

# HEWLETT-PACKARD

---

## Integrantes:

Ratto, Andrea	02-100073-9
Da Costa Martins, Rodrigo	02-100129-9

## Índice

Introducción .....	2
Objetivo .....	2
Descripción general de la empresa .....	2
Marco teórico .....	2
Información del producto y del proceso .....	2
Los Pozos Petroleros .....	3
Los Productos .....	3
El Proceso en la Obtención de las Características Deseadas .....	5
Producción .....	5
Materiales y Materias Primas .....	5
Chatarra.....	6
Hierro Esponja .....	7
Ferroaleaciones .....	8
Fundentes.....	8
Layout y Diagrama del Proceso .....	8
Aceración Primaria .....	9
Aceración Secundaria .....	14
Colada Continúa .....	24
Equipos y herramientas.....	25
HORNO DE ARCO ELÉCTRICO (Electric Arc Furnace – EAF) .....	25
CUCHARA/OLLA (LADLE) .....	28
HORNO CUCHARA/OLLA (LADLE FURNACE – LF) .....	30
Conclusiones .....	33
Bibliografía .....	33

## Introducción

### Objetivo

En el siguiente trabajo práctico expondremos el proceso de acería para la producción de tubos de acero sin costura realizado en la planta de una empresa multinacional localizada en Campana.

Se pretende explicar detalladamente todos los pasos llevados a cabo y los materiales y maquinas involucrados en el proceso, entiendo el papel que juega cada uno en la obtención del producto final.

### Descripción general de la empresa

La empresa, que llamaremos TUBAR S.A es productora y proveedora líder global de tubos de acero sin costura y proveedor de servicios de manejo, almacenamiento y distribución de los mismos para las industrias del petróleo y gas, energía y mecánica. Es también proveedora líder regional de tubos de acero con costura para gasoductos en América del Sur. Con centros productivos en Argentina, Brasil, Canadá, Italia, Japón, México, Rumania y Venezuela y una red de centros de atención al cliente presente en más de 20 países, TUBAR posee una capacidad de producción anual de 3 millones de toneladas de tubos sin costura y 850,000 toneladas de tubos con costura.

TUBAR ofrece un tubo mecánico sin costura laminado en caliente para diversas aplicaciones industriales. Esta clase de tubos se utiliza tanto para conducción de agua y aguas cloacales, como para el transporte en tierra de petróleo y gas y para la industria minera. Son desarrollados para ambientes de trabajo adversos tales como ambientes corrosivos, altas y bajas temperaturas, alta presión y servicio agrario. Otros ejemplos de estas aplicaciones son: Maquinaria pesada, Cilindros hidráulicos, Maquinaria agrícola, Industria minera, Construcción y uso estructural, Varias aplicaciones mecánicas, Etc.

## Marco teórico

### Información del producto y del proceso

TUBAR diseña y fabrica una gran variedad de Tubos soldados y sin costura, conexiones y accesorios. Estudiaremos aquellos utilizados para la perforación y terminación de pozos de gas y petróleo.

## Los Pozos Petroleros

El petróleo, gas y carbón que se quiere extraer, se encuentra en yacimientos atrapados bajo tierra en rocas porosas como producto de la metamorfosis de restos orgánica durante millones de años a altas presiones y temperaturas.

Tras varios estudios geológicos para verificar la existencia de un pozo, se procede a la perforación. El pozo se hace perforando un hoyo de entre 5 y 30 pulgadas de diámetro en la roca, mediante una broca dentada que tritura la roca a su paso y desplaza los restos hacia la superficie a través de la misma. A medida que se va avanzando y se desplaza material, se va insertando detrás de la broca una columna de tubos de perforación y otros tubos especiales con paredes más gruesas y mayor peso que ayudan a darle fuerza a la broca.

A medida que el pozo gana profundidad, una columna de perforación hace circular un líquido mientras la broca trabaja, el cual transporta los fragmentos de roca hacia la superficie, evitando que se produzcan obstrucciones. Una potente bomba hace que el líquido baje por la tubería y vuelva a subir a la superficie por fuera de ella.

Una vez terminada la perforación, varias tuberías de acero de diferentes diámetros, denominadas “casing” se cementa en el interior del pozo. A medida que se avanza en profundidad, disminuye su diámetro. El cemento une el “casing” a las paredes del pozo y evita que se filtren los fluidos de trabajo que pueden llegar a ser corrosivos o dañinos.

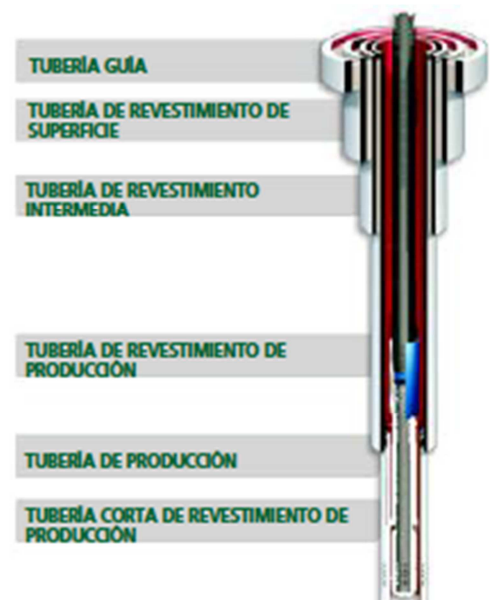
Una vez terminada la cementación se continua perforando hasta encontrar el yacimiento. Una vez encontrado, se hace descender un tubo especial con explosivos, los cuales al detonar disparan proyectiles que atraviesan la tubería de revestimiento, el cemento y un tramo corto de la formación de producción. Los fluidos de la formación (gas y petróleo) fluyen a través de estas perforaciones e ingresan en el pozo.

Debido a la gran presión y composición de los fluidos, que producirían corrosión y erosión en la tubería de revestimiento, antes de detonar los explosivos, se introducen en ellas tubos de menor diámetro y de características especiales llamados tubos de producción o “tubing” para extraer los fluidos.

## Los Productos

Los productos tubulares utilizados para la exploración y perforación se denominan Artículos Tubulares para Campos Petrolíferos (OCTG del inglés Oil Country Tubular Goods). Respondiendo a lo anteriormente explicado, hay 3 tipos de OCTG:

- *De Revestimiento o “casing”:*  
Debe ser lo suficientemente resistente como para soportar los esfuerzos de tracción que ejerce la columna de tubos que cuelga de esta a la profundidad requerida, a la vez que se la somete a cargas de flexión y torsión. Además, cargas



térmicas o de presión que pueden desestabilizar la tubería.

- *De Perforación:*  
Transmiten la energía mediante movimientos de rotación y están expuestas a los líquidos de trabajo.
- *De Producción o “tubing”:*  
Deben ser de un acero lo suficientemente resistente como para soportar su propio peso, el peso del producto que contienen, y el equipo de producción.

Los productos OCTG pueden definirse según las siguientes características:

<b>Manufactura</b>	Con costuras (soldadas) o sin costuras.
<b>Dimensiones</b>	Se pueden acordar dimensiones estándar con el cliente, pero el material no tendrá estampado el monograma API-ISO correspondiente.
<b>Calidad del Acero</b>	El API ha adoptado una designación de calidad para definir la resistencia del material. Esta designación consta de una letra seguida por un número, que indica la resistencia mínima del acero en Ksi (1000 psi o libras por pulgada cuadrada). Cuanto mayor sea el número, mayor será la resistencia del material. El proceso de manufactura, el tratamiento térmico y los requerimientos químicos y mecánicos para cada calidad de acero se rigen según las normas del API.
<b>Extremos</b>	Los productos tubulares pueden pedirse con diferentes tipos de extremos. Algunos son: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ extremos aplanados;</li> <li>▪ extremos recalcados;</li> <li>▪ roscados con acoplamientos;</li> <li>▪ con anillo de estanqueidad;</li> <li>▪ roscados sin acoplamientos;</li> <li>▪ conexiones integrales;</li> <li>▪ según OC (Orden de Compra).</li> </ul>
<b>Identificación</b>	Los tubos deben identificarse en forma adecuada, de modo que la información pertinente (por ejemplo, el tamaño, el peso, la calidad, el tratamiento térmico, etc.) pueda apreciarse a primera vista.
<b>Protección</b>	Los tubos se recubren con una laca o aceite del lado de afuera (según requerimientos del cliente) para protegerlos de la corrosión y otros daños. Este proceso se realiza antes del envío.

Cuadro 1 – Características de los productos

Otras aplicaciones podrían ser:

- TUBOS DE CONDUCCION (de Petróleo, Gas Natural, agua y otros fluidos, ya sea en Tierra Firme o costa afuera, u *offshore*)
- PLANTAS GENERADORAS Y PROCESADORAS (Para Intercambiadores de calor, Calderas, o para la industria petroquímica, refinerías y plantas generadoras de energía)
- APLICACIONES INDUSTRIALES (Para estructuras, sistemas hidráulicos, cojinetes de bolas y rodillos, etc.)
- INDUSTRIA AUTOMOTRIZ (Medidas de seguridad, Transmisión, Chasis y suspensión, partes del motor, dirección y tren de potencia)

Figuras 1 y 2 – Tubos de conducción para gasoducto y para Conducción de petróleo en pozo offshore.

## El Proceso en la Obtención de las Características Deseadas

Para poder cumplir con todas las funciones previamente mencionadas, la acería juega un papel fundamental en la obtención de las características deseadas.

Al comienzo del proceso, controlando las cantidades de materia prima, los aleantes utilizados, la temperatura de trabajo, el tiempo de calentamiento y enfriado, entre otras técnicas utilizadas, se puede obtener acero con resistencias mecánicas y químicas de gran variedad.

## Producción

### Materiales y Materias Primas

Las materias primas se dividen en 2 grandes grupos: Carga Metálica de Horno y Agregados en Cuchara/Olla (LF: ladle furnace):



Actualmente, por una cuestión de costos, practicidad y de reciclaje, se utiliza en un 70% chatarra (alrededor de 50 tn.) y el resto hierro esponja principalmente. Como no se dispone de alto horno, el arrabio sólido no se usa, excepto en excepciones donde proviene de otras empresas.

