

PRESENTACIÓN DEL USO DE HORNOS ELÉCTRICOS

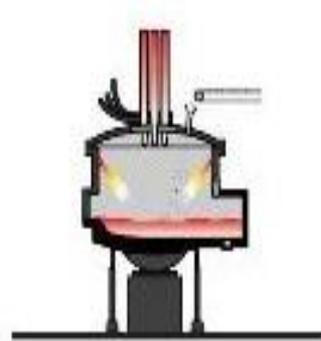
Carga



Fusión



Adiciones



Desescoriado



Colada



El reciclado de chatarra ahorra consumo de materias primas vírgenes y de energía, lo cual, desde luego, es beneficioso tanto desde el punto de vista económico como desde el del medio ambiente.

Utilizando materiales reciclados, la ruta del proceso EAF es adecuada para la producción tanto de aceros de alta como de baja aleación, y por tanto de una amplia gama de productos, desde motores y grandes herramientas hasta cuberterías de acero inoxidable y equipo médico.

La capacidad de producción de un EAF varía en las distintas plantas, dependiendo principalmente del tamaño del lote (normalmente entre 50 y 150 toneladas), y de la potencia eléctrica disponible.

El tiempo entre coladas, es decir, entre una colada y la siguiente, es de entre 45 minutos y 2 horas y, normalmente, se proyecta de manera que coincida con la velocidad de colada de la planta.

Una vez fundida la chatarra y si se dispone de tiempo antes de la colada, se ejecutan diversas operaciones metalúrgicas terminada la fusión: Estas operaciones se llevan a cabo como pretratamiento, antes de las operaciones en la acería secundaria.



ESQUEMA DEL PROCESO CSP DE UNA ACERÍA COMPACTA

ACERÍA ELÉCTRICA



MATERIAS PRIMAS:
Chatarra, prerreducidos (pellets, briquetas), lingote de hierro, arrabio, etc.



HORNO ELÉCTRICO DE FUSIÓN

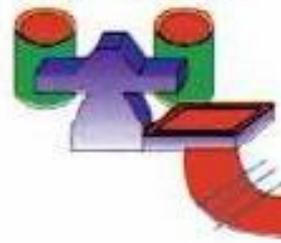


HORNO CUCHARA

1,5 HORAS DE TRANSFORMACIÓN DE CHATARRA A ACERO LÍQUIDO

UNIDAD COMPACTA

ACERO LÍQUIDO

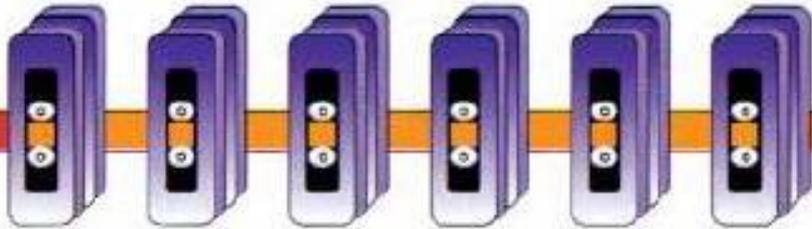


COLADA CONTINUA DE PLANCHÓN DELGADO

HORNO TÚNEL

espesor 53 mm

TREN ACABADOR DE BANDAS



ENFRIAMIENTO CONTROLADO

BOBINADORA

1,5 HORAS DE TRANSFORMACIÓN DE ACERO LÍQUIDO A BOBINA

En el año 1900, la demanda de acero en el mundo alcanzó los 27 millones de toneladas. Una década más tarde se triplicaba la producción de acero y, como consecuencia, la irrupción de la chatarra en el mercado de materias primas siderúrgicas fue un hecho inevitable.

Las alternativas que se propusieron para APROVECHAR LAS CHATARRAS fueron dos:

- Acería Martin-Siemens
- Acería eléctrica.

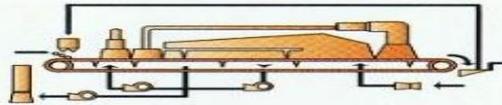
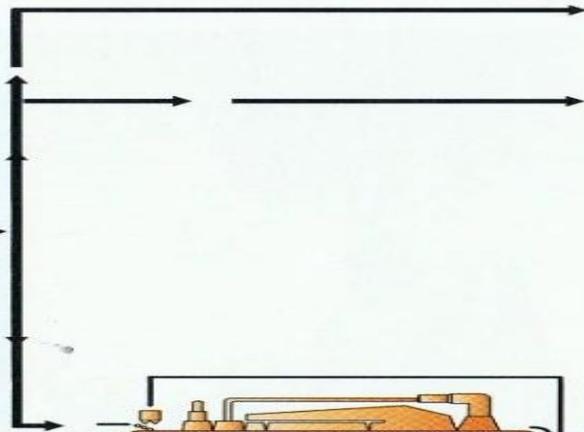
A partir del año 1914, se fue imponiendo, dentro de la industria siderúrgica, el horno eléctrico como una de las alternativas más eficientes para la producción de acero.

Así como en la acería BOF la temperatura del metal fundido se mantiene por la oxidación de los elementos disueltos en el arrabio, en el horno eléctrico se utiliza la energía eléctrica como instrumento de control térmico del proceso.





