precisión y facilidad. Los moldes se hacen comúnmente de acero o hierro fundido

Fundición: Conjunto de operaciones que permite dar forma a los materiales metálicos mediante su fusión, colado sobre molde apropiado y posterior solidificación dentro de él.

Fusión: El proceso por el que el metal pasa de estado sólido a líquido mediante el suministro de electricidad a la chatarra dentro del horno eléctrico.

Grano: Disposición ordenada de los átomos o estructura de cristal. Cristal individual de una microestructura.

Inclusión: Partículas de impurezas no metálicas, normalmente óxidos, sulfuros y silicatos, que se adhieren de forma mecánica al acero durante la solidificación.

Inclusión: Partículas de impurezas no metálicas, normalmente óxidos, sulfuros y silicatos, que se adhieren de forma mecánica al acero durante la solidificación.

Laminación por etapas: Laminación de una lámina en varios pasos normalmente hechos por la misma laminadora.

Laminación: Proceso industrial por medio del cual se reduce el espesor de una lámina de metal o de materiales semejantes con la aplicación de presión mediante el uso de distintos procesos

Laminado en caliente: Laminación que incluye aumento de la temperatura en rodillos y material a laminar para disminuir la cantidad de pasos para obtener un espesor final deseado.

Laminado en frío: Laminación que no requiere de un precalentamiento de la lámina ni en los rodillos de laminación para reducir el material a un espesor final deseado.

Laminado: Es un proceso de deformación volumétrica por el cual se reduce el espesor inicial de un material, o bien se generan productos teniendo como componente principal laminas metálicas.

Laminador: La unidad más sencilla de una laminadora, formada por un conjunto de rodillos, alojamientos, cojinetes y guías que son necesarios para el laminado del aluminio.

Límite de elasticidad: Medida de la cantidad de tensión que produce la deformación inicial plástica o permanente en un material.

Lingote: Metal, anteriormente en estado fundido, que se transfiere a un molde para que solidifique.

Lingotera: Molde de forma aproximadamente paralelepípedica donde se vierte el metal fundido para obtener los lingotes.

Elementos de aleación: Los elementos químicos que se añaden para mejorar las propiedades de los productos acabados. Entre los elementos de aleación se encuentran el níquel, titanio, manganeso, cobre, estaño, entre otros.

Maquinado tradicional y maquinado CNC: El primero se lleva a cabo con el uso de una herramienta de corte con la cual se le da la configuración deseada, el segundo se lleva a cabo por computadora y se logran cortes más precisos.

Microestructura: Estructura microscópica de un metal. Al microscopio son visibles ciertos elementos del metal solidificado (estructura cristalina).

Módulo de elasticidad: Medida de la deformación de tensión por unidad que indica la resistencia del acero a la deformación dentro de su límite elástico.

Molde: Recipiente de hierro fundido que se utiliza para contener y enfriar metal fundido mientras se solidifica.

Perfiles: producto laminado, fabricado usualmente para su empleo en estructuras de edificación, o de obra civil

Placa: elementos estructurales que geométricamente se pueden aproximar por una superficie bidimensional y que trabajan predominantemente a flexión.

Plancha: Llamada también plancha o chapa, y en ciertos casos, cuando el grueso es reducido, papel metálico.

Propiedades mecánicas: Aquellas propiedades de un material que revelan la reacción elástica o inelástica cuando se aplica una fuerza o que mejoran la relación entre tensión y deformación.

Rebaba: Porción de materia sobresaliente en los bordes de un objeto o en las juntas.

Recocido: Un proceso que implica el calentamiento y el enfriamiento, que se aplican normalmente para inducir el ablandamiento del acero. El término también se refiere a los tratamientos destinados a alterar las propiedades mecánicas o físicas, a producir una microestructura definida o a eliminar gases.

Refractario: Sustancia infusible a las temperaturas que debe soportar durante el funcionamiento; material resistente al calor.

Residuos: Restos de metal fundido que quedan en el horno tras el vaciado.

Resistencia a la tracción: Medida de carga máxima por unidad del área original del acero antes de una fractura.

Resistencia: Capacidad de resistir a las fuerzas aplicadas.

Revestir: Recubrir cucharas u hornos con elementos refractarios.

Rolado: Proceso continuo en el que una lámina es sometida a una serie de rodillos que le proporcionan a la tira de acero de una forma específica.

Tenacidad: Capacidad de absorber la energía de impacto.

Tensión: Carga por unidad de área.

Trefilado: Operación de conformación en frío consistente en la reducción de sección de un alambre o varilla haciéndolo pasar a través de un orificio cónico practicado en una herramienta llamada hilera o dado.