## **Chatarra**

La chatarra es un conjunto de trozos de metal de desecho, principalmente hierro. Se puede obtener de desechos de construcciones metálicas, de la industria automotriz o de objetos domésticos (Chatarra Comercial u/o obsoleta); Chatarra de Talleres metalúrgicos; y Chatarra Propia o Interna.

Además, la chatarra se puede clasificar según:

- Composición Química:
  - Altos Residuales (Cu, Sn, Pb, P).
  - Bajos Residuales (Libre de elementos perjudiciales al acero).
  - Chatarra no aleada (Libre o de bajo contenido de aleantes como Ni, Cr, Mo, Mn, Si, etc).
  - Chatarra aleada (Cantidades medianas a altas de aleantes).
- Composición Física (Densidad):
  - Chatarra Livianas (Viruta o recortes de chapa muy finas)
  - Chatarra Semi-Pesadas (Chatarra obsoleta o de comercio)
  - Chatarra Pesadas (Rieles de FFCC, despuntes de barras, etc.)

Las características de la chatarra afectan la calidad del producto final. Los factores más relevantes a tener en cuenta en la selección de la chatarra son:

- a) Presencia de Elementos no ferrosos:
  - Por un lado aquellos que quedan retenidos como escoria (Si, Al, Ti, Ca, B).
  - Otros se reparten entre la escoria y el baño de acero (Mn, P, Cr, S).
  - Aquellos que se vaporizan y salen del horno como gases (Zn).
  - Componentes Eléctricos (Cu y Sn).
  - Componentes de autos (Cr, Mo, Ni).
- b) Presencia de materiales no metálicos:
  - Tierra: Contiene Sílice ( $\text{SiO}_2$ ) afecta el equilibrio químico de la escoria, haciendo necesario mayor uso de cales (CaO). Afecta el rendimiento metálico de la carga y aumenta el costo.
  - Aceites y Grasas: Pueden generar problemas de combustión dentro del horno.
  - Materiales no conductores: Refractarios, cementos, cerámicos que afectan el rendimiento metálico y pueden generar roturas en los electrodos por cortar el camino del arco eléctrico.
- c) Dimensiones Máximas: Las chatarras demasiado grandes para el horno pueden generar incremento del tiempo de fusión, salpicaduras con daños al personal y equipos, imposibilitar el cierre de la bóveda del horno.

- d) Consideraciones Ambientales: Materiales combustibles y otras sustancias que son tóxicas que pueden estar en la chatarra.
- e) Consideraciones de seguridad: La chatarra debe estar libre de explosivos o inflamables, radioactivos, recipientes cerrados que puedan producir explosiones.

Una vez que se tiene la chatarra, se la descarga desde los medios de transporte en el parque de chatarra. Allí se la clasifica de acuerdo a diferentes criterios densidad y tamaño, nivel de residuos nocivos y contenido de aleantes.

Mediante electro magnetos de gran tamaño, se carga la chatarra en cestas donde se pesa la cantidad de chatarra ingresada. En la parte inferior la cesta tiene unas mandíbulas que abren y cierran para depositar la chatarra en el horno.

La distribución de la chatarra en la cesta debe conducir a lo siguiente:

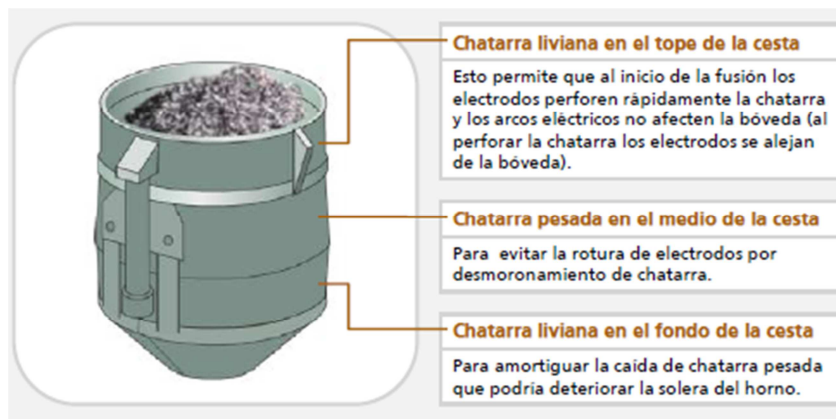


Figura 3 – Distribución de la chatarra en la cesta de carga.

### Hierro Esponja

Es el resultado de la reducción del mineral de hierro en un reactor en donde se le quita el oxígeno por medio de Hidrógeno y Monóxido de Carbono. Se ingresan pellets de hierro mineral en la parte superior de un reactor, y como resultado se obtienen pellets de hierro esponja sólidos y a temperatura ambiente. Este proceso se llama Reducción Directa.

Ventajas:

- No incorpora residuales indeseables al acero.
- Es una importante fuente de Carbono dependiendo del origen.
- Composición química muy estable.
- Permite la carga continua del horno eléctrico.

Desventajas:

- Mayor consumo de energía eléctrica (para la reducción de los óxidos presentes)
- Mayor necesidad de cal para neutralizar la ganga.
- Posible mayor desgaste del refractario si no se controla el Feo y SiO<sub>2</sub>.

- Se re-oxida rápidamente por la humedad ambiente y su porosidad.

Todas las materias primas se someten a controles durante la recepción de las mismas, para su clasificación y posterior uso adecuado. Se toma una muestra y se la envía al laboratorio para determinar la composición.

### **Ferroaleaciones**

Se usan para darle propiedades físicas y mecánicas al acero según el uso que se le vaya a dar.

Son soluciones solidas de Fe y de los elementos químicos que se desea agregar. Pueden aportar Carbono, y a veces el elemento químico se agrega como metal puro.

Tipos de ferroaleaciones:

- **CARBONO:** Es el principal responsable de la dureza del acero debido a la formación de cementita. Se agrega en estado puro.
- **MANGANESO:** Mejora la maquinabilidad, aumenta la dureza y decrece la ductilidad y la soldabilidad.
- **SILICIO:** Desoxidante leve, mejora la resistencia a la tensión y afecta la maquinabilidad.
- **MOLIBDENO:** Es un potente endurecedor del acero. Mejora la resistencia a la corrosión y la tenacidad.
- **VANADIO:** Es un afinador de grano del acero y mejora la dureza.
- **NIOBIO:** Afinador de grano del acero. Mejora la resistencia y la dureza. Aumenta la resistencia al ablandamiento durante el temple.
- **ALUMINIO:** Es un fuerte desoxidante, potente afinador de granos del acero, y puede mejorar la tenacidad.
- **CROMO:** Genera resistencia a la corrosión y la oxidación. Tiene una acción suave sobre la dureza y mejora la resistencia al desgaste.

### **Fundentes**

Reaccionan químicamente con las impurezas y forman la escoria. Baja el punto de fusión del SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y CaO haciendo que se mantenga líquida y arrastrándolos hacia la parte superior.

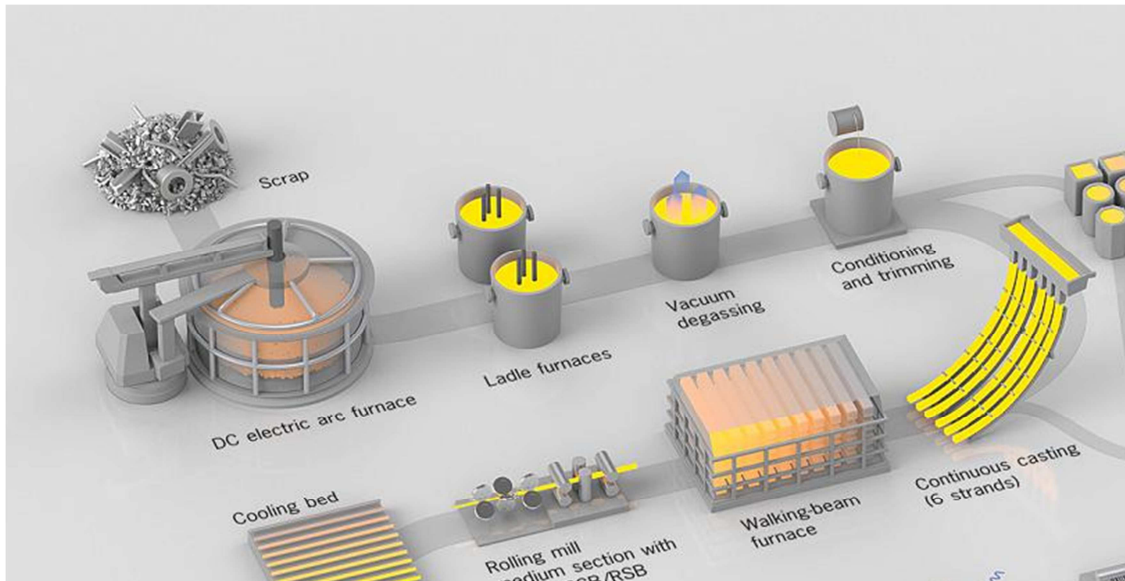
Así se posibilita la eliminación del Fósforo y azufre, se retienen los óxidos.

### **Layout y Diagrama del Proceso**

Como el proceso de manufactura es muy amplio y complejo, en el presente trabajo nos centraremos en el proceso de acería llevado a cabo en un “mini mill” compuesto de varios hornos, siguiéndolo desde las materias primas utilizadas para producir la aleación requerida hasta la salida del producto final que posteriormente pasara a la etapa de laminación continua.

En TUBAR no se utiliza el proceso de Alto Horno, sino que se cuenta con un sistema de 4 etapas o “Mini Mill” dividido en 2 sub-etapas: Aceración Primaria, donde se obtiene el acero líquido crudo del Horno de Arco Eléctrico; y Secundaria: de la cual se obtiene el acero refinado listo para la colada continua (Horno de afino, Trimming, Horno de vacío –opcional-).