MINERAL DE HIERRO



PELLETIZACIÓN



FUNDENTES



GASÓN
GAS I



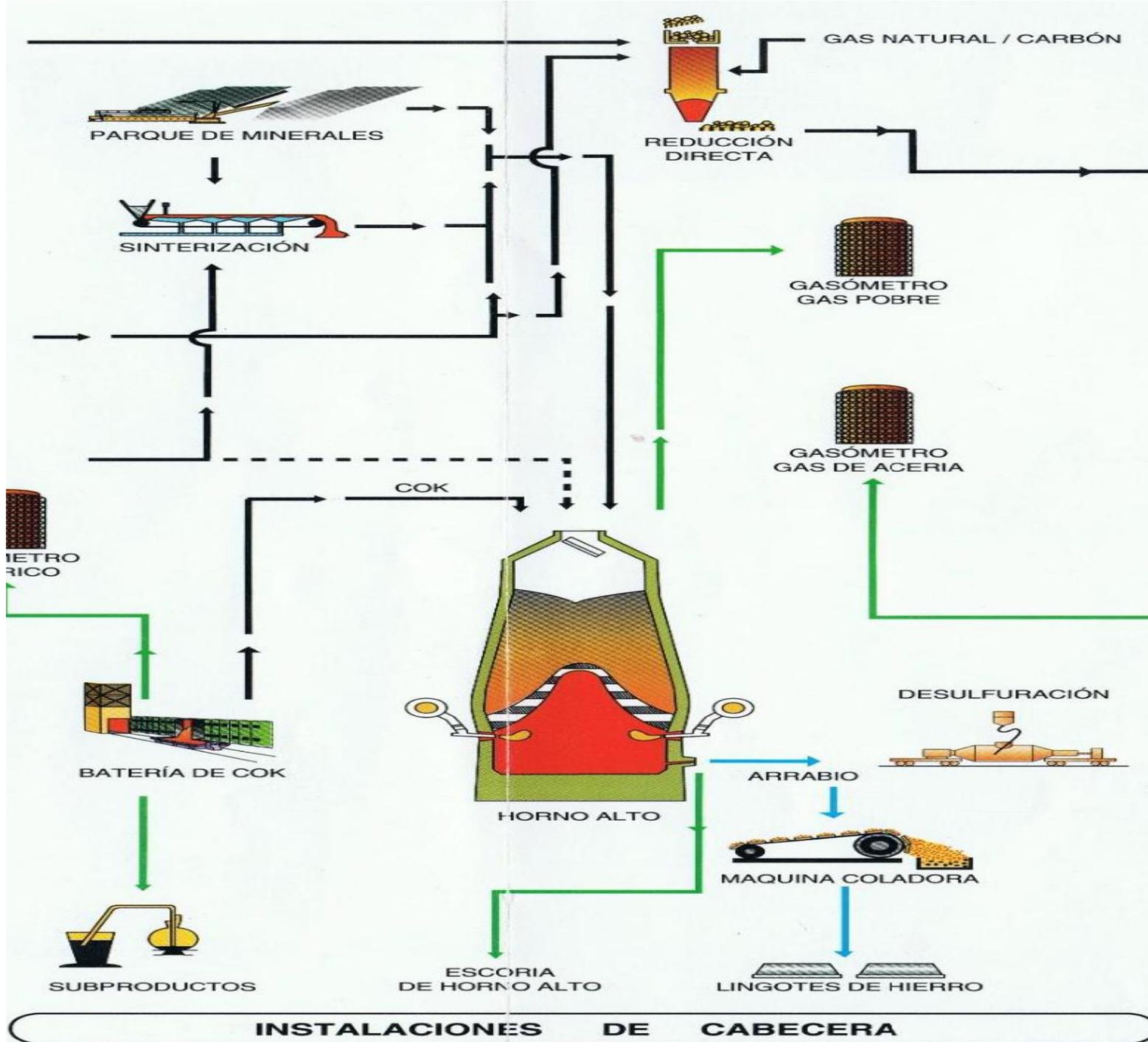
CARBÓN

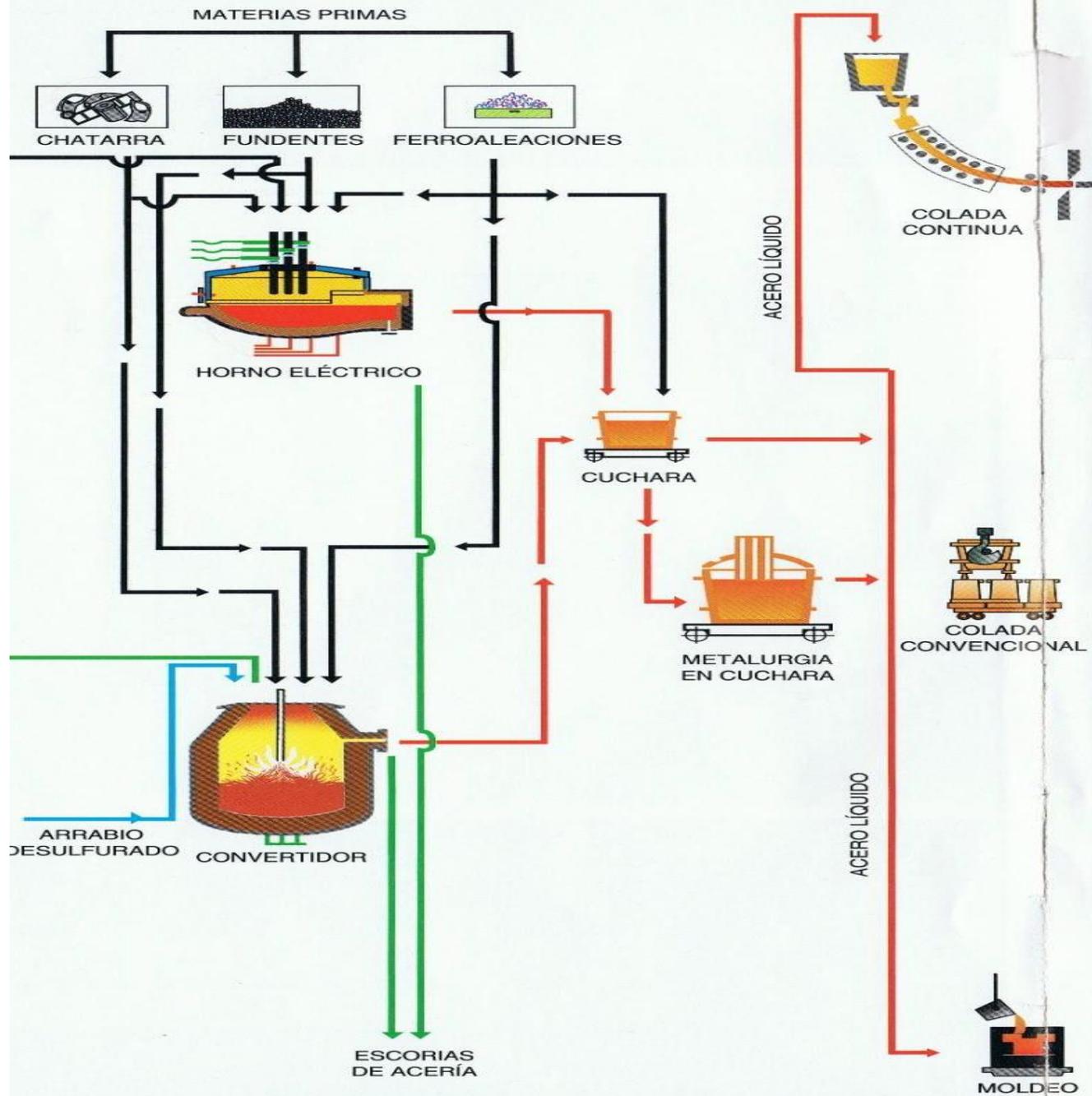


PARQUE DE CARBONES



MATERIAS PRIMAS





INSTALACIONES DE ACERÍAS

La fabricación de acero mediante el **HORNO ELÉCTRICO DE ARCO (HEA)** se basa en la fusión de chatarras. Además de chatarra se emplean pre-reducidos y, en ocasiones, algo de arrabio.

Aunque no es lo habitual, en algunas acerías el porcentaje de arrabio puede llegar a alcanzar el 50 % de la carga.

La acería eléctrica no precisa de las instalaciones pertenecientes al proceso siderúrgico integral que se han descrito hasta ahora (baterías de cok, planta de sinterización y horno alto).

Cuando se llevan a cabo en la propia acería procesos de transformación se denomina mini-acería, y si además posee la tecnología CSP (Continuous thin Slab casting Process) o similar, que permite laminar el planchón según sale de la colada continua, se habla de acería compacta.

Procesos similares al CSP son los denominados ISP, FTSR y el DSC (Direc Strip Casting), del que se obtiene una banda-bobina de acero por colada y solidificación directa, en continuo, del acero líquido.

La energía empleada para la fusión no es de origen químico sino que proviene de un arco eléctrico que se hace saltar entre unos electrodos, que se introducen por la parte superior del horno, y la chatarra cargada, en el caso de un horno de corriente alterna, y entre el electrodo superior, la chatarra y los electrodos inferiores en el caso de un horno de corriente continua.

El calor generado por el arco eléctrico (directo o indirecto), conforme el progreso tecnológico fue incorporándose al sector siderúrgico, se ha controlado de manera mucho más eficaz superando incluso al que se pudiera obtener por la oxidación del fuel o de los metales activos aleados con el hierro.

El calentamiento del metal tiene lugar preferentemente en la parte superior del baño pudiendo alcanzarse localmente temperaturas muy elevadas. Se necesita, por lo tanto, un estricto control del proceso al objeto de evitar un excesivo calentamiento del revestimiento del horno.

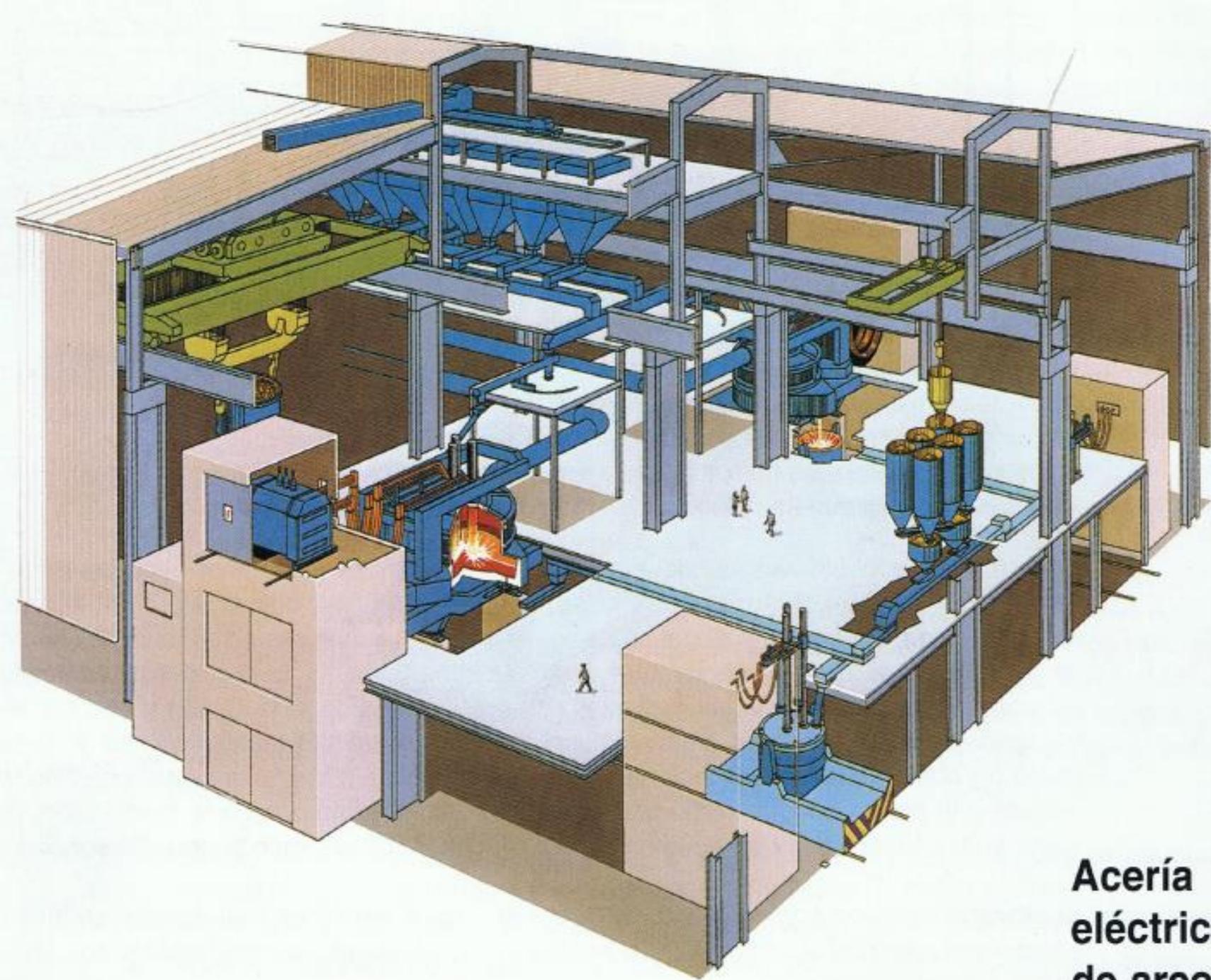
Recientemente, desde el año 1970, se contempla un paulatino aumento de la potencia y capacidad de producción de los hornos eléctricos de arco directo trifásicos alcanzando consumos específicos de 550 kWh/tn. de hierro líquido (utilizando exclusivamente, como carga férrica, la chatarra).

Aunque en sus orígenes la producción de acero en el **HORNO ELÉCTRICO DE ARCO (HEA)** se aplicaba principalmente a la fabricación de aceros especiales, la situación ha cambiado con el aumento del tamaño de las coladas y las altas cotas de productividad horaria que se han alcanzado con el empleo de enormes capacidades de energía eléctrica para el proceso de fusión (productividades más altas y menores consumos energéticos).

Esta situación ha permitido decisivas reducciones en el costo, al disminuir el consumo específico de energía, electrodos y refractarios. En la actualidad el horno eléctrico, combinado con la metalurgia secundaria, permite fabricar una parte muy importante de la producción mundial de acero sobre la base del reciclaje masivo de la chatarra.

La capacidad de producción de un HEA es distinta en cada planta según la capacidad de carga y la energía empleada. Varía por lo general entre las 50 y las 150 tn., y el tiempo entre colada y colada puede ir desde los 45 minutos hasta las 2 horas.

A pesar de que en los EE.UU. se produce hoy en día más acero a partir de chatarra reciclada que a partir de mineral de hierro, en 2005 la producción mundial anual mediante el HEA se situó en el 33.1 %.



**Acería
eléctrica
de arco**

LA ACERÍA ELÉCTRICA EVOLUCIONA HACIA EL USO DE TECNOLOGÍAS DESTINADAS A LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA TALES COMO:

- Precalentamiento de la chatarra.
- Utilización de quemadores auxiliares en los hornos.
- Utilización del carbón pulverizado como combustible.
- Sustitución de la corriente alterna por la continua. El número de electrodos de grafito del horno ya no serán habitualmente tres sino uno.
- Cargas formadas por arrabio (30 %), chatarra (40 %) y pre-reducido (30 %) o bien por carburo de hierro, chatarra y pre-reducido.

Todo hace pensar que el horno eléctrico del futuro no será un mero instrumento de fusión de chatarra y se parecerá más a un reactor químico de mezcla completa.

Incorporará sistemas para el control del afino y la colada.

La agitación del metal se realizará por medio de la inyección de gas por lanza o bien con tapones porosos (toberas) situados en la solera del horno.

