

SEGURIDAD EN LA FABRICACIÓN DE ACERO EN HORNOS ELÉCTRICOS DE ARCO

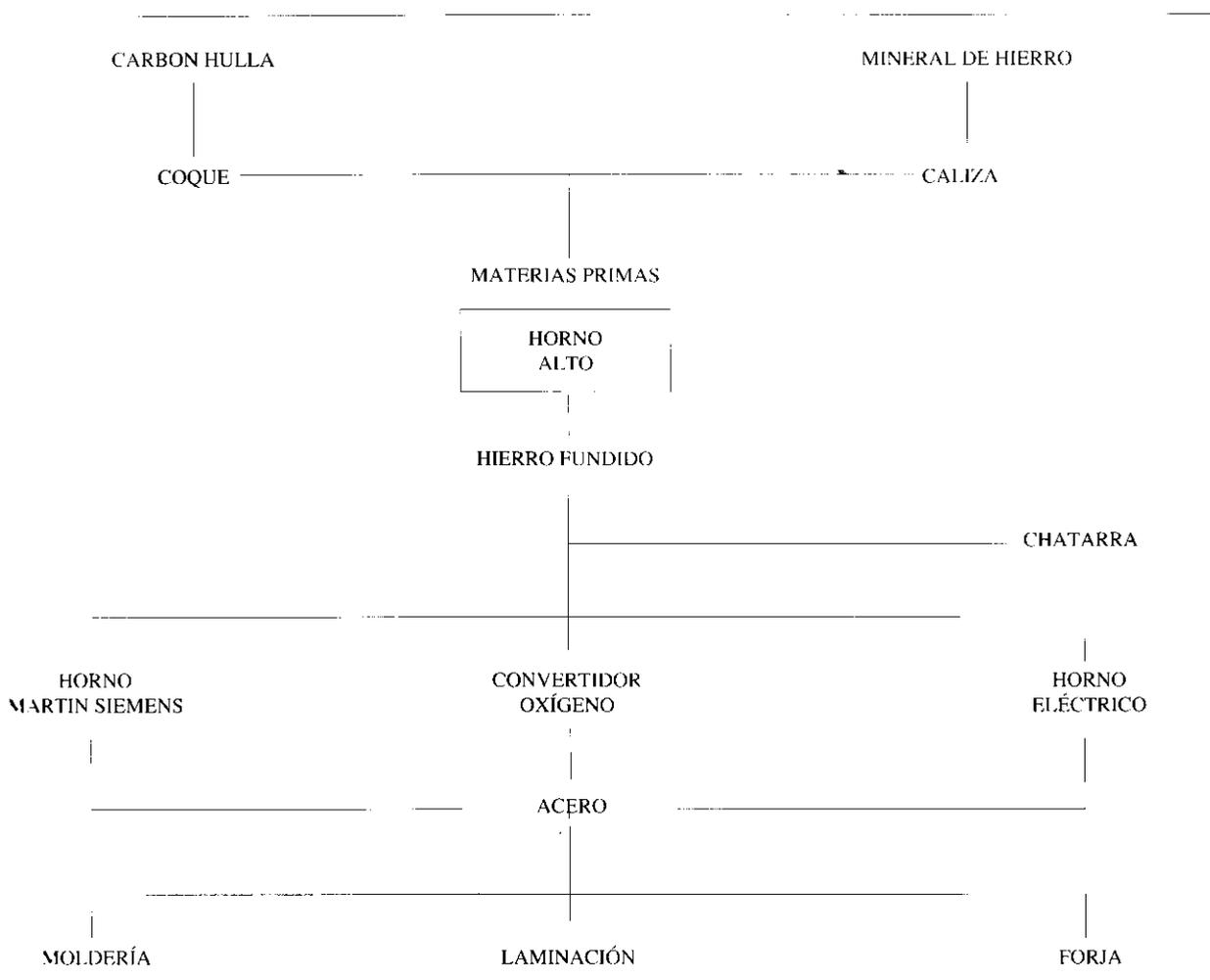
Félix López Beneyto
Subdirección Técnica I.N.S.H.T.

INTRODUCCIÓN

El hierro fundido o arrabio, como producto del proceso de fundición del horno alto no tiene la dureza y resistencia necesaria para ser usado. Esto es debido, entre otras cosas a elementos indeseables que aumentan su fragilidad: Azufre (S), Hidrógeno (H), Níquel (Ni), Oxígeno (O), y a su alto contenido en carbono (4% aproximadamente). Al rebajar el carbono por debajo de 1,7%, obtenemos un metal que ya puede ser forjado y que denominamos: ACERO.