Se parte de chatarra y hierro esponja, para obtener barras redondas de colada continua de diversos diámetros.



### Aceración Primaria

Comprende la fusión de la materia prima. Esta etapa se lleva a cabo en el Horno de Arco Eléctrico. El principal objetivo es fundir el hierro esponja y la chatarra, que se encuentran en estado sólido, para obtener acero líquido crudo (sin refinar). Esto se logra mediante el aporte de energía, principalmente eléctrica, pero también de energía química, inyectando oxígeno que al reaccionar genera calor. También, en esta etapa, mediante la oxidación, se eliminan elementos perjudiciales para el acero, como el fósforo.



### Carga

El proceso comienza con la carga de la chatarra en la cesta.

Para realizar la carga el horno debe estar abierto. Para esto se levanta la bóveda y luego se gira. Cuando la cesta está colocada sobre el horno, se abren las mandíbulas de la cesta descargando la chatarra en el interior del horno. Luego, se cierra la bóveda y descienden tres electrodos de grafito, los cuales aportan energía eléctrica. Al conectar el interruptor se produce un arco eléctrico entre los electrodos y el material sólido. Dicha energía eléctrica se transforma en calor, provocando la fusión de la chatarra.

A medida que se funde la chatarra, se va formando un baño de Acero líquido en el fondo del horno y se dispone de mayor volumen dentro del horno.

En un determinado momento se corta la energía eléctrica, se abre la bóveda y se carga otra cesta de chatarra al horno. Se enciende otra vez la carga eléctrica y comienza la fusión de la segunda cesta. Cuando se han fundido todas las cestas (2 o 3), el calentamiento sigue por cierto tiempo a fin de sobrecalentar el Acero hasta la temperatura de colada.

La cantidad de cestas por colada depende de la densidad de chatarra utilizada. Mientras menor sea la densidad, mayor cantidad de cestas serán necesarias para realizar la carga.

El momento de carga de las cestas debe ser elegido cuidadosamente, procurando no fundir demasiado la primera carga generando un volumen libre mucho mayor al necesario, ni cargar la siguiente antes de que haya suficiente volumen libre en el horno. En el primer caso, el arco queda desprotegido, lo que puede provocar daño en los paneles refrigerados por exposición directa de los mismos al arco eléctrico. Simultáneamente, el acero líquido se sobrecalienta, provocando daños en la solera del horno. En el segundo caso, el nivel de chatarra será demasiado elevado, pudiendo impedir el correcto cierre de la bóveda.

Se debe procurar abrir y cerrar el horno rápidamente, ya que no solo no se aporta energía al sistema sino que además se pierde una importante cantidad de energía por radiación.

### *Fusión de la chatarra*

Este proceso comienza inmediatamente después de la carga, al conectar la energía eléctrica. Esta es conducida al interior del horno a través de electrodos, los cuales generan un arco entre ellos y la chatarra, cuando se acercan a ella. Este arco aporta la energía térmica necesaria para fundir la chatarra. Mientras mayor es la potencia suministrada al horno, más rápido se funde la carga. Por eso, durante la mayor parte de la etapa de fusión debe trabajarse a la máxima potencia.

La fusión de la chatarra se produce en etapas. En la primera etapa, de perforación inicial, se realiza un agujero por cada electrodo, de forma que el extremo inferior del electrodo se introduzca en la chatarra, fusionando la parte superior de la carga. Luego de esta perforación inicial, los electrodos habrán penetrado lo suficiente la chatarra como para que pueda utilizarse una tensión mayor, sin peligro de dañar la bóveda. Debe procurarse que los electrodos desciendan continua y gradualmente en busca del líquido remanente que cubre la solera del horno. En la tercera etapa, se opera con un arco largo para realizar la fusión en el menor tiempo posible. Se quiere incrementar la temperatura y que la chatarra sólida remanente se fusione incrementando el nivel de metal líquido.



En esta parte del proceso se realiza el agregado de cales a fin de formar la escoria que cubrirá el arco y evitará que se dañe el horno.

### *Baño plano*

Cuando todas las cestas han sido fundidas, ya no tenemos chatarra líquida en el horno, sino que tenemos un baño de acero líquido. Durante este período el horno se vuelve más silencioso, el arco se estabiliza y la potencia es más uniforme.

Como ya no existe chatarra protegiendo las paredes, es importante reducir la longitud del arco eléctrico, para reducir la carga térmica sobre el refractario.

En la etapa de baño plano se llevan a cabo tres procesos fundamentales.

- Reacciones de oxidación: el oxígeno reacciona con los componentes del baño líquido generando óxidos, que en su mayoría pasan a formar parte de la escoria.

Una de las reacciones de oxidación más importantes es la remoción de fósforo o defosforación. El fósforo es un elemento perjudicial para las propiedades del acero. Para eliminarlo es necesario inyectar oxígeno y agregar cal, los cuales al reaccionar con el fósforo se convertirán en escoria. Se necesitan bajas temperaturas para evitar la reversión del fósforo de la escoria al acero.

- Escoriado: consiste en remover parte de la escoria presente en el horno eléctrico, para eliminar el fósforo y así poder aumentar la temperatura. Esto se logra basculando el horno hacia atrás y la escoria es eliminada por la puerta del horno.
- Calentamiento: el aporte de energía se realiza para llevar el acero a la temperatura final objetivo, denominada temperatura de sangrado.

Trabajar con escoria espumosa es fundamental durante el período de baño plano, a fin de aumentar la eficiencia térmica del horno cuando las paredes laterales están totalmente expuestas a la radiación del arco. Para formar una buena escoria espumosa es necesario el agregado de cales y la inyección de oxígeno y carbón, para producir CO, componente crítico para la formación de la escoria espumosa.

### *Parámetros a controlar antes del sangrado*

Antes de proceder al sangrado, es necesario llevar a cabo una serie de controles y mediciones imprescindibles para el cumplimiento de los objetivos del horno eléctrico.

1. Medición de la temperatura del acero: se utilizan sensores formados por termocoplas descartables que se acoplan a una lanza de inmersión y se sumerge en el acero. Se realizan como mínimo 2 mediciones de temperatura. La primera es conveniente realizarla cuando se haya alcanzado una cierta energía específica. Y la última, al finalizar el proceso para verificar que se haya alcanzado la temperatura deseada.
2. Muestreo y análisis químico del acero: se realiza con cartuchos descartables que contienen un molde para extracción de muestra de acero. Estos se acoplan a la lanza de inmersión. La toma de la muestra coincide con la medición de temperatura. La muestra se enfría y se lleva al laboratorio para su posterior análisis.
3. Muestreo y análisis químico de la escoria: se introduce manualmente una varilla de hierro por la puerta del horno y se sumerge en la escoria. Esta se adhiere a la varilla y se deja enfriar naturalmente. Y una vez enfriada, se retira de la varilla y se guarda en bolsas para su posterior análisis en el laboratorio.
4. Medición de la actividad de oxígeno del acero: a partir de la sangría, el acero deberá estar libre de oxígeno ya que en los procesos siguientes será perjudicial. Por este motivo hay que eliminarlo y para hacerlo eficientemente es necesario conocer su concentración en el acero. Se utilizan sensores descartables que consisten en una celda electroquímica que se acopla a la lanza de inmersión.

### *Sangrado*

Una vez lograda la composición y temperaturas deseadas, se vuelca el acero en una cuchara u olla, para ser transferido a la próxima estación de tratamiento.

El sangrado dura pocos minutos dependiendo del tamaño y el estado del orificio de salida (tap hole) y de la cantidad de acero líquido a sangrar.

Podemos considerar el sangrado como la primera etapa de la metalurgia secundaria, ya que en esta etapa se realizan las primeras adiciones y operaciones necesarias para el afino del acero.

Las operaciones que se llevan a cabo durante el sangrado son:

- Transferencia de acero del horno a la cuchara: deben cumplirse ciertas indicaciones, como por ejemplo, la bóveda debe estar abajo, los electrodos deben estar arriba, el codo de captación de humos debe estar fuera. Una vez cumplidas estas indicaciones, la cuchara se coloca debajo del orificio de salida, se bascula el horno hacia adelante y se abre el orificio. Una vez realizado el sangrado, se bascula el horno hacia atrás y se coloca la cuchara en posición de espera.
- Agregado de materiales: durante la transferencia de acero a la cuchara, debe realizarse el agregado de materiales a fin de minimizar las adiciones necesarias en el LF.

- Burbujeo de argón: para favorecer la homogeneización térmica y química del acero. Es importante regular el burbujeo para evitar pérdidas de temperatura si el flujo de argón es demasiado intenso. También es importante durante la espera, colocar la tapa sobre la cuchara/olla, a fin de disminuir el contacto con el aire, que oxidará el acero.
- Control del pasaje de escoria al horno: la escoria de la cuchara debe presentar un contenido de FeO lo más bajo posible, y debe estar libre de fósforo para evitar la reversión del mismo al acero. Por ello es fundamental evitar que la escoria de horno pase a la cuchara/olla. Los hornos con colado excéntrico (EBT) contribuyen a disminuir el pasaje de escoria a la cuchara.

### *Preparación*

En esta etapa se controla el pie líquido, que es un parámetro fundamental para evitar el pasaje de escoria a la cuchara. Este período comprende desde la finalización del sangrado hasta la carga de la siguiente colada.

Durante este tiempo, el horno está improductivo y pierde calor, que luego será necesario aportar mediante el consumo de energía eléctrica. Cuanto menor sea la pérdida de calor, menor será el costo del acero. Es por ello que todas las tareas de preparación deben realizarse en el menor tiempo posible.