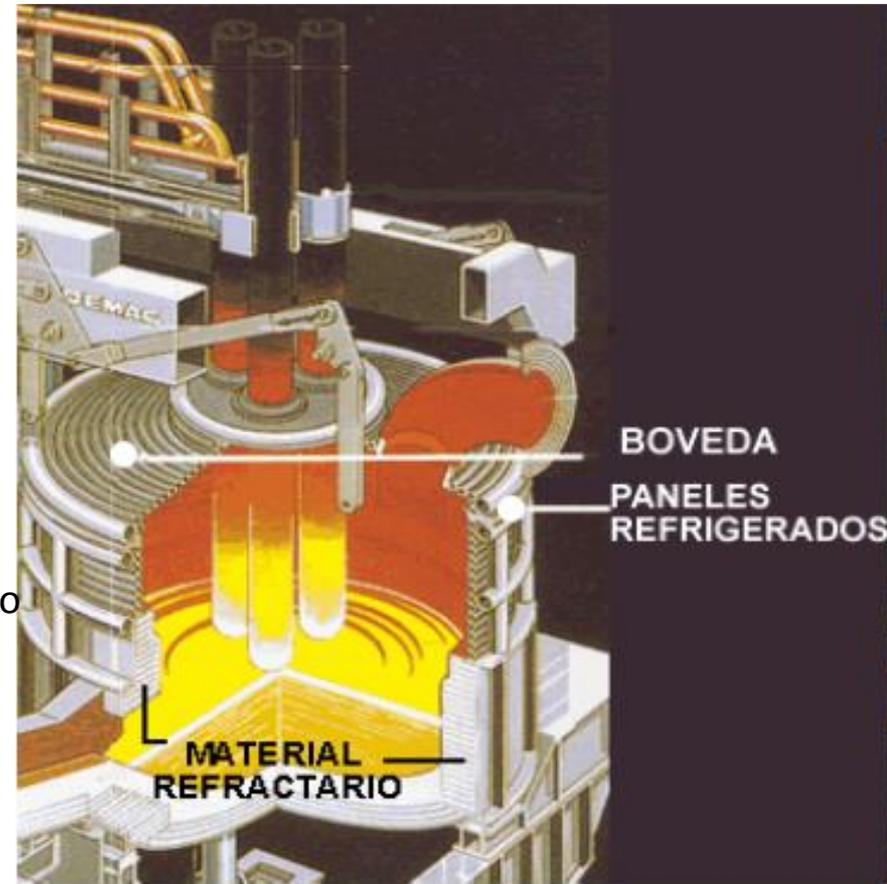
VENTAJAS

Las razones que explican la rápida expansión de este método en los últimos años son varias, entre las que destacan:

- **FLEXIBILIDAD:** Fabricación de cualquier tipo de acero, con los únicos límites de la calidad de la materia prima.
- Posibilidad de emplear todo tipo de cargas: chatarra, pre-reducidos, arrabio, lingote de hierro, etc.
- Alta productividad: con sólo un horno es posible mantener una máquina de colada continua produciendo de forma ininterrumpida.
- Baja inversión inicial respecto a la ruta del horno alto. Tamaño pequeño relativo
- Los hornos eléctricos permiten una sencilla extracción de la escoria, ya sean basculantes (horno clásico antiguo) o posean el sistema EBT (en el que la piquera esta situada en el fondo del horno, excéntrica).
- Es posible programar y automatizar el proceso de fusión.
- Se pueden sincronizar varias hornadas diferentes para hacer grandes lingotes destinados a forjas especiales, de capacidad mayor que el acero que puede producir un horno en una sola colada
- El proceso es de alta eficiencia.

DESVENTAJAS

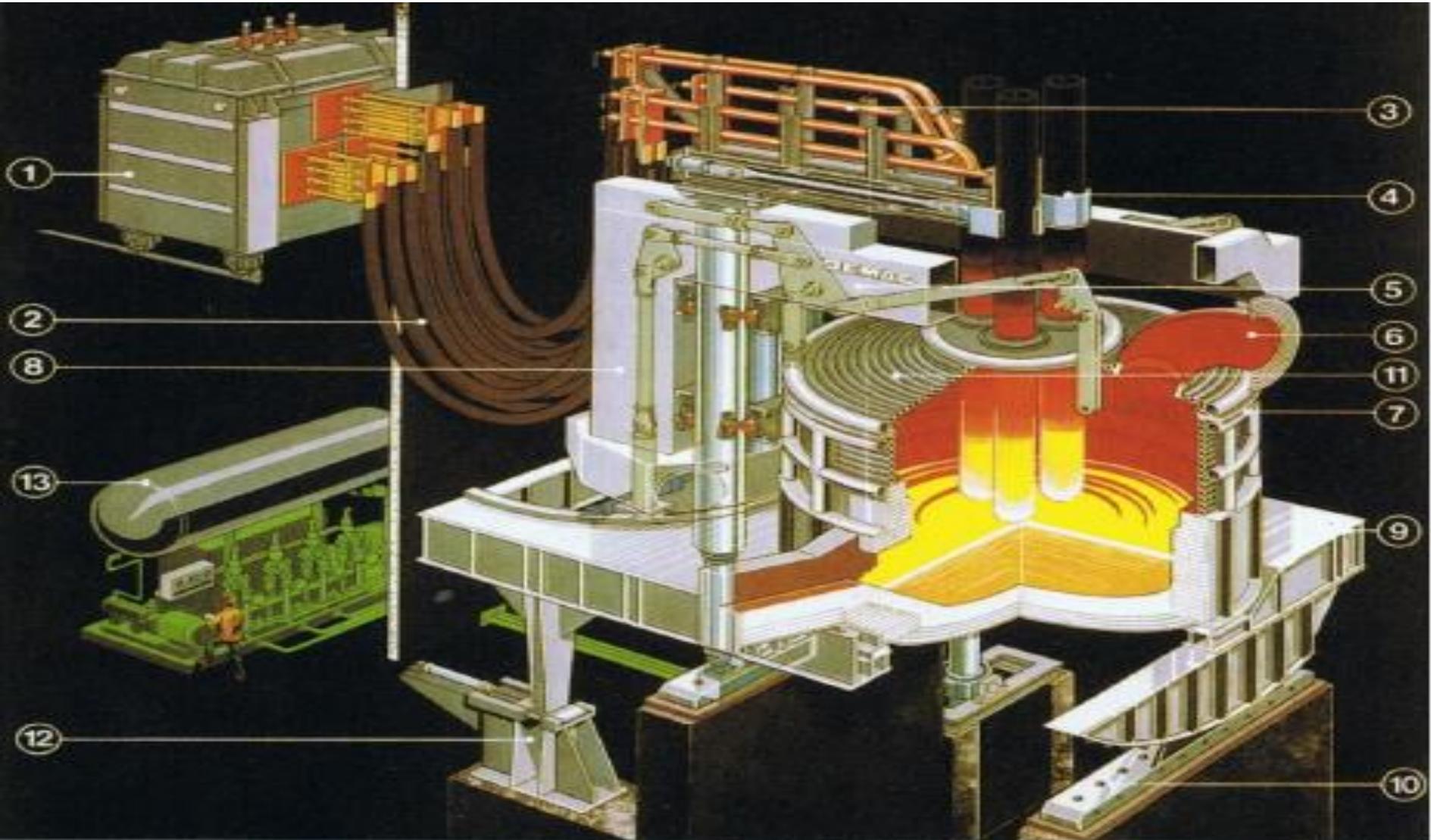
- Fuerte dependencia del mercado de la chatarra.
- Posibilidad de contaminar el acero con elementos residuales atrapados en la chatarra.
- Altos contenidos finales en nitrógeno.
- Se requiere inversión para paliar el alto nivel de ruido en este tipo de instalaciones



COMPONENTES DE UN HORNO ELÉCTRICO

Los componentes más importantes de un horno eléctrico son:

1. La cuba del horno, con el dispositivo de colada y el sistema de cierre.
2. El sistema de vuelco que permite la salida del caldo a la cuchara.
3. Las paredes, en las que actualmente casi todos los HEA tienen paneles refrigerados por agua, fabricados de chapa o tubulares de acero y en la línea de escoria de cobre.
4. La bóveda, refrigerada por agua y dotada de un sistema giratorio que permite la apertura total de la parte superior del horno.
5. Los electrodos de grafito, con tubería para enfriamiento con agua, que atraviesan la bóveda y establecen el arco eléctrico, a partir del paso de la corriente eléctrica.
6. Los brazos portaelectrodos.
7. El sistema de regulación electrónica y el de accionamiento hidráulico que mueve los electrodos a gran velocidad para regular el arco eléctrico, manteniendo constante la corriente en el arco.
8. El sistema de cables flexibles que llevan la corriente a los brazos y que están refrigerados por agua.
9. El embarrado de cobre que conecta los cables flexibles al transformador.
10. El transformador eléctrico que transforma la corriente eléctrica de alta tensión, 25000-50000 V, a los voltajes que se necesitan en el arco eléctrico, que están entre 400 y 1000 V.
11. Además hay que añadir un conjunto de sistemas de aparejos y control eléctrico: interruptor, transformadores de medida, etc.



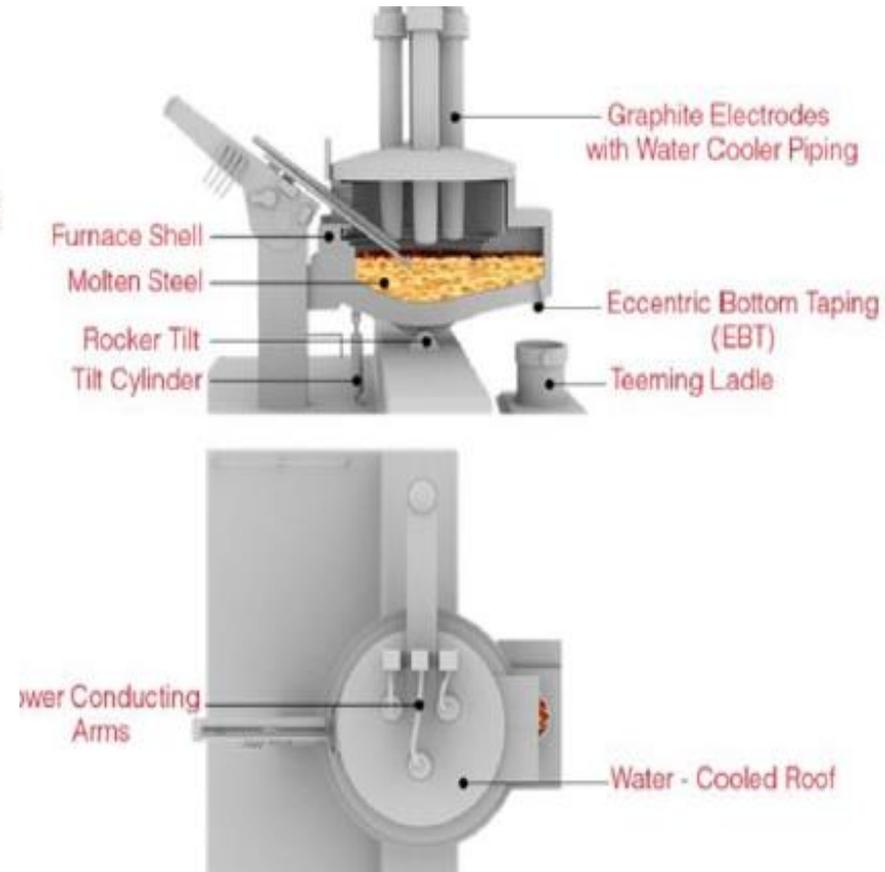
- 1. TRANSFORMADOR
- 2. CONEXIÓN DE CABLE FLEXIBLE
- 3. BRAZOS DE LOS ELECTRODOS
- 4. SUJECCIÓN DE LOS ELECTRODOS
- 5. PÓRTICO CON BRAZOS
- 6. SALIDA DE HUMOS REFRIGERADA
- 7. PANELES REFRIGERADOS

- 8. ESTRUCTURA
- 9. ESTRUCTURA OSCILANTE
- 10. CREMALLERA
- 11. BÓVEDA REFRIGERADA
- 12. DISPOSITIVO DE VOLTEO
- 13. GRUPO HIDRÁULICO

La instalación se completa con una captación de humos a través de un agujero practicado en la bóveda; los humos se conducen a la instalación de depuración con lo que se evita contaminar la atmósfera tanto del interior de la acería como del exterior. En algunos casos dicha captación se ve complementada con una campana superior que aumenta el grado de captación de humos, particularmente durante las operaciones de carga de chatarra del horno y vuelco del acero a la cuchara.