El acero del mineral de hierro, su fabricación se lleva a cabo en un proceso posterior al horno alto, como puede verse en el esquema siguiente:

ESQUEMA DE FÁBRICA SIDERÚRGICA COMPLETA



CONDICIONES DE TRABAJO Y SALUD

Determinadas Industrias sólo tienen el proceso posterior al horno alto; es decir, obtienen el acero y sus productos semielaborados siguiendo el siguiente orden: De los hornos se obtiene el acero solidificado en forma de lingotes, éstos pasan a distintos trenes laminadores. En el de desbaste pesado se obtienen perfiles estructurales y carriles, en el tren de palanquilla, se obtiene este producto (el tren toma el nombre del producto), a partir del cual se obtienen los redondos, barras, tubos, sin soldadura, etc.

En el esquema general puede verse cómo existen tres tipos de hornos o métodos fundamentales para la obtención del acero. Este estudio está centrado en la problemática y medidas preventivas, (especialmente de seguridad) de los hornos eléctricos; y dentro de los distintos tipos (de resistencia, de inducción, de arco indirecto y de arco directo), de los de **arco eléctrico directo**.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL HORNO Y ELEMENTOS PRINCIPALES

Para su estudio, lo podemos dividir en dos grupos: Equipo mecánico (la cuba) y equipo eléctrico (energía alimentadora).

Equipo mecánico

La **cuba** es de forma cilíndrica, debiendo tener un diámetro (función de su capacidad) grande para que, de esta forma, la escoria tenga mucha superficie de reacción y el acero fundido (calco) sea poco profundo y no se enfríe en la parte inferior.

Las partes principales de la cuba son:

Coraza

Constituida por chapa de acero, de espesor suficiente para contener rígidamente el material refractario. La coraza tiene en su parte inferior un fondo en forma de bóveda invertida (solera que alcanza hasta las puertas del horno), unido solidariamente a la cuna de basculamiento y lateralmente tiene forma cilíndrica de espesor uniforme, con las aberturas necesarias para formar con los herrajes necesarios, la puerta de trabajo (puerta de salida de escorias). El pico de colada y la puerta de trabajo, están situadas en lados opuestos y en el mismo plano horizontal.

La parte superior tiene los herrajes necesarios para que sobre ella pueda descansar la bóveda.

Las paredes interiores no son completamente verticales sino que tienen una cierta inclinación siendo mayor en la base.

Bóveda

Consta de una estructura que permite el mantenimiento del refractario cubriendo la parte superior del horno. Dicha bóveda, lleva los orificios necesarios para dar paso a los electrodos (en constante movimiento).

Estos orificios van provistos de anillos de cobre refrigerados (para disminuir el tiro que se produce en el espacio libre entre orificio y electrodo) y juntas apropiadas que realizan la función

de parallamas o apaga llamas con lo cual se disminuye la oxidación y adelgazamiento de electrodos.

La bóveda deberá estar lo más alejada posible del arco. Su duración está en relación directa con esta distancia.