Las tareas de preparación son:

1. Limpieza y sellado del tap hole: para asegurar un correcto cierre de la clapeta del tap hole, es necesaria una adecuada limpieza de los restos del acero y escoria del sangrado anterior. Luego de la limpieza se procede al sellado, que consiste en llenar el orificio con un material refractario. Se utiliza para impedir que el acero líquido pueda introducirse dentro del orificio de vaciado durante la fusión.
2. Estimación del pie líquido: es el remanente de acero líquido que permanece en el horno luego de sangrar, es aproximadamente el 15% de la carga. Este baño líquido solo se elimina al sangrar la última colada. Los objetivos del pie líquido son minimizar el pasaje de escoria del horno a la cuchara, manteniendo una altura de pie líquido mínima de dos veces el diámetro del tap hole; y proteger la solera del sobrecalentamiento inicial.
3. Control y reparación del refractario del horno: después de cada sangrado se debe comprobar el estado general del refractario, observando los puntos calientes, la línea de escoria, la zona de transición con los paneles y el estado general de la solera. Existe un deterioro continuo a medida que aumenta la cantidad de coladas. También se puede deber a una mala operación durante la colada. La reparación, de ser necesaria, debe ser ejecutada en forma programada para reducir los tiempos de reparación y realización de la tarea. En general, la zona que más reparaciones requiere es la línea de escoria.
4. Limpieza de puerta: la puerta del horno permite la evacuación de la escoria durante el proceso de fusión. Un correcto mantenimiento de la puerta contribuye durante la fusión al normal empleo de la lanza de oxígeno por puerta y permite escoriar el horno sin dificultades.

5. Precarga de cal dolomítica: finalizado el sangrado y estando el horno en posición horizontal, se procede a la carga de cal dolomítica. Se realiza para evitar o disminuir el ataque químico de la escoria sobre las paredes del refractario, debido a que la escoria tiende a tomar óxido de magnesio de los ladrillos. La cal le aporta óxido de magnesio a la escoria y la hace menos agresiva al refractario.

### Aceración Secundaria

Comprende el refinamiento del acero. Antes de enviarlo a la máquina de colada continua se debe refinar el acero fundido proveniente del horno eléctrico. Esto significa ajustar su composición y su grado de limpieza en función de los requerimientos del producto.



Al finalizar la etapa de la Aceración Primaria, es decir el proceso en el horno de arco eléctrico, el acero líquido crudo es volcado en la cuchara/olla, para luego ser transportado a la máquina de colada. Mientras está en la cuchara/olla, el acero será sometido a una serie de tratamientos que forman parte del Refinamiento, tales como ajustes en la composición, agitación, desgasificación y recalentamiento, que permiten un mejor encuadre de la calidad del acero. Además, la aceración secundaria mejora la productividad al actuar como compensador entre el Horno de Arco Eléctrico y la Colada Continua: Mientras la afinación se lleva a cabo en la cuchara/olla, el horno eléctrico puede seguir fundiendo otra colada.

### REFINAMIENTO

Refinar el acero significa ajustar su composición y su grado de limpieza en función de los requerimientos del producto que se esté elaborando.

El Refinamiento comprende:

- Remoción de Elementos No Deseados, como Oxígeno, Azufre y otros gases no deseados.
  - DESOXIDACIÓN
  - DESULFURACION
  - DESGASIFICACION
- Ajuste de Elementos Aleantes, para lograr la composición final requerida.

- Limpieza del Acero de compuestos perjudiciales para las propiedades del producto, inclusiones, que ensucian el acero.
- Ajuste de la Temperatura.

## DESOXIDACIÓN

La solubilidad del oxígeno en el acero sólido (0.003%) es mucho menor que la del acero líquido (0.16%), y si el acero fuera colado en las condiciones en que sale del horno eléctrico (0.04% - 0.1%), durante la solidificación, el oxígeno se combinaría con el C para formar CO, el cual produciría poros no deseados en el producto final.

Por esto es necesario reducir la cantidad de oxígeno disuelto, y se hace agregando al acero elementos que reaccionen con el oxígeno. Este proceso también se llama Calmado o Reducción del Acero.

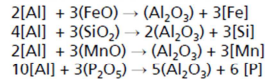
El oxígeno a reducir puede venir de la chatarra usada, de la disociación de humedad ambiente, o por el contacto con la escoria oxidada. Los elementos usados para removerlo forman un óxido estable que pasa a formar parte de la escoria. Los desoxidantes más comunes usados en el proceso de la acería son los siguientes:

- Aluminio (Al). Permite concentraciones de Oxígeno disuelto de 0.0003%.
- Silicio (Si) + Manganeso (Mn). Permiten concentraciones de Oxígeno disuelto de 0.003% a 0.005%

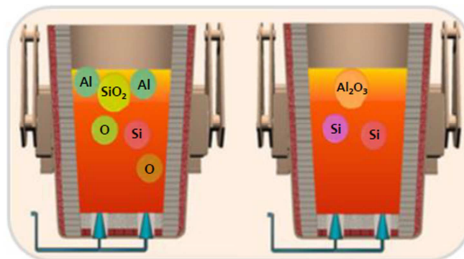
Estos se usan por su afinidad por el oxígeno para formar óxidos más estables.

Reacción con el Oxígeno:  
 $2[Al] + 3[O] \rightarrow (Al_2O_3)$

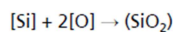
Reacciones con otros óxidos:



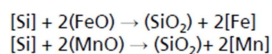
[ ] presente en el baño  
 () presente en la escoria



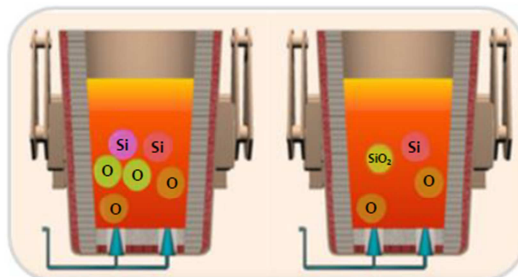
Si la cantidad de Aluminio no es suficiente para el nivel de oxidación o si no se permiten valores muy altos de Aluminio en el producto final, se utiliza Silicio, el cual se oxida de la siguiente manera (pero es tan débil que generalmente se lo usa como aleante y no como desoxidante):



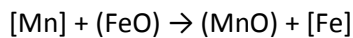
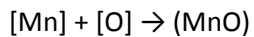
También reaccionará con los óxidos de elementos más débiles que él:



[ ] presente en el baño  
 () presente en la escoria



En estos casos, el se combinan los efectos del Silicio con los del Magnesio, cuyas reacciones de desoxidación son:



## DESULFURACION

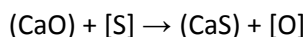
El Azufre es un elemento no metálico presente en la mayoría de las materias primas que se cargan en los Hornos. Si el acero tiene alto nivel de Azufre pero bajo Manganeseo, se formará sulfuro de Hierro (FeS) que es altamente nocivo para el trabajo en caliente y conduce a un agrietamiento severo durante la laminación en caliente (fragilidad en caliente). Por otro lado, si el acero tiene suficiente Manganeseo, se forman sulfuros de Manganeseo (MnS). Estas inclusiones de MnS tienen diversos efectos en el procesamiento y las propiedades del acero.

El Azufre afecta la ductilidad, tenacidad, conformabilidad, soldabilidad y resistencia a la corrosión. Sin embargo, el Azufre beneficia la maquinabilidad.

En general, los niveles de Azufre permitidos pueden variar entre 0.002 y 0.01 %. Los valores más bajos son para aceros en los cuales se requiere resistencia, ductilidad, conformabilidad y soldabilidad.

La concentración de Azufre en el horno de arco eléctrico es generalmente de 0.01 - 0.02% y en algunos casos mayor, dependiendo de la materia prima usada.

A fin de satisfacer las especificaciones de una baja concentración de azufre, se debe eliminar el mismo mediante la siguiente reacción entre el baño de acero líquido y la escoria:



A partir de la reacción, vemos que son necesarias 2 condiciones: Disponibilidad de CaO en la escoria (Escoria Básica – en consecuencia, bajo contenido de SiO<sub>2</sub>); y un Medio Reductor (escoria y baño de acero con la menor concentración posible de oxígeno, para favorecer que la reacción, que libera oxígeno, prosiga).

Para que la reacción se produzca rápidamente se necesita favorecer el contacto metal-escoria. Para lograrlo, se recurre a la agitación mediante el burbujeo de un gas inerte, en este caso el Argón. La agitación genera una gran superficie específica, lo que aumenta el contacto del acero y la escoria, acelerando la transferencia de Azufre. Para favorecer el contacto metal-escoria es fundamental también tener una escoria de baja viscosidad, es decir, fluida, lo cual se regula mediante su temperatura y composición. Por último, temperaturas mayores a 1500 °C favorecen la reacción. Se debe tener cuidado de no elevar demasiado la temperatura ya que cuanto más alta, más dañina es la escoria con los refractarios de la cuchara/olla; y cuanto más intenso el agitado, mayores pérdidas de carga térmica.

## DESGASIFICACIÓN

El proceso de desgasificación permite eliminar gases presentes en el acero, que podrían provocar fisuras u otras imperfecciones en el acero sólido.

Los principales gases presentes en el acero son el Hidrógeno y el Nitrógeno, y para ciertos grados deben ser eliminados. Estos gases pueden ser eliminados mediante el proceso de desgasificación por vacío. La presión de Hidrógeno y el Nitrógeno en el acero tiende a igualar la presión de estos mismos gases en la atmósfera. Al exponer el metal a una presión baja, estos gases tienden a salir del baño y son eliminados por las bombas de vacío.

El Nitrógeno es introducido al acero en la chatarra, mediante la adición de coque, de ferroaleaciones o por exposición del acero desoxidado al aire.

Las fuentes de Hidrógeno son principalmente las cales adicionadas para la formación de escoria, el coque y la humedad de la atmósfera. También la humedad de los materiales y las materias primas usadas.

El Hidrógeno en el producto final sólido, especialmente en aquellas secciones de mayor espesor, puede causar imperfecciones. Además, por encima de niveles críticos, el Hidrógeno puede generar suficiente presión como para provocar o contribuir a la fisuración. Por lo tanto, en ciertas aplicaciones es necesario reducir el nivel de Hidrógeno a 1 ppm, respecto de las concentraciones típicas de 4 ppm al momento del sangrado/colado.