Los componentes principales del EAF son:

- Electrodo de grafito con tubería para enfriamiento con agua
- Colada excéntrica por el fondo (EBT)
- Cuchara de colada
- Techo enfriado por agua
- Cuba del horno
- Acero fundido
- Cuba basculante
- Actuador hidráulico de volcado de la cuba
- Embarrado para conducción de energía eléctrica



ELECTRODOS: Los electrodos, elementos característicos del horno eléctrico por ser los que hacen saltar el arco, están fabricados de grafito de alta pureza (carbono prácticamente puro). Se emplea grafito porque soporta altas temperaturas y es buen conductor eléctrico. Los electrodos tienen un papel muy importante, ya que transportan la energía eléctrica dentro del horno. Entran en éste por un orificio de gran diámetro, hecho de refractario, que recibe el nombre de bovedilla, delta o corazón de bóveda. Cuando se encuentran cerca de la chatarra se genera un arco y se forma un circuito eléctrico. El arco proporciona la energía térmica necesaria para fundir la chatarra. Existen habitualmente unos brazos portaelectrodos, que los soportan. Para su accionamiento se tiene un sistema de regulación electrónica y de accionamiento hidráulico, que mueve los electrodos a gran velocidad para regular el arco eléctrico, manteniendo constante la corriente o la impedancia, que es lo habitual en los de alterna.

El consumo de los electrodos se mide en kilogramos de grafito por tonelada de carga fundida, y es menor si se emplea el método metalúrgico de escoria simple (en torno a 1-2 kg de grafito/t de carga fundida).

Los hornos de corriente alterna cuentan con tres electrodos, mientras que en los que utilizan corriente rectificada suele haber un electrodo o, en algunos casos, dos.

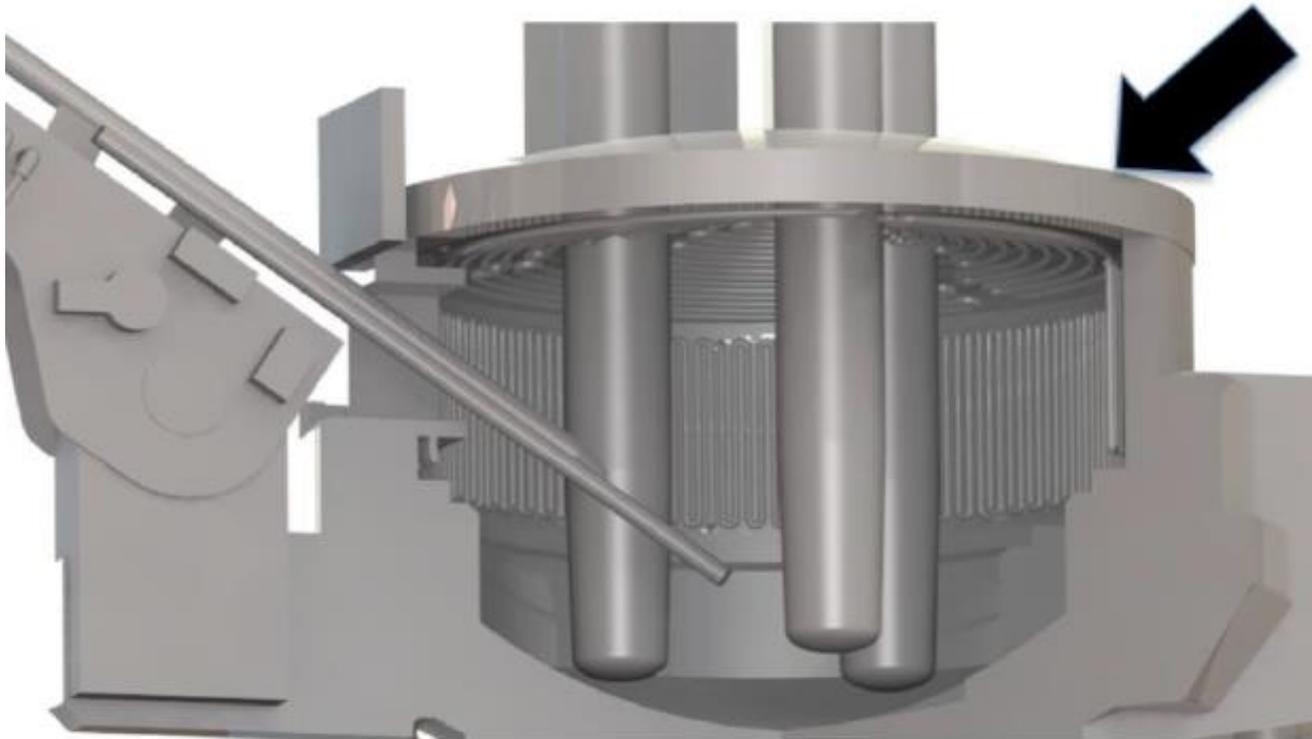
Los tamaños habituales oscilan entre los 600 y los 800 mm de diámetro (según la energía del arco) y 1.5 y 3 m de longitud. Según se van quemando se va añadiendo longitud adicional, colocando un nuevo electrodo en el extremo de la cabeza remanente, para lo que se interrumpe brevemente la corriente. Esta operación se llama “niplar”.



CUBA DEL HORNO

Generalmente es cilíndrica y recubierta de refractario. Su diámetro determina el peso de la colada, que puede oscilar entre las 50 y las 150 t.

La puerta del horno, para permitir operar durante el proceso de fusión y también des-escoriar, está colocada en el lado correspondiente a la planchada de operación del horno (frente a la zona de colada). Contrariamente la zona de colada del horno está colocada enfrente de la puerta. La colada del horno se puede efectuar mediante el vuelco, con un sistema de piquera o más modernamente mediante un agujero colocado en la parte inferior excéntrica en una nariz del horno. Esta última práctica muy extendida se denomina EBT. La escoria sale por una puerta situada en el lado contrario a la piquera



REFRACTARIOS : El revestimiento de material refractario, para proteger la chapa o los paneles tubulares que constituyen la coraza del horno, presenta el problema de su irregularidad en el desgaste: las paredes laterales aguantan alrededor de 1.000 coladas, mientras que las bóvedas sólo alrededor de 400.

Esto es así porque el desgaste de la bóveda no sólo se debe a la radiación del arco, sino también a la erosión del polvo arrastrado hacia el sistema de escape y a las tensiones causadas por el enfriamiento repentino al desplazar la bóveda para la carga y calentamiento rápido posterior en la siguiente colada.

Los crisoles, que sirven para varios miles de hornadas, se construyen de ladrillos básicos impregnados con alquitrán, con una capa de magnesia apisonada.

Para las paredes se pueden usar ladrillos de magnesia o de cromo-magnesia.

También se admiten los de alto contenido en alúmina o bien carbón ligado con magnesia, con un 20-30 % de alquitranes o resinas. Los refractarios de las bóvedas son de alúmina de alta pureza.

La coraza de las paredes se hace de chapa de acero, si bien por debajo de la línea de escorias se emplea cobre, por su mayor conductividad.

Se ha generalizado la práctica de cubrir las paredes con paneles tubulares de agua, como refrigerante. Éstos se enclavan en el refractario, especialmente detrás de los puntos calientes.

Este sistema ha probado ser bueno si se usa agua “blanda”, desmineralizada, a fin de prevenir depósitos internos en las tuberías.

También la bóveda se refrigera por paneles tubulares de agua.



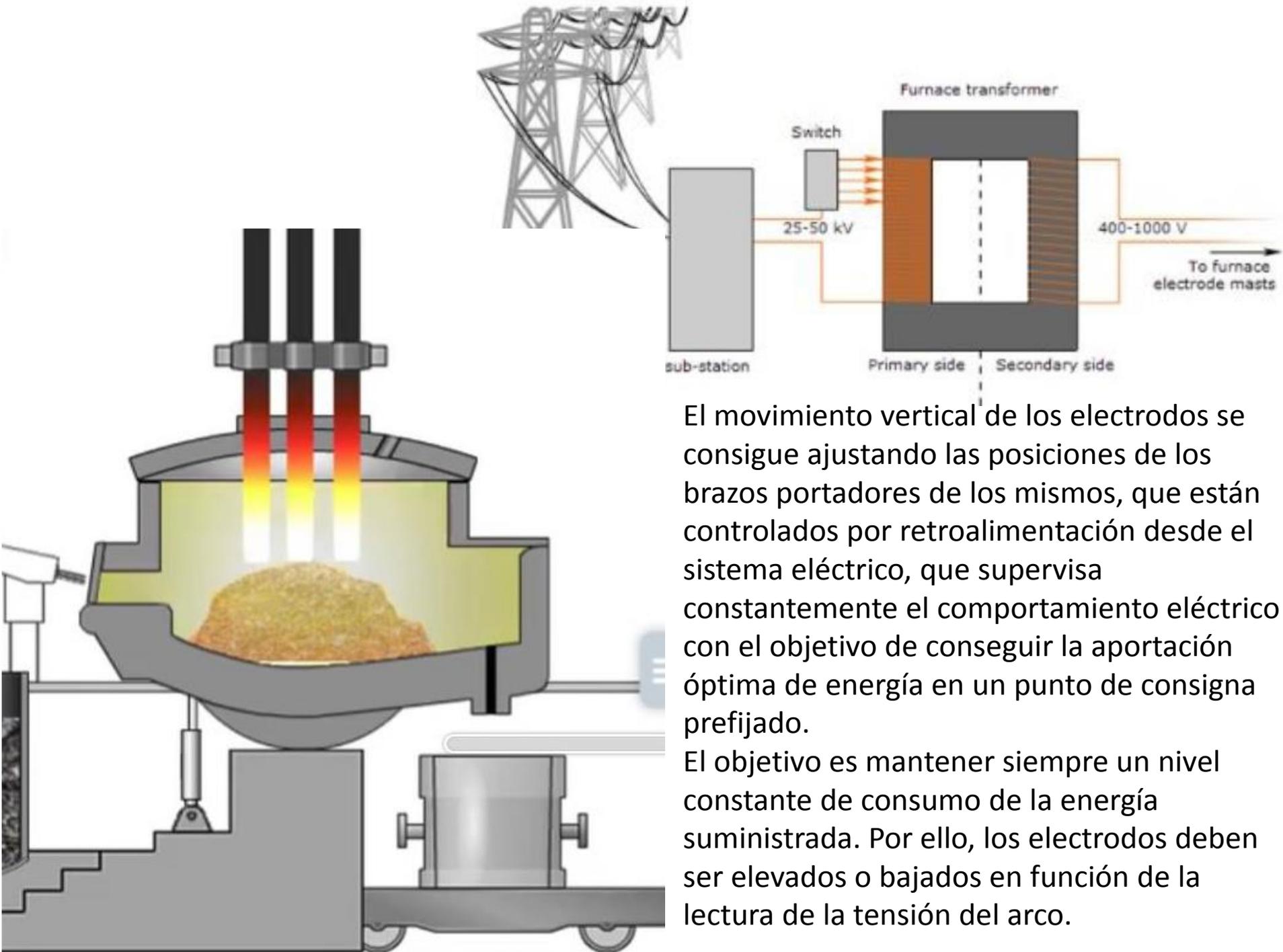
EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO :

El primer elemento del equipamiento eléctrico es una subestación transformadora, situada a la entrada del horno, que toma la corriente eléctrica de líneas de muy alta tensión (132-220 kV) y la baja hasta 25-50 kV, que es el voltaje del primario del transformador del horno. En el transformador del horno este voltaje es reducido hasta valores de entre 400 y 1000 voltios, que es la tensión del secundario, y la que llega a los electrodos.