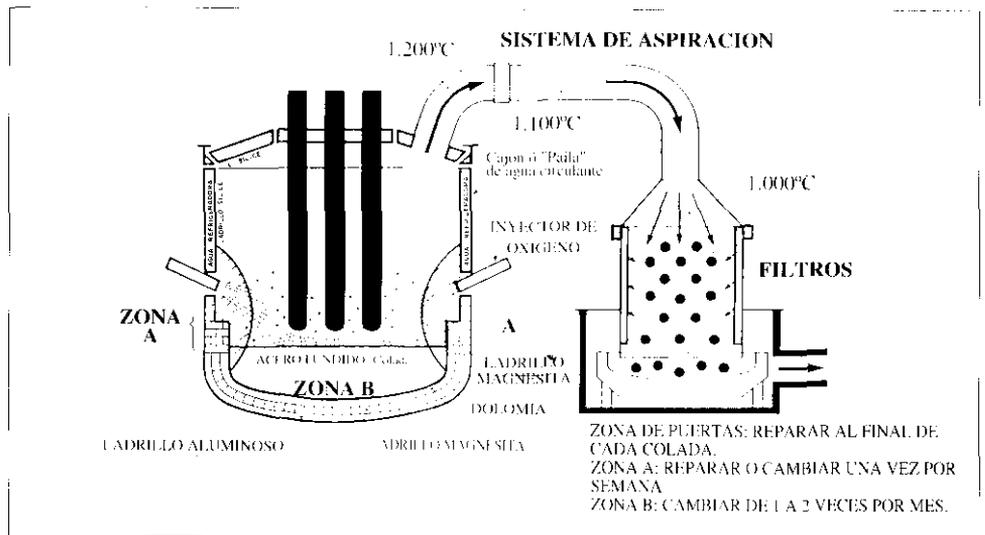
Puertas

En hornos inferiores a 25 toneladas se dispone solamente una puerta enfrente de la piquera. En hornos mayores se emplea otra puerta lateral pequeña para toma de muestras y para adiciones.

Revestimiento refractario

Es lo que realmente constituye metalúrgicamente el verdadero horno y de sus propiedades depende el proceso metalúrgico utilizable, la duración del horno sin reparaciones importantes y por tanto la economía del proceso.

FIGURA 1
ZONAS A REPARAR Y PERIODICIDAD
Revestimiento básico



Hay dos tipos de revestimiento fundamentalmente, tomando el proceso su nombre en función de que sea uno u otro. Estos tipos son:

- Revestimiento ácido. Se dice que un horno trabaja en marcha ácida cuando el horno está revestido con materiales ácidos. Estos son los siguientes: sílice, óxidos de fósforo, molibdeno, vanadio, titanio y volframio. Los refractarios ácidos son atacados por el óxido de hierro.

El revestimiento de los hornos ácidos, está constituido fundamentalmente por sílice.

- Revestimiento básico. Se dice que un horno trabaja en marcha básica cuando el horno está revestido con materiales básicos, siendo los más importantes: la cal, magnesia, dolomita y los óxidos de hierro y manganeso.

El revestimiento básico es el de la *figura 1*. La parte en contacto con el caldo es de magnesia y dolomita; la parte alta de las paredes y la bóveda son de sílice.

Equipo eléctrico

El equipo eléctrico en este tipo de hornos es fundamental, ya que la fuente de energía transformadora es la electricidad, siendo el esquema general del sistema de suministro el que se expo-

ne por orden. Seguidamente se describe esta instalación en sus aspectos fundamentales.

Línea de transporte

El parámetro fundamental de una línea de transporte es su tensión, la cual es a su vez función de las necesidades de suministro. Estas necesidades las marca la capacidad de los hornos; ya que la potencia necesaria para el proceso es también función de la capacidad de los hornos.

Se puede establecer como regla general una potencia normal de 500 a 100 KVA por metro cuadrado de superficie de caldo.

Seccionador

Este seccionador es de alta y debe accionarse siempre sin carga (con el interruptor abierto o con los electrodos levantados) y su función es desconectar la alta tensión cuando hay que hacer reparaciones.

Interruptor

Este interruptor (principal) tiene como función el desconectar en carga. Debe tener un mantenimiento preventivo riguroso, para lo cual, sus revisiones deberán ser muy frecuentes.

Para hornos de hasta 10 toneladas suelen emplearse los interruptores de aceite y para hornos mayores se emplean los de aire comprimido.

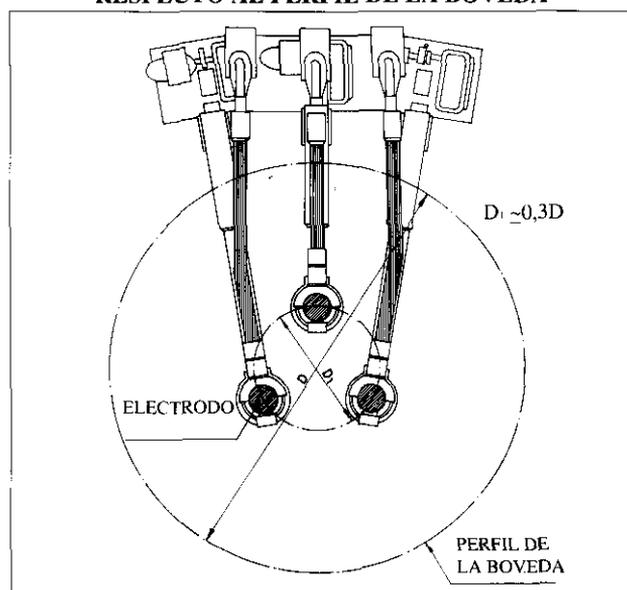
Bobina de reactancia

La función de esta bobina es la de estabilizar el arco y limitar el valor de la corriente en el caso de producirse un corto circuito (hecho que puede suceder cuando los electrodos tocan un trozo de chatarra de grandes dimensiones). Es admisible que la corriente pueda alcanzar un valor máximo igual al doble del nominal.