## AJUSTE DE ALEANTES

La composición del acero producido en el horno eléctrico difiere de la composición requerida para el producto final. Algunos elementos aleantes se encuentran por debajo del límite mínimo especificado, por lo que se deben realizar adiciones a fin de lograr la composición final.

*Ejemplo de un análisis de última probeta de EAF*

Elemento	EAF	Min	Máx
C	0.0500	0.0600	0.0800
Si	0.0000	0.1300	0.2300
Mn	0.1200	1,0000	1,1000
P	0.0070	-	0.0080
S	0.0100	-	0.0030
Cr	0.68	-	0.600
Al	0.0100	0.0250	0.0350
B	0.0001	-	0.0050
Ni	0.665	-	0.0500
Nb	0.0000	0.0120	0.0180
Ti	0.0000	-	0.0100
V	0.665	-	0.0100
Mo	0.0020	-	0.0100
Ca	0.0000	0.0010	0.0050
N	0.0030	-	0.0085
H	0.0004	-	0.0002
O	0.0400	-	0.0007

Por encima del máximo

Por debajo del máximo

Dentro de espec

Normalmente, dependiendo del aleante, los aditivos disponibles en la acería pueden clasificarse en:



**Elementos puros:** Aluminio, Níquel, Cobre, Carbono, Azufre, etc.



**Ferroaleaciones:** FeSi, FeSiMn, FeMn, FeCr, FeMo, FeV, FeTi, FeB, etc.

Las adiciones pueden hacerse desde que comienza el proceso de afinación, es decir en el sangrado/colado, o durante el tratamiento en el LF. En general, el mayor volumen de adiciones se realiza al momento de la sangría, con adiciones correctivas menores en etapas subsiguientes.

El momento y el orden de adición en la etapa de afinación, depende de varios factores:

- Punto de fusión
- Tamaño de la partícula o Granulometría
- Afinidad por el Oxígeno

Además, es importante tener en cuenta que las adiciones de aleantes hechas en la cuchara/olla no provocan cambios instantáneos en la composición del acero, sino que implican cierto tiempo de disolución.

Debemos asegurarnos, entonces, de otorgar el tiempo suficiente para la disolución de las adiciones de aleantes en base a las siguientes tendencias:

- Las adiciones de polvos, alambres y partículas finas se disuelven más rápidamente que las partículas gruesas o barras.
- La agitación de la cuchara/olla (por burbujeo de Argón) acelera el proceso de disolución y es también esencial para homogeneizar la composición del acero líquido.
- Los tiempos de mezclado aumentarán a medida que la temperatura disminuye.

## LIMPIEZA

Este proceso consiste en la eliminación de las inclusiones no metálicas. La mayoría de las inclusiones tienen un efecto nocivo en las propiedades. Los óxidos sólidos (alúmina o ciertos aluminatos de Calcio) pueden provocar el bloqueo de las buzas (conductos que transfieren el acero de la cuchara hacia la cuba de la colada continua) durante el proceso de Colada Continua e interrumpirlo. Algunas inclusiones pueden provocar fisuras, defectos, solapados y colaminaciones en los productos laminados, así como también fracturas durante el conformado en caliente/frío y el trefilado.

Las inclusiones pueden provenir de:

Endógenas	Exógenas
<p>Son partículas generadas en el interior mismo del baño. Se forman principalmente por las siguientes reacciones químicas:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Precipitación</b> (sulfuros).</li><li>• <b>Desoxidación</b> (óxidos).</li><li>• <b>Reoxidación</b> (óxidos, más gruesas).</li></ul>	<p>Son partículas que ingresan al baño y cuyo origen no es en el acero. Son más gruesas y se forman, no por reacciones sino por determinadas condiciones físicas:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Turbulencia</b>: que puede generar atrape de escoria.</li><li>• <b>Desgaste</b>: materiales refractarios erosionados.</li></ul>

Estas se eliminan por medio de flotación mediante burbujeo: Los óxidos son menos densos que el acero, por lo tanto tienden a flotar. Se debe que las partículas generadas floten hacia la escoria y sean captadas por ella. Si estas partículas no pueden flotar hacia la escoria antes de ser enviadas a la Máquina de Colada Continua, quedan atrapadas en el producto final.

Además, la eliminación de óxidos desde el acero líquido hacia la escoria, es más efectiva si los óxidos se encuentran en estado líquido y esto se logra mediante el agregado de Calcio. El Calcio reacciona con la alúmina dando aluminatos de Calcio. Si la concentración de Calcio es la adecuada, se forman aluminatos que tienen una temperatura de fusión mucho más baja (inferior a 1500°C). Es decir, se forman aluminatos que son líquidos a las temperaturas de trabajo de la acería.

## AJUSTE DE LA TEMPERATURA

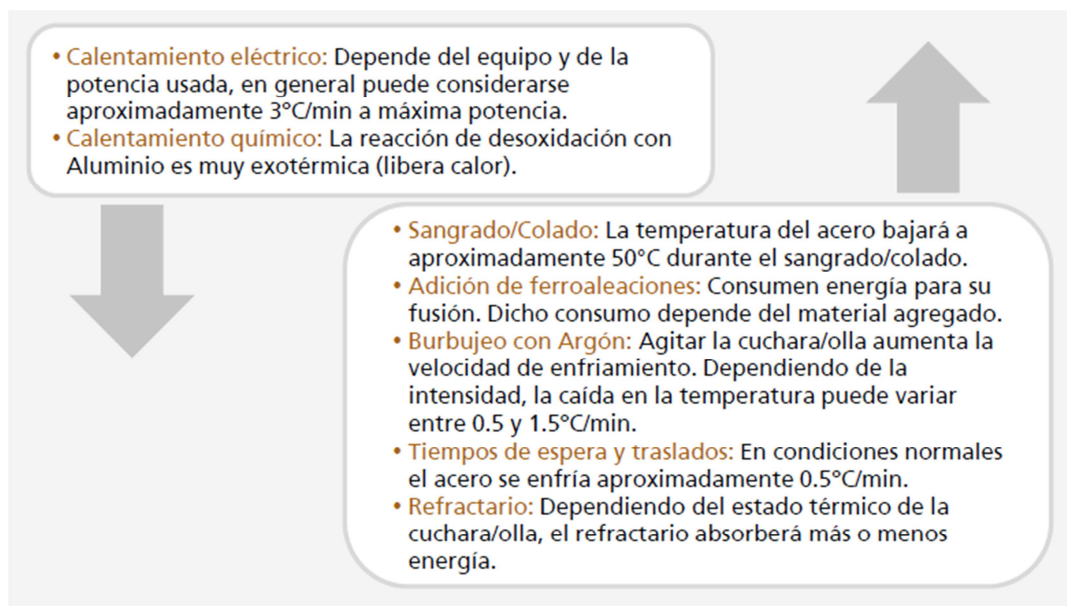
El control de la temperatura es muy importante para que el acero llegue a la etapa de Colada Continua en óptimas condiciones.

Una temperatura inferior a la adecuada podría ocasionar, por ejemplo, cierres de línea por solidificación del acero en el tundish (cuba de colada) o en las buzas (conductos). Por el contrario, el acero demasiado caliente, podría causar fisuras y hasta perforaciones de línea.

La temperatura afecta numerosos parámetros de la Aceración Secundaria, entre los que podemos nombrar:

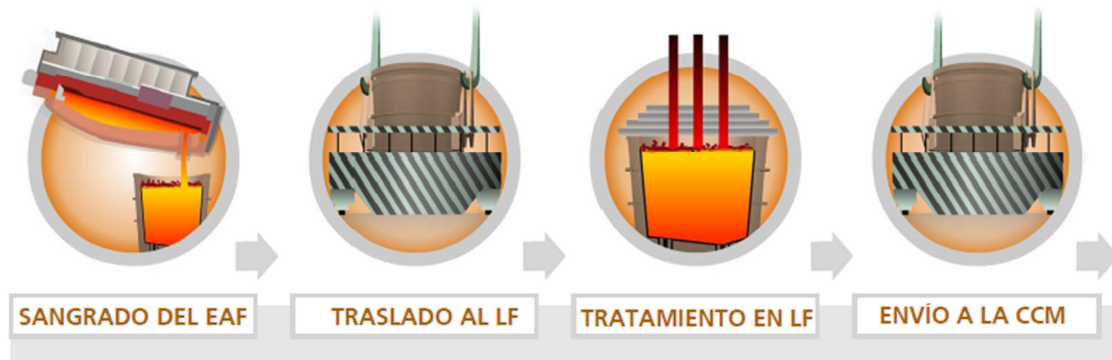
- **Desulfuración:** Se necesitan temperaturas superiores a los 1580 °C para desulfurar.
- **Disolución de agregados:** Las altas temperaturas favorecen la fusión y disolución de agregados.
- **Refractarios:** Temperaturas demasiado elevadas ocasionan un desgaste excesivo del refractario.
- **Temperatura del baño de acero:** Es imperioso evitar que caiga por debajo de la temperatura de liquidus ya que comenzaría a solidificarse el acero en la cuchara/olla.

La temperatura se ajusta controlando los siguientes factores:



## ETAPAS DE LA ACERACION SECUNDARIA

El proceso de Aceración Secundaria comprende básicamente las siguientes etapas:



## SANGRADO

Durante este período, además de la transferencia del metal a la cuchara/olla, se realizarán las primeras adiciones y operaciones necesarias para la afinación del acero. Dura unos pocos minutos dependiendo del tamaño y estado del orificio de salida (tap hole) y de la cantidad de acero líquido a sangrar.

Resumiendo lo que se mencionó previamente en aceración primaria:



## TRASLADO AL LF

Este traslado se realiza colocando la cuchara en un carro porta cucharas.