Para hacer saltar el arco se puede emplear corriente alterna o corriente continua. En el caso de corriente continua se requiere un único electrodo superior, mientras que con corriente alterna se utilizan tres fases y se necesitan tres electrodos, conectando así cada fase a uno de los tres electrodos de grafito.

En los hornos de corriente alterna se utiliza el factor de potencia ($\cos \varphi$) para medir la eficiencia. El factor de potencia de la instalación es la relación entre potencia activa y potencia aparente (suma de la activa y de la reactiva). Interesa que sea lo mas próxima a 1, y se asume como valor bueno a partir de 0.72.

Se debe señalar que el consumo de energía eléctrica también tiene que ver con posibles inyecciones de oxígeno que se hagan en el horno, llegando algunos hornos eléctricos a unos niveles de consumo de este elemento comparables a los del convertidor LD a cambio lógicamente de un consumo de potencia mucho menor que en los hornos eléctricos sin inyección de oxígeno.



El movimiento vertical de los electrodos se consigue ajustando las posiciones de los brazos portadores de los mismos, que están controlados por retroalimentación desde el sistema eléctrico, que supervisa constantemente el comportamiento eléctrico con el objetivo de conseguir la aportación óptima de energía en un punto de consigna prefijado.

El objetivo es mantener siempre un nivel constante de consumo de la energía suministrada. Por ello, los electrodos deben ser elevados o bajados en función de la lectura de la tensión del arco.

La operación de un **HORNO ELÉCTRICO DE ARCO** requiere una cuidadosa supervisión de los parámetros eléctricos del horno en todo momento.

Ajustando la configuración de la toma de energía, es decir, las combinaciones predefinidas de tensión/corriente, las características eléctricas pueden ser alteradas para adecuarlas a las condiciones de funcionamiento en cada momento.

Existe un tope máximo de corriente admitida para los electrodos, lo que en la práctica significa que el parámetro principal de regulación al cambiar la configuración de la toma de energía es la tensión en el secundario. La tensión en el secundario es directamente proporcional a la longitud del arco en el interior del horno.

EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO DE CORRIENTE CONTINUA

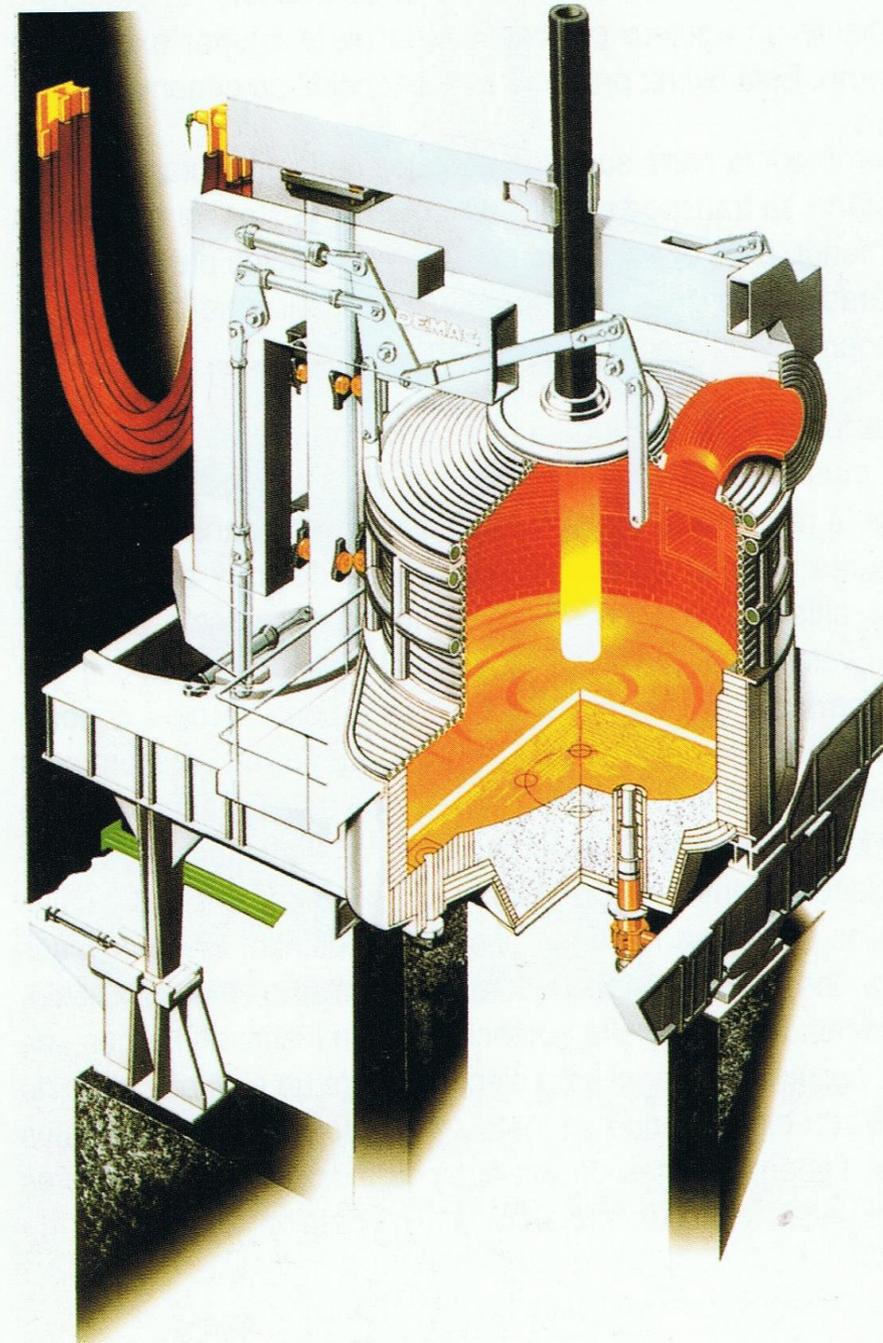
Los hornos que utilizan corriente continua, además de las instalaciones ya comentadas, disponen también de rectificadores para transformar la corriente alterna (que es la de la red) en continua.

El número de rectificadores necesarios depende del número de electrodos de fondo que existan (si hay 3 electrodos, 3 rectificadores; si hay 4, 4, etc.).

Ajustando las combinaciones predeterminadas de voltaje y corriente se pueden alterar las características eléctricas a fin de ajustarse a las actuales condiciones de operación.

Por otra parte, los electrodos tienen un tope sobre la máxima corriente permitida que hace que, en la práctica, el parámetro regulador en el control de potencia sea el voltaje secundario, puesto que es directamente proporcional a la longitud del arco dentro del horno.

Esquema de horno eléctrico de corriente continua



MATERIAS PRIMAS

SELECCIÓN Y MANEJO DE LA CHATARRA

Existe una amplia gama de chatarras que se pueden emplear en el HEA. La chatarra ha de ser especial y cuidadosamente clasificada. Esta necesidad se acentúa en los hornos de arco que fabrican aceros aleados. Lo habitual es tener muchos depósitos de chatarra separados, para lograr la utilización máxima de elementos no oxidables (cobre, níquel, estaño, molibdeno y, parcialmente, cromo). Cuando sea posible se utilizará la opción de menor coste (normalmente chatarra pesada), siempre que la composición química se mantenga dentro de los requerimientos.

El modo en que se haga la carga de la chatarra en las cestas afecta profundamente a la eficiencia del horno y a la vida de los electrodos. La chatarra no aleada ha de separarse en ligera y pesada. Por lo general se cargará en el fondo chatarra “esponjosa” liviana (virutas, etc.) para que amortigüe la caída de la chatarra cargada en el centro de la cesta.

El control de calidad de la chatarra que se carga ha de ser estricto. Algunos parámetros a controlar son: densidad mínima, tiempo máximo de duración de la hornada y peso requerido. Hoy en día el control por ordenador está muy extendido.



MATERIAS PRIMAS

EMPLEO DE PRE-REDUCIDOS

En muchos hornos eléctricos, y cada vez en mayor proporción, se emplean como materia prima los pre-reducidos o esponja de hierro, también llamados “hierro de reducción directa” (HRD). Se trata de una fuente de hierro de composición relativamente uniforme y prácticamente libre de elementos residuales.

De cara a su empleo en el horno de arco eléctrico, los pre-reducidos tienen las siguientes características:

- Forma pequeña y uniforme (pellets o briquetas), lo que los hace adecuados para la carga continua mediante algún alimentador mecánico.
 - Contienen aproximadamente un 2 % de carbono, que actúa como fuente de energía adicional.
- El empleo de pre-reducidos se utiliza cada vez más para diluir contaminantes presentes en la chatarra. El porcentaje adecuado en la carga está entre un 30 % y un 70 %.

EMPLEO DE ARRABIO LÍQUIDO

Como es claro, el uso de fundición en la carga del horno eléctrico reduce el consumo de energía. Se puede emplear hasta un 40 % de arrabio líquido de contenido bajo en silicio, a costa de una alta erosión del refractario, causada por la prolongada inyección de oxígeno para “quitar” el carbono de la masa metálica.

Se llega a un proceso casi mixto entre el de horno eléctrico de arco “puro” y el de convertidor LD.

No obstante, no es conveniente que la proporción de arrabio supere un 30 % o 40 % del total de la carga, porque el soplado prolongado de oxígeno afecta fuertemente a los refractarios y, además, la cantidad de escoria generada es tanta que requiere de hasta dos o tres eliminaciones de escoria. Esto aumenta el tiempo del proceso de forma a veces prohibitiva.

La chatarra de acero se divide en dos tipos principales:

- Chatarra de proceso
- Chatarra comercial

Una chatarra de alta calidad esta bien definida:

- ✓ Tiene un bajo nivel de impurezas
- ✓ Su tamaño ha sido controlado y/o modificado por medios mecánicos.

Este tipo de chatarra es la mas cara, y se utiliza únicamente en las últimas etapas del proceso de fabricación del acero, por ejemplo en las operaciones en cuchara.

CHATARRA DE PROCESO

Se origina en los diversos procesos dentro de la acería y representa la fracción del material producido que no forma parte del producto final comercializado. En la mayoría de las operaciones, un pequeño porcentaje del acero tratado se pierde como chatarra interna del proceso por motivos de márgenes de seguridad. eliminación de elementos de baja calidad, manipulación errónea, etc. La cantidad de chatarra interna varia con el tipo y el número de etapas de proceso en la acería antes de enviar el material al cliente y se refleja en el rendimiento metálico total de la acería.

CHATARRA COMERCIAL

La fabricación de aceros en horno eléctrico necesita grandes cantidades de chatarra, doméstica e importada. La chatarra se clasifica primordialmente según varias propiedades:

- Composición química del acero. por ejemplo de baja aleación e inoxidable;
- Niveles de impurezas. por ejemplo S, P y Cu;
- Forma y tamaño;
- Homogeneidad, es decir, los niveles de variación dentro de la especificación dada.