Tocho: Una pieza semiterminada que resulta de laminar o forjar un lingote. Un tocho es cuadrado o su ancho no duplica su grosor y normalmente no supera las 36 in² en la sección transversal.

Trabajo en caliente: Deformación plástica de un metal a una temperatura y rango específicos para prevenir el endurecimiento por deformación.

Trabajo en frío: Laminado o estirado de productos aluminio semiterminados para proporcionar propiedades físicas superiores o mejores superficies de las que se pueden producir con el trabajo en caliente.

Tratamiento superficial: Es un proceso de fabricación que se realiza para dar características determinadas a la superficie de un objeto como aumentar dureza, controlar dimensiones, aumentar la resistencia mecánica, etc.

Tratamiento térmico: Es el proceso que comprende el calentamiento de metales o aleaciones en estado sólido a temperaturas definidas, manteniéndolas por suficiente tiempo, para después enfriarlas a velocidades adecuadas con el fin de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, especialmente la dureza, resistencia y elasticidad.

Troquelado: Es la acción ejecutada por un molde o troquel, cuando se realiza presión contra un material para realizar un corte y una deformación al material empleado.

Una sustancia que tiene propiedades metálicas y se compone de dos o más elementos químicos de los que al menos uno es un metal.

Vaciado de metal fundido: Vaciado del metal en los moldes de los lingotes.

Bibliografía

1. *Continuous casting of aluminium*. Ing. **Catrin Kammer, Goslar**. 3210, s.l. : European Aluminium association, 1999, TALAT, pág. 27.
2. **Coca, Dr. Pedro**. *Aluminium Taschenbuch, 14. Auflage*. España : Editorial Reverté, S.A., Marzo 2004.
3. **Pehlke, Robert D**. *ASM Handbook-Casting*. 9th Edition Metals Handbook. Michigan : ASM INTERNATIONAL, 1998. Vol. 15.
4. **Thomas, B.G**. *Continuous Casting*. Illinois : Elsevier Science , 2001. Vol. 2.
5. *Continuous casting and rolling for the manufacturing of thin Al sheets*. **M. Rosso, I. Peter**. [ed.] Alessandria Campus & Torino Politecnico di Torino. 2, Torino : International OCSCO World Press, 2012, Vol. 52.
6. *Tribología: Fricción, Desgaste y lubricación*. **Díaz del Castillo Rodríguez, Felipe**. México : FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN, 2007, LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES, pág. 25.
7. **Reyes Ruiz, Arturo**. *Efecto del modificador en la microestructura y propiedades mecánicas de la aleación SAE788 (A17X)*. CD. UNIVERSITARIA : UNAM, 2008. pág. 71.
8. **Apelian, D**. *Aluminum Cast Alloys:Enabling Tools for Improved Performance*. Wheeling, Illinois : North American Die Casting Association, 2009.
9. **Franssens, Schouwenaars**. *Análisis de la deformación plástica durante el desgaste de cojinetes de deslizamiento*. CD. Universitaria : UNAM, 2004.
10. *Hazelett Process – Smelter Metal to Sheet*. **Hazelett David N., Szczypiorski Wojtek S**. Colchester USA : HAZELETT, 2011.
11. *Reinventing Twin Roll Casting for the 21st Century*. **Enrico y Romanowski, Chris**. Pianezza ITALIA and California USA : FATA Hunter Inc.
12. *Industria de Autopartes*. **ProMéxico**. Ciudad de México : s.n., 2012.
13. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. **INEGI**.
14. **INA**. Industria Nacional de Autopartes. [En línea] Industria Nacional de Autopartes, A.C. [Citado el: 25 de 1 de 2014.] www.ina.com.mx/.
15. **Atlantic, Silver**. Silver Atlantic International Trade Co., Ltd. [En línea] Alibaba.com. [Citado el: 1 de Enero de 2014.] www.silver-atlantic.com.
16. **Hengzhong, Zhengzhou**. Zhengzhou Hengzhong Heavy Machinery Manufacturing Co., Ltd. [En línea] Alibaba.com. [Citado el: 24 de Enero de 2014.] <http://www.zhzg.cn>.
17. **Hazelett**. [En línea] Hazelett Corporation . [Citado el: 1 de Enero de 2014.] <http://www.hazelett.com/>.
18. **Hormesa**. Hormesa. [En línea] [Citado el: 1 de Enero de 2014.] <http://www.hormesa.com/>.
19. **Age, Lightmetl**. *Modern Advances in Producing Building Sheet Products from Twin Roll Cast Aluminum*. 2008.