## TRATAMIENTO EN LF

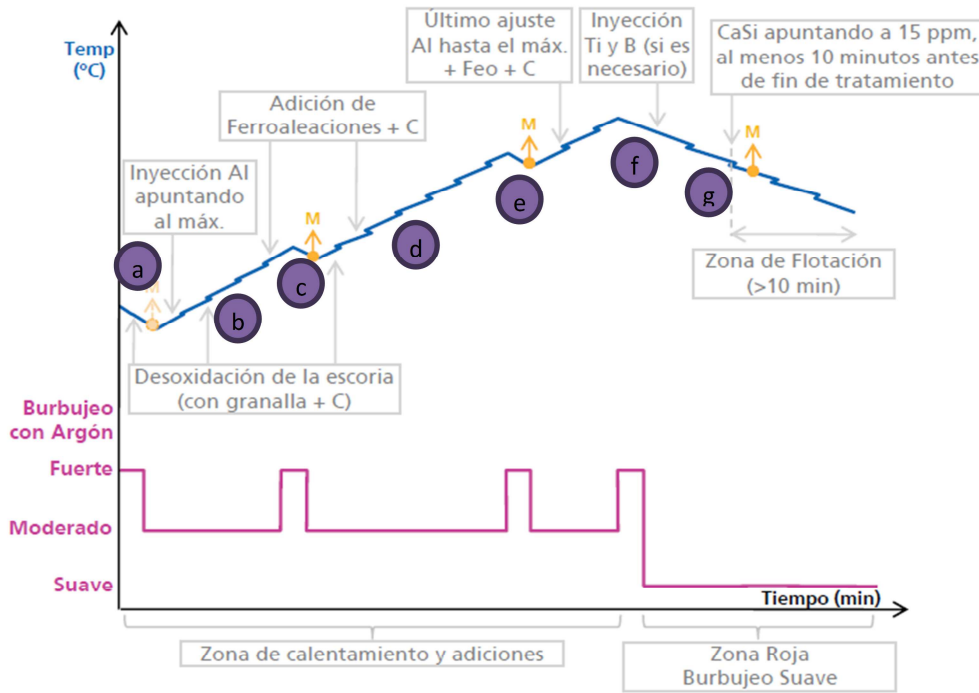
Una vez que la cuchara/olla arriba al LF, comienza el tratamiento en LF. Éste puede considerarse dividido básicamente en dos etapas:

1. **Calentamiento y Acondicionamiento:** Se realizan casi todas las operaciones necesarias para lograr la temperatura y composición química deseadas:
  - Ubicación de la cuchara/olla y conexión de Argón.
  - Inspección inicial: para verificar si existen bloques de ferroaleaciones o de escoria sin fundir. De esta observación se puede definir la cantidad de energía a ingresar en el calentamiento inicial. También hay que verificar el free-board (espacio libre entre la escoria y el borde superior de la cuchara/olla) para evitar derrames durante la agitación y el calentamiento.
  - Comienzo del agitado: El agitado comienza desde el ingreso de la cuchara/olla al LF y continuará durante todo el tratamiento en LF. Sin embargo, el agitado no será siempre igual. Su intensidad variará a lo largo del tratamiento, siguiendo un perfil de agitación o burbujeo.
  - Agregado de mezcla reductora a la escoria.
  - Calentamiento inicial: se aportan alrededor de 600 a 1000 KWH para terminar de fundir las adiciones realizadas durante el sangrado/colado y favorecer su disolución. Si no se observan aglomerados, este paso puede ser saltado. Para proceder al calentamiento, se bajan los electrodos y se conecta el interruptor principal. Durante los períodos de calentamiento, la intensidad de agitación con Argón tiene que ser moderada. Si es demasiado suave, no se logra homogeneizar térmicamente el acero y se produce un sobrecalentamiento excesivo de la escoria. Pero por otra parte, si es demasiado fuerte, puede oxidar de nuevo el acero e impedir la formación de un arco eléctrico estable.
  - Mediciones y muestreos. Terminado el calentamiento primario, se realiza un burbujeo fuerte durante un par de minutos, con el objeto de lograr una homogeneización térmica y química del acero. Finalizada esta agitación, se reduce la intensidad a suave y se procede a la medición de temperatura. Si la temperatura es 20 °C sobre liquidus, puede procederse a la extracción de la muestra de acero, que luego de ser enfriada debe ser enviada al laboratorio para su análisis químico y determinar si es necesario un agregado posterior.
  - Calentamiento principal: tiene como objetivo llegar al fin del tratamiento con la temperatura deseada (TFT), que dependerá del grado de acero en la elaboración. La temperatura a la que debemos apuntar para iniciar la zona roja debe ser mayor que la TFT. Pero esa diferencia debe ser solamente la justa y necesaria para compensar la pérdida debido al burbujeo.
  - Ajuste de composición resultado del muestreo previo.
  - Extracción de la segunda muestra y control de temperatura. Finalizado el calentamiento, y luego de realizar los agregados, vuelve a subirse el caudal de Argón para homogeneizar el acero. Luego de unos minutos, se baja nuevamente y

se extrae una nueva muestra. Esta segunda muestra se extrae para verificar la composición química después de los agregados.

2. **Zona Roja:** Ya todos los aleantes (excepto B y Ti si son requeridos) han sido agregados y se ha calentado el acero lo suficiente como para no tener que realizar otro aporte de energía. Solo queda obtener la limpieza deseada.

- Agitado suave, produciendo un ligero movimiento de la escoria sin descubrir el acero a la atmósfera. El objetivo principal de este agitado es favorecer el crecimiento y flotación de las inclusiones que se han generado a lo largo del proceso de aceración.
- Inyección de alambres microaleantes. Se denominan microaleantes porque están en porcentajes muy bajos en el acero. Se requiere entonces de una gran precisión en su agregado. Además, el Titanio es altamente oxidable (tiene alto poder de desoxidación), por lo que lo agrega al comienzo de la zona roja, cuando el acero está totalmente calmado y sólo queda realizar un burbujeo suave que no oxidará estos elementos.
- Inyección de CaSi. El Calcio influirá en la modificación de las inclusiones. Como el punto de ebullición del Calcio es menor que la temperatura del baño, para que no se evapore al incorporarlo se debe hacer a cierta velocidad y profundidad. Esto se hace encerrando el polvo de CaSi en un alambre de acero que luego se inyecta en el baño.
- Toma de muestra de acero y escoria.
- Toma de temperatura final.



- |                                  |   |   |
|----------------------------------|---|---|
| <b>a</b> Comienzo del agitado.   | <b>d</b> Calentamiento principal.                                   | <b>f</b> Comienzo agitado suave.              |
| <b>b</b> Calentamiento inicial.  | <b>e</b> Extracción de la segunda muestra y control de temperatura. | <b>g</b> Inyección de alambres microaleantes. |
| <b>c</b> Mediciones y muestreos. |   |   |

### ENVIO A LA MAQUINA DE COLADA CONTINUA

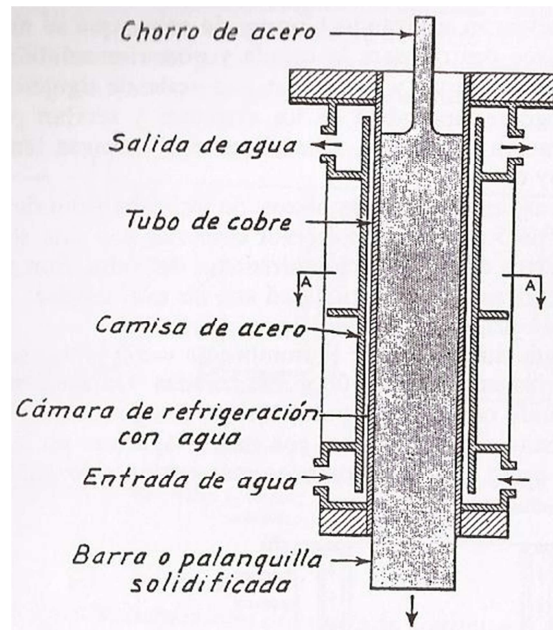
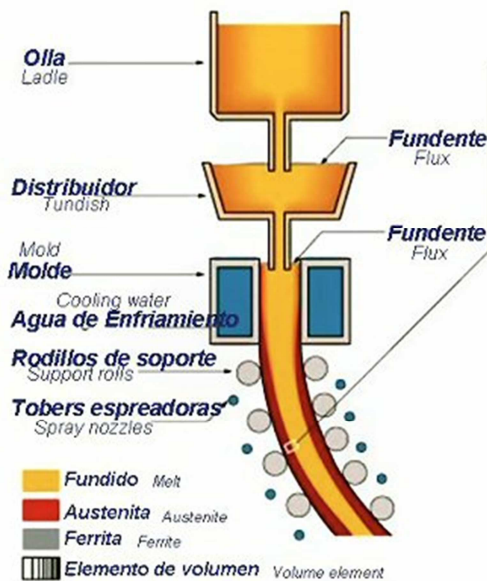
Una vez terminadas las operaciones de afinación, se coloca una tapa a la cuchara/olla y se la traslada hasta una zona donde es tomada por una grúa que la lleva hasta la torreta de la máquina de colada continua.

### Colada Continúa

Es la última etapa del proceso de acería. En ella se lleva a cabo la solidificación del acero. El acero líquido es colado continuamente a través de un distribuidor en un molde de cobre enfriado con agua, provocando la solidificación de una cascara fina. Posteriormente se extrae por medio de una serie de rodillos guía y se enfría con una fina pulverización de agua. La cascara solidificada continúa engrosándose hasta que la pieza se encuentre totalmente solidificada. Finalmente la pieza se corta a las longitudes deseadas y se descargan en el área de almacenamiento.



## Proceso de Colada Continua

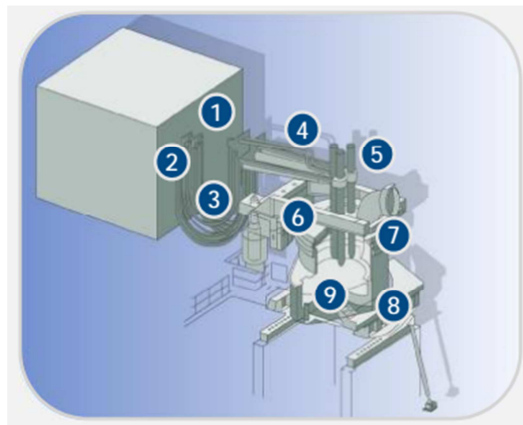


## Equipos y herramientas

### HORNO DE ARCO ELÉCTRICO (Electric Arc Furnace - EAF)

Es un equipo que, usando la energía eléctrica (en forma de arco voltaico) y química, produce la fusión y posterior calentamiento de una determinada carga metálica. Trabaja generalmente a una potencia de 60-70kA.