ADICIONES

Los elementos de aleación se añaden en el horno o durante la colada por varias razones:

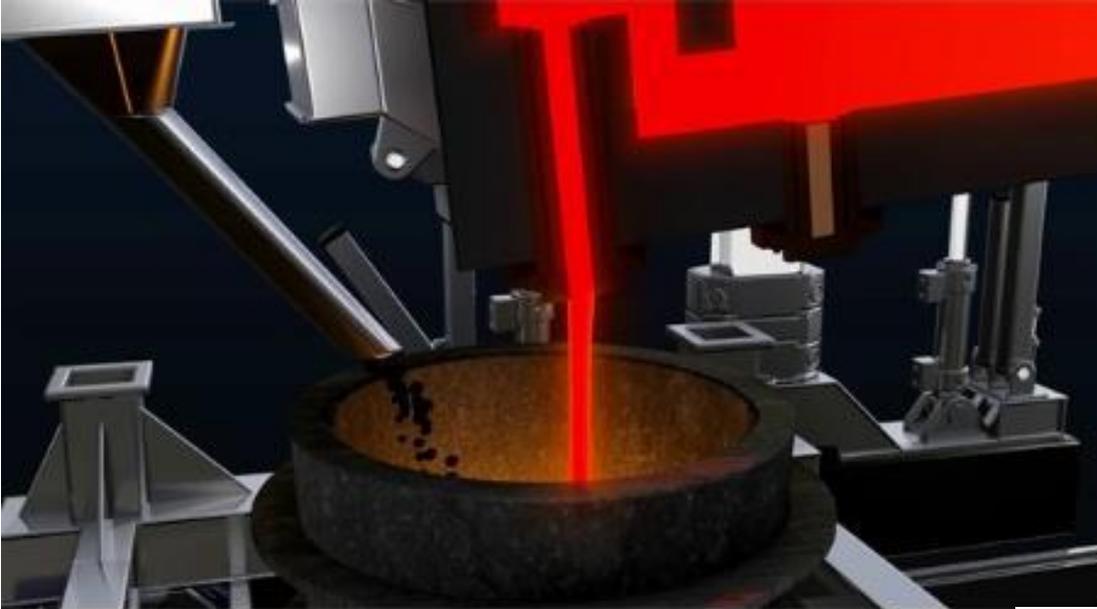
- Para ajustar la composición final del acero
- Para desoxidar el acero mediante su reacción con oxígeno y formando óxidos que serán absorbidos por la escoria.
- Para ajustar la composición de la escoria obteniendo una escoria más efectiva en la desulfuración o la defosforación.

En condiciones oxidantes algunos de los elementos de aleación se oxidan y son transferidos a la escoria. Dichos elementos deben ser reincorporados al acero, ya que representan un alto valor y además, en ciertos casos, son nocivos para el medio ambiente si acaban en la escoria de desecho. La mayor parte de la oxidación de elementos de aleación tiene lugar durante la etapa de fusión, en la que se encuentran altas concentraciones localizadas de los mismos en la carga.

El oxígeno se introduce en el horno partiendo de dos fuentes principales:

- Aire aspirado a través del horno por el sistema de evacuación de gases
- Materias primas en forma de óxidos, por ejemplo óxido de molibdeno, polvo de EAF reciclado, etc.

La forma más simple de evitar una succión excesiva de aire es hacer funcionar el horno bajo una ligera sobrepresión. En la práctica esto es difícil de conseguir debido a las grandes fluctuaciones de presión en el horno, los grandes volúmenes de gases evacuados y la necesidad de mantener un entorno de trabajo aceptable para los trabajadores de la acería.



Se aconseja

- ✓ Compensar la carga de oxígeno con agentes reductores, por ejemplo ferrosilicio y C
- ✓ Cargar las materias primas en las canastas de chatarra según un orden estratégico
- ✓ Limitar la carga de materiales en forma de óxidos

Adiciones en el horno eléctrico de arco Cortesía de Siemens

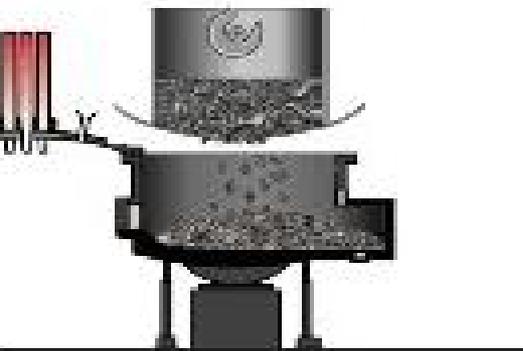
No aconsejado

- ✓ Evitar la carga de materiales en forma de óxido
- ✓ Reducir la potencia del horno mientras se funden los materiales en forma de óxidos.

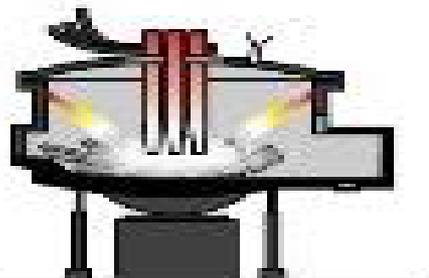


Proceso de adiciones en el horno eléctrico de arco

Carga



Fusión



Los electrodos son movidos hacia abajo según la chatarra se va desmoronando al fundirse

A medida que se va fundiendo la chatarra, se va formando un "charco" de acero líquido en el fondo del horno

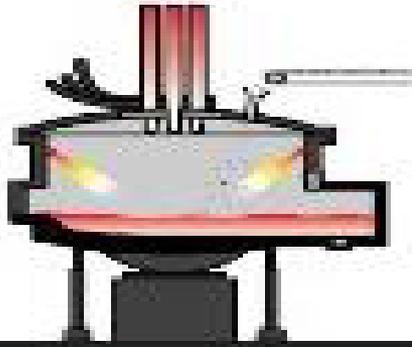
Cuando todas las canastas de chatarra (usualmente 2 o 3) han sido fundidas, se continúa calentando cierto tiempo, para sobrecalentar

Antes de iniciar las operaciones de calentamiento y de fusión, el horno se carga con chatarra de acero reciclada, utilizando una canasta de chatarra que ha sido llenada cuidadosamente en el patio de chatarra.

Después de la carga se cierra el techo y los tres electrodos de grafito bajan hacia la chatarra. Al conectar el suministro de energía eléctrica se establece un arco eléctrico entre los tres electrodos y la carga sólida.

A medida que se va fundiendo la chatarra se dispone de mayor volumen dentro del horno y, en determinado momento, se corta el suministro de energía, se abre el techo y se carga otra canasta de chatarra. Se restablece el suministro de energía y se inicia la fusión de la segunda canasta.

Adiciones



Desescoriado



Colada



tiempo, para sobrecalentar el acero hasta la temperatura necesaria para la colada. Durante este período -usualmente denominado período de afinación- se pueden ejecutar ciertas operaciones metalúrgicas, como desulfuración, defosforación y decarburación.

Las operaciones de desescoriado se llevan a cabo para eliminar impurezas del horno.

El horno bascula y se vierte la escoria.

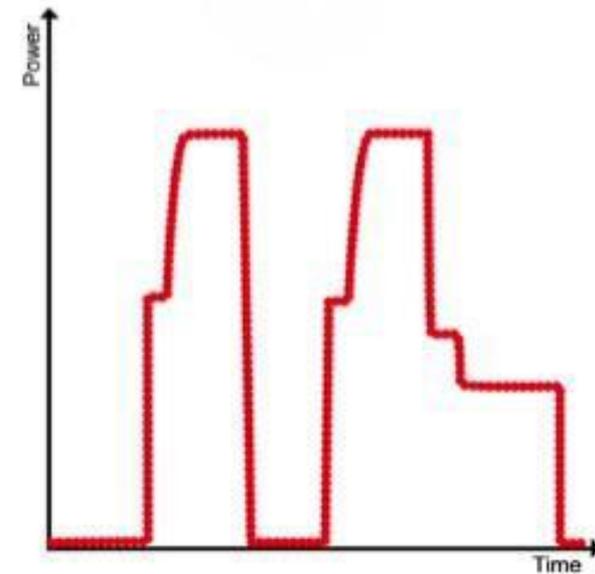
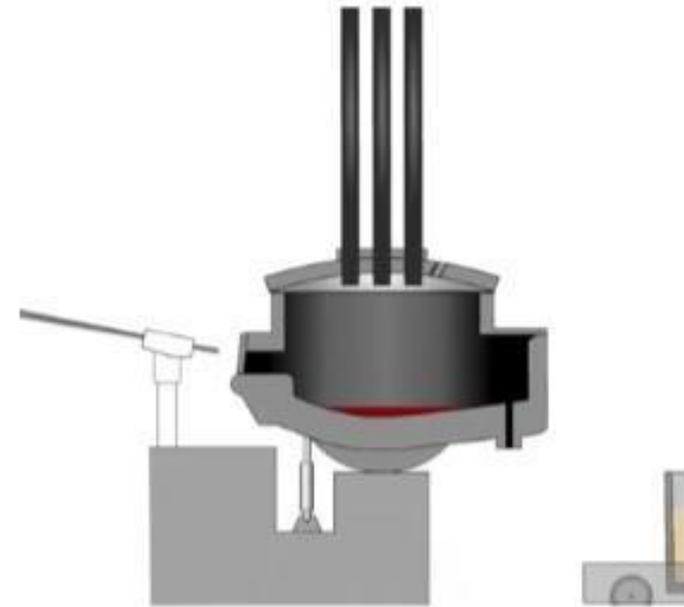
Cuando se ha obtenido la composición y la temperatura correctas del acero, se apaga el horno y se procede a su colada.

FUSIÓN

La etapa de fusión en el EAF se inicia cuando el operador tras cargar la primera canasta enciende el horno.

A partir de este momento, las condiciones de funcionamiento del EAF cambian a lo largo de la hornada, empezando por la fusión de la chatarra fría y terminando con acero líquido sobrecalentado a una temperatura por encima de 1650 °C.

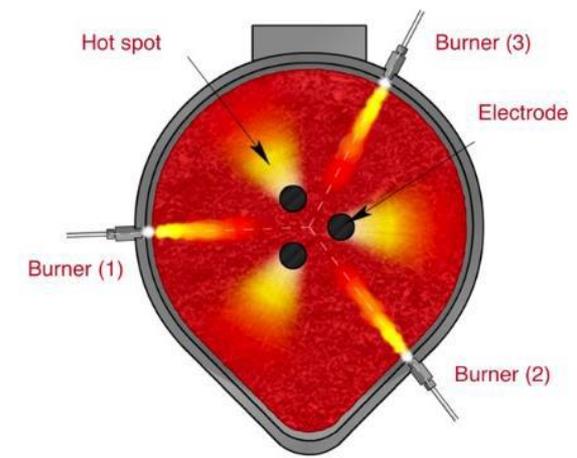
El operador, ajustando la configuración de la toma de energía desde el transformador, puede ajustar la entrada de energía según las condiciones de funcionamiento del momento, estableciendo así un equilibrio entre velocidades máximas de fusión y de calentamiento y una carga térmica aceptable para el equipo, en particular el techo y las paredes del horno.



Ciclos de la potencia durante el funcionamiento del EAF

En un esfuerzo para nivelar el desequilibrio térmico en el horno se pueden introducir quemadores en áreas de baja carga térmica ("puntos fríos").

Los quemadores incrementan la entrada total de energía en el horno, calentando los puntos fríos y equilibrando las diferencias de temperatura en el baño por convección.