Transformador

Estos transformadores van refrigerados para evitar su excesivo calentamiento (por aire hasta 1.500 KVA aproximadamente y la refrigeración debe ser más enérgica, por lo tanto forzada para potencias superiores). Disponen de varias tomas en alta (3 a 6) y conmutador estrella triángulo que duplica el número de tensiones disponibles en baja (6 a 12).

FIGURA 2
POSICIÓN CORRECTA DE LOS ELECTRODOS
RESPECTO AL PERFIL DE LA BÓVEDA



La potencia máxima corresponde a la tensión más alta y disminuye proporcionalmente a la tensión de baja. El aceite aislante puede estar a un nivel inferior al de la tapa, o superior, mediante un depósito conservador.

Suelen tener una protección denominada Buchholz que acusa cualquier defecto de aislamiento en las bobinas.

Barras

Estas barras enlazan los terminales de baja del transformador con los electrodos. Deben ser lo más cortas posibles, debido a su alto coste y a que originan elevadas pérdidas eléctricas.

Electrodos

Suelen estar fabricados a base de grafito y son los encargados de establecer el arco eléctrico entre ellos y materiales a fundir (en el caso que se estudia).

Como más adelante se analizarán en el estudio del arco eléctrico, éste debe mantener fija su longitud de arco; por tanto, para compensar el desgaste de los electrodos (en aceros ordinarios de 5 a 6 Kg./ton. de acero; en aceros especiales 6 a 12 Kg./ton. de acero) y su distancia al caldo o a la chatarra dichos electrodos, se debe suprimir el corto circuito en un tiempo inferior al relevador del interruptor y para ello la velocidad de ascenso de los electrodos puede oscilar entre 0,5 y 1 m/min.

La regulación de los electrodos, debe también impedir que estos se sumerjan en el caldo carburándolo y debe tener poca inercia para trabajar con una potencia lo más próxima a la deseada, y con un factor de potencia superior a 0,8.

El accionamiento de los electrodos puede ser hidráulico o eléctrico, siendo el mando del accionamiento eléctrico.

El almacenamiento de los electrodos debe cuidarse en extremo y siempre en posición horizontal. Es obvio que en ningún caso se pondrán en servicio electrodos deteriorados.

En sistemas de tres electrodos, el posicionamiento es el de la Figura 2.

EL ARCO ELÉCTRICO

El arco es el factor fundamental en este tipo de hornos, ya que es el que aporta la energía suficiente en forma de calor para conseguir la fusión del metal. De su regulación optimizándolo y de su mantenimiento depende la buena marcha de la fusión en cuanto a la Seguridad del proceso, a la calidad del producto y a su economía. Por todo ello merece ser estudiado con algún detenimiento.

Generalidades

El arco eléctrico consiste en el paso de corriente entre un electrodo y el metal a fundir o el caldo si el metal ya ha fundido.

Considerando que el aire frío es prácticamente un aislante, para que pase la corriente es preciso que entre electrodo y metal haya una diferencia de potencial, y que obviamente el aire entre ambos sea conductor.

El aire se hace conductor a temperaturas elevadas, debido a que se ioniza y estos iones tienen gran movilidad al hacerlo en un medio de muy baja densidad como es la del aire caliente. Podemos decir que la densidad del aire en el arco, es inversamente proporcional a la temperatura.

Eléctricamente el electrodo se comporta como cátodo (carga negativa) y el metal a fundir o el caldo (metal ya fundido) co-

mo ánodo (carga positiva). De esta manera se produce una corriente de aire de ánodo a cátodo y un paso de electrones (corriente eléctrica) de cátodo a ánodo.

Cuando se invierte el sentido de la tensión aplicada se invierten también los sentidos de la corriente de aire y de electrones.

La corriente alterna de aire produce ruido, quema los electrodos, oxida el caldo e introduce gases en el mismo. Por tanto después de hervido conviene proteger el caldo con una escoria continua.

Resistencia del arco

Una de las características del arco eléctrico es que su resistencia, para una misma longitud, no es fija, sino variable.