Las principales partes del horno eléctrico son:



1. Transformador de tensión

Es la más importante de todos los componentes del horno, ya que aporta la energía eléctrica necesaria para la fusión y el calentamiento. Su función es reducir el voltaje de la línea de alta

tensión a los valores operativos del horno. El rango de potencia es 50 – 150 MVA, el voltaje de entrada se encuentra entre 33 – 125 KV, el voltaje de trabajo está entre 100 – 1200 V.

## 2. Barras conductoras

Se utilizan para conectar el secundario del transformador con los cables refrigerados. Son tubos de cobre de alta pureza (99,99% cobre).

## 3. Cables refrigerados

Conducen la energía eléctrica desde las barras conductoras hasta los tubos conductores. Son tubos de cobre de alta pureza, refrigerados interiormente para evitar el sobrecalentamiento causado por la corriente eléctrica. Cada cable tiene un sensor de temperatura y agua que asegura la correcta operación de enfriamiento.

## 4. Tubos conductores

Conducen la energía eléctrica desde los cables refrigerados a las clapetas de contacto y ajuste de los electrodos. Son tubos rígidos de cobre electrolítico, fijados a los brazos estructurales del horno. Los tubos están refrigerados internamente por agua.

## 5. Brazos estructurales

Son aquellos sobre los cuales están montados los tubos conductores y el conjunto de zapatas usadas para sujetar los electrodos. Están fijos sobre tres columnas verticales que permiten el movimiento ascendente y descendente de los electrodos, mediante un sistema hidráulico. Estos brazos están refrigerados con agua interiormente y deben soportar el peso de los tubos conductores, los conjuntos de zapatas y la columna de electrodos.

## 6. Zapatas conductoras

Se encuentran en el extremo del brazo estructural, para el soporte de la columna de electrodos y la transmisión de energía eléctrica. Pueden ser fijas o móviles. Cada zapata cuenta con dos placas: una fija, que transmite la corriente eléctrica al electrodo; y una móvil, que presiona el electrodo evitando su desplazamiento.

## 7. Bóveda

Es la tapa del horno. Tiene una estructura levemente convexa. Está formada por una parte principal, cuya superficie está integrada por paneles refrigerados, y una parte central, llamada bovedín, compuesta de refractario aluminoso.

Puede moverse verticalmente y rotar, para permitir la carga del horno. El bovedín tiene 3 agujeros para los electrodos.

La vida útil de la bóveda es casi ilimitada. Sin embargo, el bovedín debe ser cambiado cada 200 o 400 coladas.

## 8. Carcasa cilíndrica

Es un cilindro cuyas paredes están integradas por paneles refrigerados por agua. Sus dimensiones dependen de la capacidad del horno. El objetivo de la carcasa es contener la carga hasta que el proceso de fusión hay terminado. Luego, el acero líquido queda en la solera del horno y al finalizar el proceso es transferido a la cuchara.

Las paredes de la carcasa están cubiertas por ladrillos refractarios. En el costado hay una puerta de trabajo, que se utiliza para control visual del horno, eliminación de escoria y reparaciones.

#### 9. Solera

Es la parte inferior del horno. Está revestida por dos o tres hileras de ladrillos refractarios. Contiene el acero líquido y en ella se llevan a cabo reacciones químicas. La cantidad de acero líquido debe ser la adecuada para no afectar la velocidad de la reacción química. La parte metálica de la carcasa y de la solera pueden ser reemplazadas para mantenimiento mecánico o de refractario.

### *Sistemas principales*

Son aquellos sistemas que hacen al funcionamiento del horno eléctrico.

#### *Sistema de conducción eléctrica*

Este sistema transmite la corriente eléctrica desde el transformador hasta los electrodos. Se compone de: barras conductoras, cables refrigerados, tubos conductores, mordazas conductoras, columna de electrodos.

Los materiales deben soportar altas densidades de corrientes y asegurar la máxima conductibilidad.

#### *Sistema de regulación eléctrica*

Este sistema controla y regula los movimientos verticales de los electrodos, con el objeto de mantener una longitud de arco adecuada. Los movimientos se controlan por computadoras, que chequean el voltaje de cada fase tratando de mantenerlo constante. A mayor distancia entre la punta del electrodo y la chatarra, mayor es el voltaje y menor el amperaje. Si esta distancia es muy grande, el amperaje es nulo.

#### *Sistema de extracción de humo*

El horno eléctrico genera gases y partículas que deben ser evacuadas. El sistema de extracción transporta gases y partículas del horno a un sistema de enfriamiento y limpieza antes de ser

evacuados a la atmósfera. La cantidad de gases y materiales sólidos arrastrados depende del tipo de chatarra, la cantidad de oxígeno inyectada y del uso de hierro esponja o no.

### *Sistema de colado*

Durante el pasaje del acero líquido del horno a la cuchara, la escoria que existe en el horno no debe pasar a la cuchara/olla. Para evitar esto, se adopta un sistema de EBT (Eccentric-Bottom-Tapping) o colado excéntrico por el fondo. Este sistema está compuesto por un orificio en la solera ubicado en la nariz del horno. Este orificio está formado por ladrillos en forma de anillos que forman un tubo, que va desde la superficie de la solera hasta la chapa de acero del horno.

En la punta del tubo de refractario hay una clapeta hidráulica que al girar permite la caída del acero líquido. Para que esto ocurra, se inclina el horno hacia la cuchara. Al finalizar la colada, se vuelve el horno a la posición original para evitar que caiga escoria en la cuchara.

El horno eléctrico efectúa una serie de movimientos comandados por sistemas mecánicos y electromecánicos. Los principales son:

- a) Basculación de escoriado: el horno se inclina hacia la puerta para lograr la eliminación parcial o total de la escoria.
- b) Basculación de sangrado: el horno se inclina hacia el tap hole para colar el acero líquido hacia la cuchara.
- c) Apertura y cierre de las clapetas: son las que sostienen los electrodos, lo que permite el alargue y cambios de columnas.
- d) Movimientos verticales de los electrodos: permite regular el arco eléctrico entre los electrodos y la chatarra.
- e) Movimientos de bóveda: elevación y rotación del conjunto bóveda – brazos, que permite la carga de la chatarra al horno.

## **CUCHARA/OLLA (LADLE)**

Partes principales de la cuchara:

**1. Refractarios**

Revestimiento interno, están en contacto directo con el acero y la escoria.

**2. Carcasa metálica**

Chapa de acero externa, de 25 a 35 mm.

**3. Cañerías**

Para transporte de argón.

**4. Tapones**

Colocados al fondo para inyección de argón.

**5. Válvula deslizante**

Controla el flujo de acero de la cuchara/olla tundish.

**6. Elementos de apoyo**

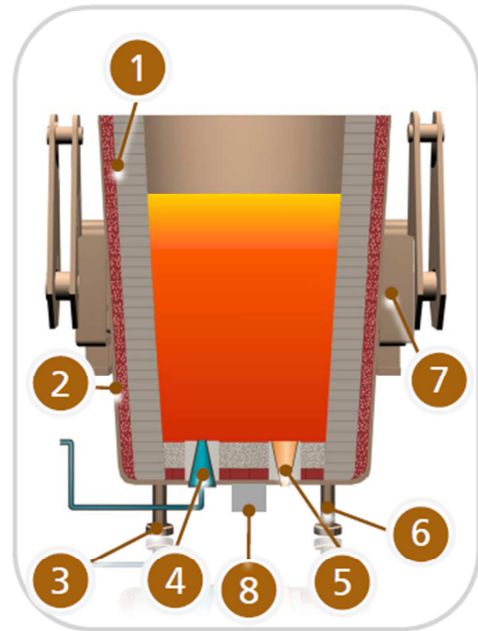
Soportan la cuchara/olla.

**7. Brazos laterales**

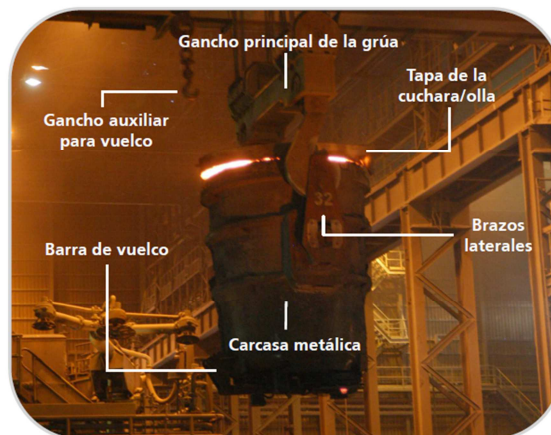
Para la manipulación con las grúas.

**8. Barra de vuelco**

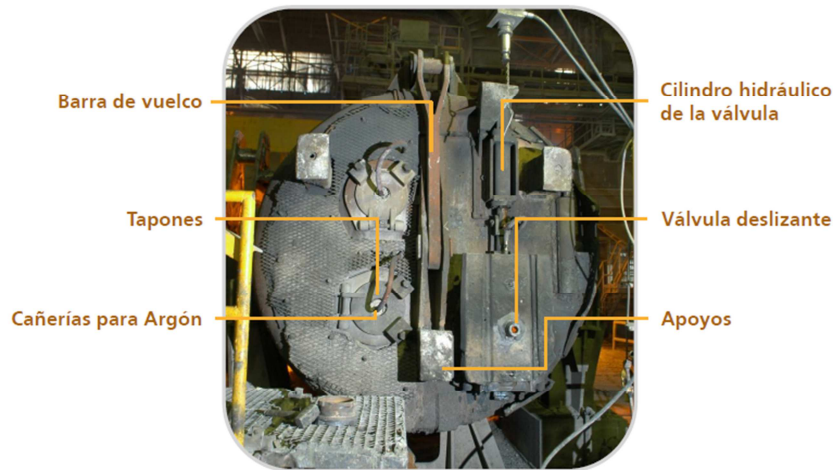
Para volcar la cuchara/olla y sacar acero o escoria utilizando la grúa.