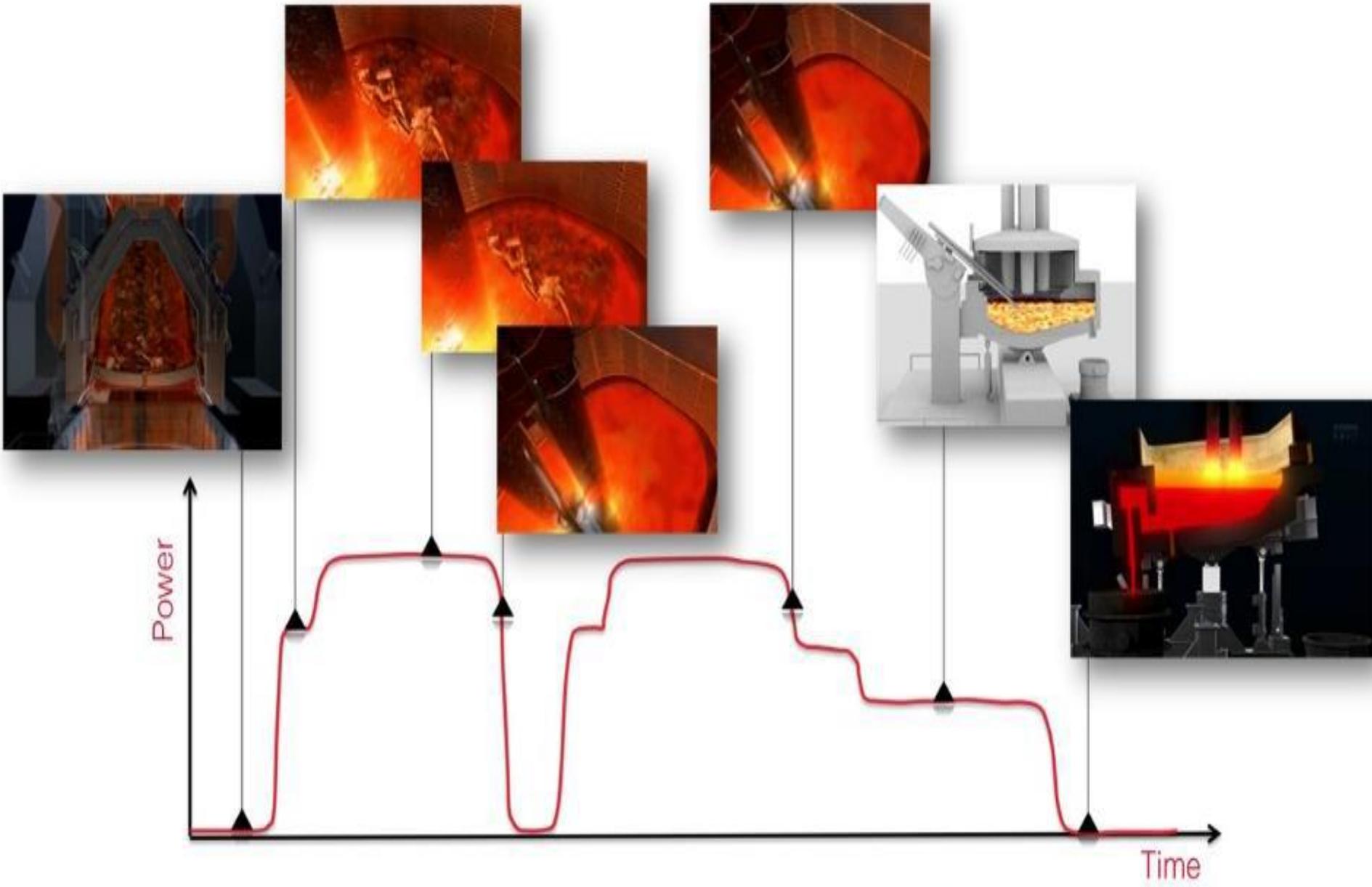


Posición de los quemadores en el horno eléctrico de arco

La potencia máxima es utilizada durante la mayor parte de los periodos de fusión.

La potencia reducida se utiliza en las etapas iniciales tras la carga de chatarra desde la canasta, cuando los arcos se encuentran cerca de la sección delta del techo del horno y durante el periodo de afinado cuando se está operando bajo condiciones de "baño plano" a fin de alcanzar la temperatura final deseada.

Ajustando la tensión del secundario del transformador (seleccionando a toma adecuada), la longitud del arco se puede cambiar para obtener las condiciones óptimas de funcionamiento en cada momento.



Ciclos de la potencia durante el funcionamiento del EAF

LA DISPOSICIÓN DE LOS ELECTRODOS EN UN HORNO DE C.A. es triangular, vista desde arriba. La distancia desigual entre los electrodos y sus diferentes posiciones a lo largo del perímetro de las paredes del horno implican una carga térmica asimétrica.

Además, las fuerzas electromagnéticas procedentes de los arcos provoca la deflexión de éstos hacia afuera desde el centro. El resultado es un desequilibrio de la carga térmica en las paredes del horno, es decir, ciertas áreas -"puntos calientes"-estarán más expuestas a la radiación del arco que otras.

En un esfuerzo para nivelar el desequilibrio térmico en el horno se pueden introducir quemadores en áreas de baja carga térmica ("puntos fríos").

Los quemadores incrementan la entrada total de energía en el horno, calentando los puntos fríos y equilibrando las diferencias de temperatura en el baño por convección.

Un quemador típico en un EAF utiliza combustible líquido o gaseoso, y es efectivo únicamente en tanto que las llamas impacten la chatarra.

Aunque esto resulte en un tiempo de actividad relativamente corto, la adición de energía es suficiente para nivelar en gran parte el desequilibrio térmico.



Unidad SIS en modo quemador Foto: SMS Siemag

DESESCORIADO

Objetivos:

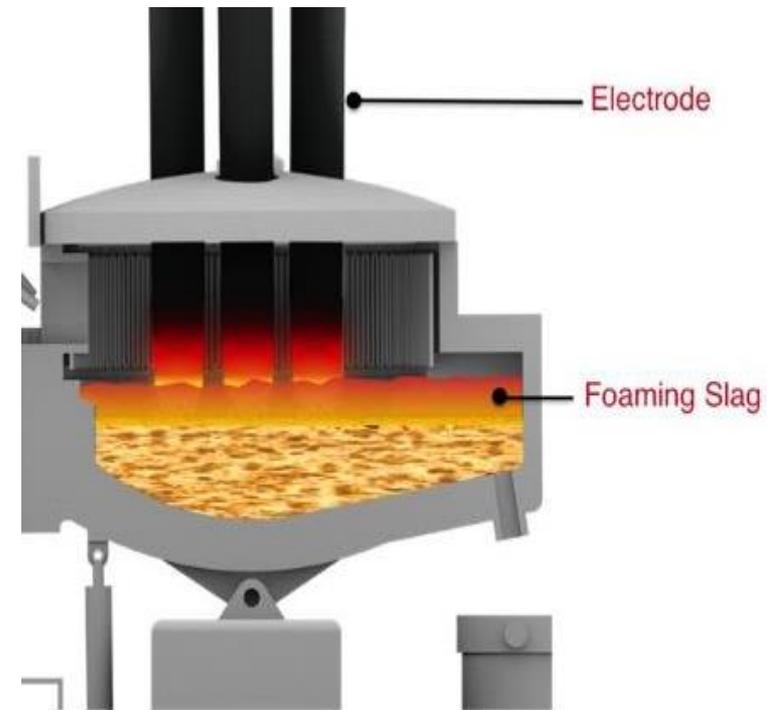
- Entender el papel de la escoria en el procesamiento del acero en el EAF.
- Aprender como se espuma la escoria y los momentos adecuados en el EAF.
- Saber cuando y como proceder al desescoriado.

El espumado de la escoria se utiliza para incrementar la eficiencia térmica del horno durante el período de afinado, cuando las paredes laterales están totalmente expuestas a la radiación del arco. La espuma de la escoria crece y cubre los arcos eléctricos, lo que permite seleccionar una mayor potencia para la toma de energía, sin incrementar por ello la carga térmica en las paredes del horno.

Además, un arco cubierto por la espuma de la escoria transferirá más eficientemente la energía a la fase acero

El espumado de la escoria se obtiene INYECTANDO OXIGENO EN EL ACERO LIQUIDO, donde se oxida principalmente el hierro, según la siguiente reacción: $O_2 + 2Fe \gg 2(FeO)$.

Simultáneamente se INYECTA POLVO DE CARBÓN EN LA FASE ESCORIA, lo que reduce el óxido de hierro: $(FeO) + C \gg Fe + CO(gas)$



Fusión en arco sumergido con escoria espumada

El CO (gas) resultante es un componente crítico para la obtención de una escoria espumada.

ESPUMABILIDAD

Para obtener escoria espumada, la espumabilidad de la misma es un factor tan crítico como lo es la generación de CO.

La espumabilidad la controlan las propiedades de viscosidad, tensión superficial y densidad de la fase escoria. Dichas propiedades varían de acuerdo a la composición de la escoria.

La puerta de escoria está ubicada en una de las paredes de la parte posterior del horno.

Esta abertura es utilizada por el operador para la inspección del interior del horno, la inyección de oxígeno y carbono utilizando lanzas consumibles y para el desescoriado.

Durante el espumado de la escoria, ésta se derrama continuamente a través de la puerta de escoria, lo que logra un desescoriado parcial.

Desescoriado

Debido a la naturaleza del EAF - con grandes variaciones en la temperatura y la composición en diferentes partes del horno - puede ocurrir que la escoria esté parcialmente sólida en algunos puntos durante las etapas de la operación. Una escoria que no sea totalmente líquida, pero que contenga un porcentaje de material sólido, como por ejemplo cal no disuelta, también influye en la espumabilidad, ya que se produce un cambio

en la viscosidad aparente:

$$\eta = \eta_0 (1 - \alpha f)^n$$

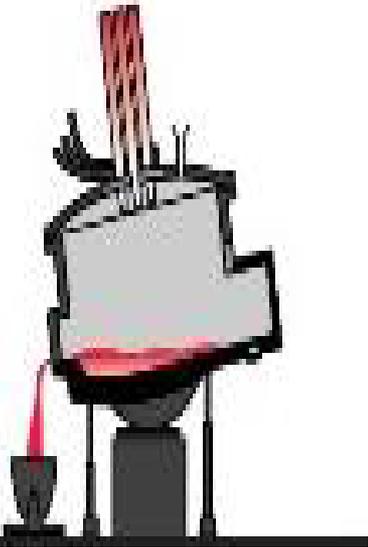
donde:

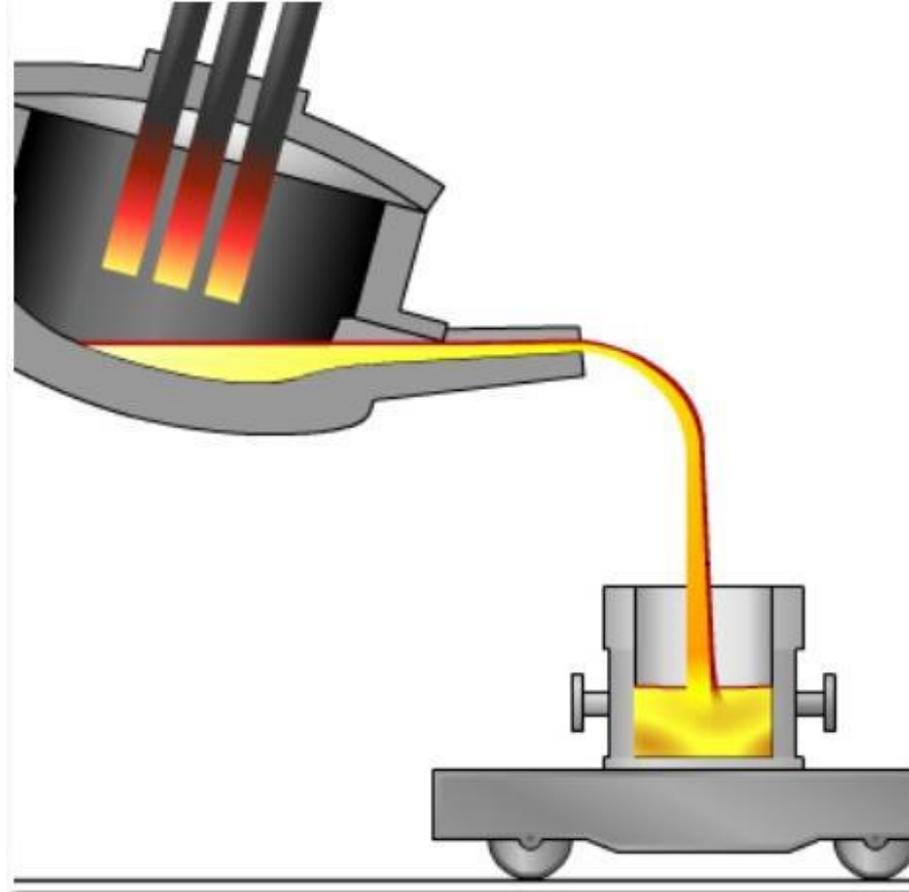
η = viscosidad aparente del baño que contiene los sólidos

η_0 = viscosidad del baño libre de sólidos

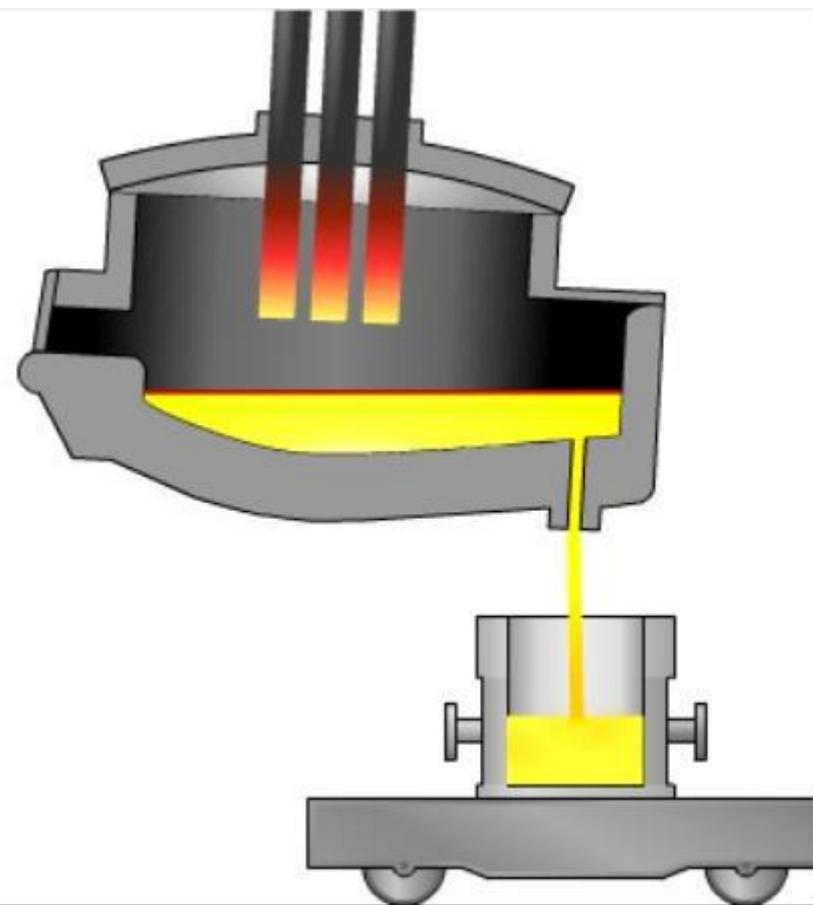
f = fracción de volumen de partículas sólidas en el baño

n = constante

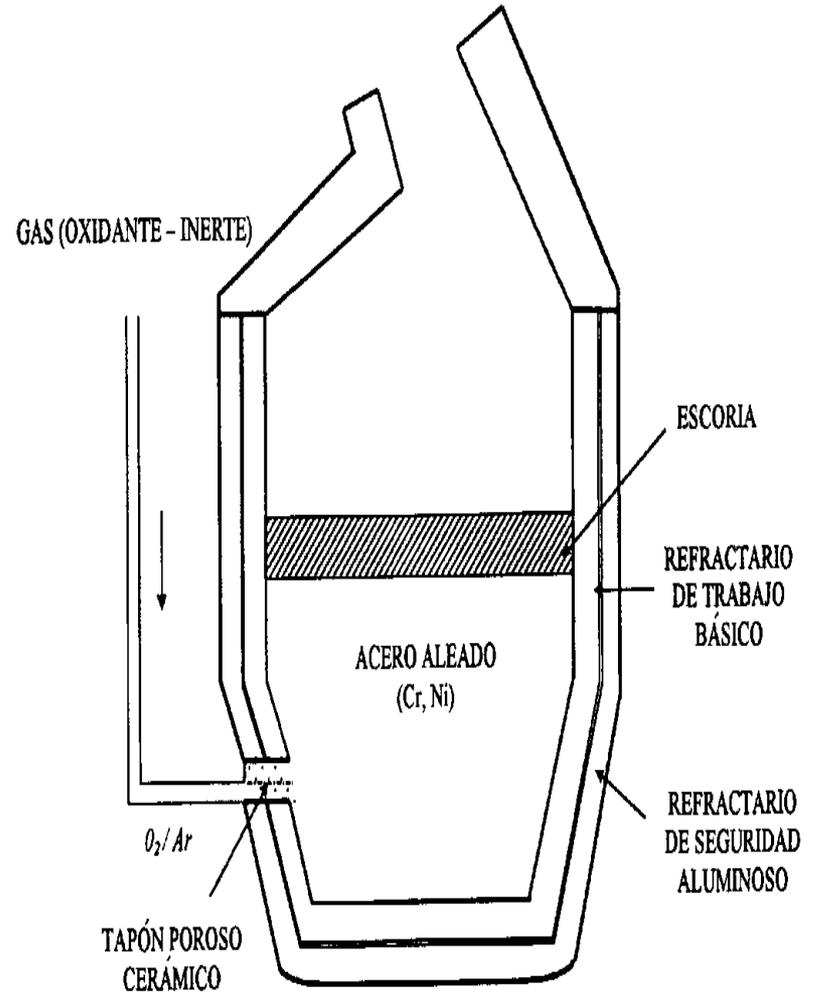
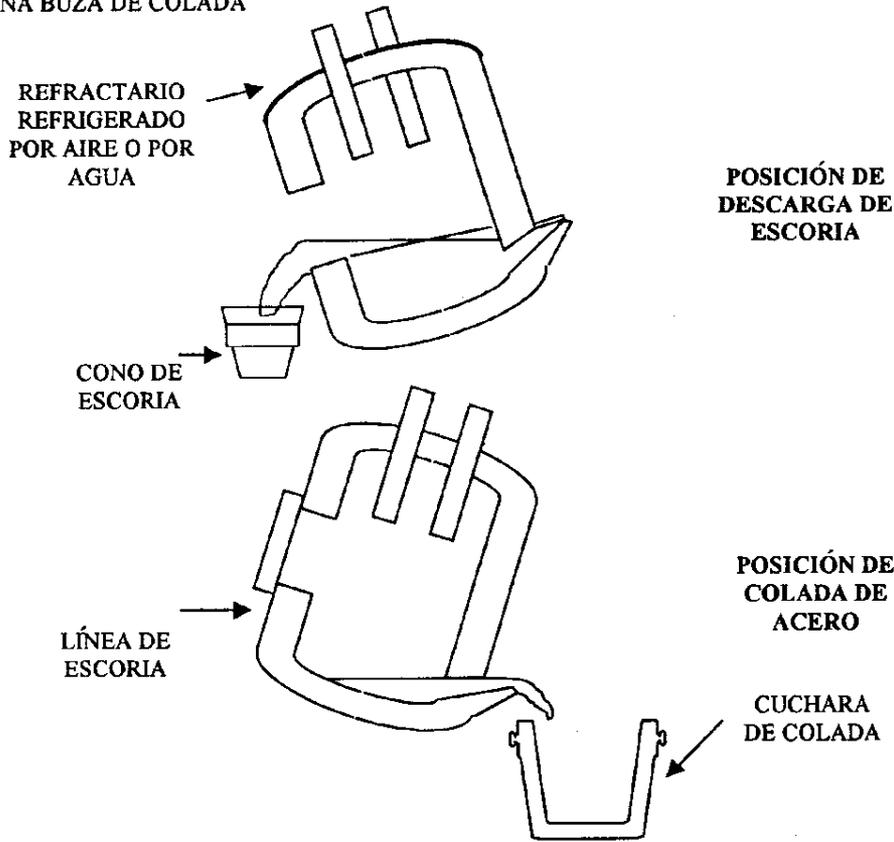
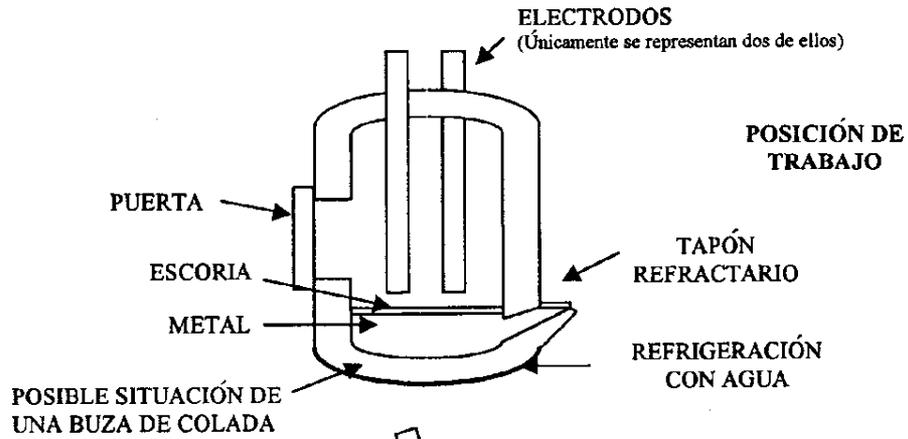




Vista esquemática de la piqueta.



Vista esquemática de un horno de colada excéntrica por el fondo (EBT)



Transformando Suor em Aço

< > - sólido
 ()_g - gás
 { } - líquido
 () - escória,
 [] - soluto na fase metálica