En la siguiente fotografía se muestran algunas de las partes mencionadas y también partes de la grúa que traslada a la cuchara/olla.



La siguiente fotografía muestra el fondo de la cuchara/olla, donde se observan algunos otros componentes de la misma.



Entre las partes más importantes a tener en cuenta, podemos mencionar:

- **TAPONES** para inyección del gas: es la parte más importante ya que de su buen uso y operación depende el éxito del agitado. Pueden ser porosos o canalizados. Los tapones se cambian cada cierta cantidad de coladas o cada cierto tiempo de insuflado de Argón. Los tapones, en su interior, tienen un “testigo” que indica el momento en el que debe realizarse el cambio de tapones.
- **VALVULAS DESLIZANTES:** Este sistema consta de un mecanismo en cuyo interior se alojan dos placas refractarias, una fija y otra móvil. Dicho mecanismo es accionado por un cilindro hidráulico, que permite el control del flujo de acero.
- **REFRACTARIOS:** Existen distintos tipos de refractarios dependiendo de su ubicación y del propósito que tengan.

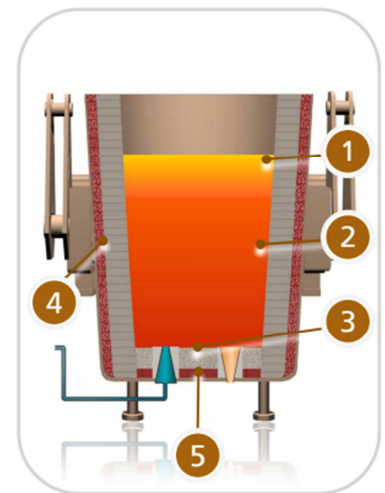
a. Refractarios de trabajo Están en contacto directo con acero o escoria. Deben resistir las condiciones de operación de manera segura y no perjudicar la limpieza del acero:

1. Línea de escoria (generalmente son de MgO-C).
2. Paredes (MgO-C; Dolomita-C o MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C).

3. Piso (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Ubicados entre el refractario de trabajo y la carcasa. No están en contacto con el acero o la escoria. Generalmente son de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y son la última barrera para impedir perforaciones.

b. Refractarios de seguridad y aislación

4. Paredes.
5. Piso.

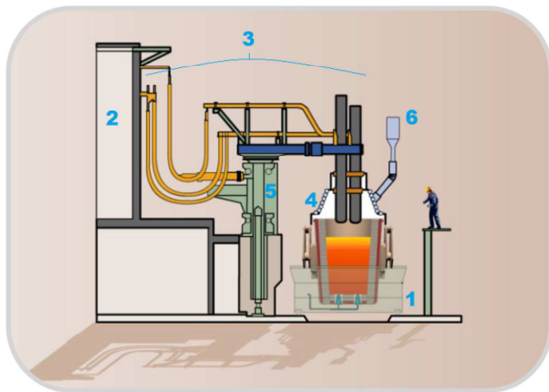


### **HORNO CUCHARA/OLLA (LADLE FURNACE – LF)**

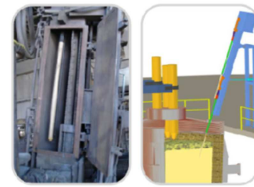
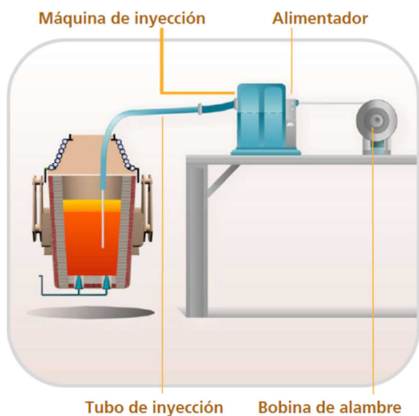
El horno cuchara/olla es similar al horno eléctrico y tiene la función de calentar el acero y la escoria a las temperaturas necesarias para el proceso.

Como la velocidad de calentamiento requerida en el proceso de Aceración Secundaria (aproximadamente 3 a 5°C/min) es menor que la necesaria en el EAF, todo el conjunto del

sistema eléctrico es de menor potencia (trabaja en promedio a 25kA durante 45 min o 1 h). Sin embargo, está compuesto por los mismos elementos primarios que el Horno de Arco Eléctrico.



1. Carro porta-cuchara
2. Transformador
3. Sistema de conducción eléctrica
4. Bóveda refrigerada
5. Sistema de movimiento para electrodos
6. Sistema de carga de materiales
7. Sistema de inyección de alambres
8. Sistema de inyección de gases
9. Equipos para mediciones y muestreos
10. Cabina de control



Las partes principales del LF son:

1. Carro Porta-Cuchara:  
Transporta la cuchara desde la posición de descarga del Horno de Arco Eléctrico hasta el LF. Está formado por una estructura de chapa, cubierta con refractarios, ruedas con desplazamiento sobre rieles, un motor propio y un sistema de pesaje electrónico.
2. Transformador: reduce el voltaje de la línea de alta tensión (entrada a planta) a los valores operativos del horno cuchara/olla.
3. Sistema de Conducción Eléctrica: Está integrado por: Barras conductoras, cables flexibles, Mordazas y Columnas de electrodos.
4. Bóveda refrigerada: La bóveda del horno cuchara/olla dispone de tres orificios para el paso de electrodos y orificios extra para la carga de ferroaleaciones e inyección de alambre. Además, posee una puerta de trabajo con tapa revestida con material refractario para el control visual, agregados manuales, extracción de muestras y control de temperaturas. Hay diversos tipos de bóvedas, algunas, además de los paneles refrigerados, están formadas por material refractario en la zona de los agujeros para los electrodos (denominado "delta").

5. Sistema de Movimiento para electrodos: El control de la posición de los electrodos permite controlar la longitud de arco de acuerdo al tipo y espesor de escoria utilizada. La longitud del arco eléctrico no debe exceder el espesor de la escoria para lograr una buena eficiencia térmica y evitar pérdidas y daños en la bóveda. En general, el sistema de accionamiento es hidráulico, para tener una mayor velocidad de respuesta.
6. Sistema de carga de materiales: El sistema posibilita el pesaje y agregado automático de materiales y ferroaleaciones directamente a la cuchara/olla.
7. Sistema de Inyección de alambres: La mayoría de estos alambres en realidad son tubos rellenos con el material a aportar. El alambre ingresa al acero impulsado por la máquina inyectora a una velocidad determinada. La velocidad de inyección es un parámetro importante a controlar ya que si la inyección es muy lenta, el alambre se funde en la escoria y si es muy rápida puede rebotar en el fondo de la cuchara/olla y dañar el fondo o las paredes. El alambre, una vez inyectado en el acero, se funde y libera el material que contiene.
8. Sistema de Inyección de gases, como Argón y Nitrógeno por medio de electro-válvulas.
9. Equipos para mediciones de temperatura y actividad del oxígeno, y muestreos de acero y escoria.  
Para medir la temperatura y la actividad del Oxígeno se utiliza un equipo compuesto de:
  - Sensores: cartuchos descartables que se acoplan a la lanza de inmersión, la cual se sumerge en el acero líquido. Hay distintos tipos de sensores. Los más usados son:
    - Sensores de temperatura: contienen un termopar (transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce una diferencia de potencial muy pequeña que es producto de la diferencia de temperatura entre uno los extremos de los metales.
    - Sensores de actividad de Oxígeno y temperatura: termopar + celda electroquímica.
  - Lanza de inmersión.
  - Cable de extensión que conecta la lanza con el equipo de medición y registro.
  - Equipo de medición y registro.
  - Semáforo de señalización y señal acústica.

Para la extracción de muestras de acero y escoria también se utiliza un cartucho descartable acoplado a un tubo o lanza. Esta lanza no necesita estar conectada a ningún equipo, ya que sólo se utiliza para sumergir el cartucho en el acero. El cartucho contiene un molde en su interior, que al ser sumergido en el baño, se llena con el acero. El molde tiene forma de paleta del cual se pueden extraer y preparar dos muestras. También contiene un pin para análisis de N<sub>2</sub> y H<sub>2</sub> por el método de combustión "LECO" y un disco que se pule y luego analiza mediante la técnica de espectrometría.

10. Cabina de Control: Desde allí se controlan las operaciones: movimiento de carro, de la bóveda, de los electrodos, del agregado de los materiales, burbujeo, etc. También pueden visualizarse las alarmas, que permiten al operador conocer posibles fallas.

## Conclusiones

Como se pudo ver a lo largo de todo el trabajo, si bien Acería es solo una parte de un gran proceso productivo, es en este proceso en particular en el cual se determinan las características básicas más importantes para el producto final: Su composición y estructura metálica.

Es un proceso muy complejo que debe estar bajo estricto control ya que una pequeña desviación en alguno de los factores (Cantidad de chatarra o hierro esponja usado, cantidades y tipos de aleantes, temperaturas de trabajo, burbujeo, etc.) puede resultar en productos defectuosos, que no solo pueden generar fallas en los procesos productivos de los clientes, sino que también pueden poner en riesgo la seguridad de las personas y del medio ambiente.

## Bibliografía

- Descripción de los Productos de Tenaris - <http://www.tenaris.com/es-ES/Products.aspx>
- Procesos Productivo de la siderúrgica GEORGMARIENHÜTTE - <http://www.gmh.de/uk/home.html>
- Presentación "Procesos Productivos de Tenaris" - <http://slideplayer.es/slide/4306023/>
- Simulación de Horno de Arco Electrico de SteelUniversity - <https://www.steeluniversity.org/play/electric-arc-furnace-simulation/>
- Consulta con referente interno de Tenaris acerca del proceso productivo.