Cuando la tensión aumenta, la intensidad disminuye, a diferencia de una resistencia en que ocurre lo contrario. En una resistencia la intensidad es proporcional a la tensión. En un arco el producto de la intensidad por la tensión (potencia) es constante para una longitud determinada. El arco no se inicia o no se mantiene por debajo de un valor mínimo de la tensión.

Inestabilidad del arco

Se pueden dar cuatro tipos de arcos: Arco estrecho, arco ancho, arco corto y arco largo.

El arco eléctrico es inestable. Veamos seguidamente los dos procesos que se pueden dar:

- A medida que el electrodo se quema (si éste permanece fijo) aumenta la longitud de arco y la resistencia, disminuyendo la intensidad. Al disminuir la intensidad se estrecha el arco y aumenta su resistencia, disminuyendo de nuevo la intensidad. Al repetirse este proceso termina por extinguirse el arco.

- Si por el contrario el arco se acorta por elevación del nivel del caldo durante la fusión, disminuye la resistencia y aumenta la intensidad ensanchando el arco. Este aumento de intensidad origina otra disminución de resistencia y ensanchamiento del arco. El proceso se repite hasta que se forma cortocircuito y desaparece el arco.

Estabilización del arco

Para estabilizar el arco, se intercala en serie una reactancia (bobina), cuya actuación es la siguiente:

- Al alargarse el arco, disminuye la intensidad. Esta disminución de intensidad rebaja la caída de tensión aplicada al arco provocando un aumento de intensidad que compensa la disminución anterior.

- Al acortarse el arco aumenta la intensidad. Este aumento de intensidad eleva la caída de tensión en la reactancia, y por lo tanto disminuye la tensión aplicada al arco provocando una disminución de intensidad que compensa el aumento anterior.

Esta reactancia limita además la corriente de cortocircuito cuando éste se produce de manera fortuita. Un efecto análogo a la reactancia produce una resistencia o una impedancia. La resistencia de la escoria estabiliza el arco.

MATERIALES QUE INTERVIENEN EN LA COLADA

La Chatarra

Es la materia prima propiamente dicha, ya que los otros dos intervinientes son los escorificantes y las escorias; los primeros facilitan la fusión, protegen la solera del horno y originan la segunda.

La chatarra puede ser de fabricación propia (siendo en este caso su composición conocida) o ajena, en cuyo lugar la composición no se conoce con seguridad.

La calidad de la chatarra se juzga por su composición química, por su densidad, por su tamaño y por su grado de oxidación.

En lo referente al grado de oxidación, tiene importancia en el proceso por el contenido de agua que absorbe el óxido y porque el óxido ataca a los revestimientos ácidos, lo cual hay que tener en cuenta.

En cuanto a su almacenamiento, es conveniente que la chatarra ligera se ubique en locales cubiertos, debiendo ser empaquetadas sobre todo las virutas.

En el parque de almacenamiento, la chatarra deberá clasificarse por calidades. Para la ajena se seguirá el criterio de la chatarra propia conocida.

Las impurezas perjudiciales de la chatarra son estaño y cobre. El zinc no es perjudicial porque se volatiliza, y el plomo tampoco, ya que no se disuelve, ni el aluminio por pasar a la escoria.

Como orientación, las chatarras más puras son las que proceden de acero al convertidor, seguidas de las que proceden del horno de Siemens y horno eléctrico.

Escorificantes

Con la carga del horno, conviene añadir un escorificante para que reaccione con el óxido de hierro de la chatarra al comienzo de la fusión evitando el ataque a la solera, y facilitando la formación de la escoria que al flotar sobre el caldo, impide que éste posteriormente se oxide.

Se emplean fundamentalmente dos: la caliza y la cal, dependiendo su elección de los siguientes factores:

a) La cal reacciona más rápidamente que la caliza, y ésta disminuye la conductividad de la carga.

b) Para formar la primera escoria es preferible añadir caliza, ya que introduce menos humedad en el caldo que la cal y además contribuye al hervido.

c) Para formar la escoria reductora es preferible emplear cal, de esta forma se evita el enfriamiento del caldo. De todas formas es conveniente añadirla precalentada para eliminar la humedad.

Otro escorificante es la Sílice (arena) con 90 a 98% de SiO₂ y el Espato con más del 90% de fluoruro cálcico y menos del 0,5% de azufre.

Escorias

La escoria es la materia desechable en el proceso de la fundición. Por diferencia de densidad, queda flotando sobre el caldo, cumpliendo una función protectora contra la oxidación como ya se ha mencionado.

Existen dos tipos fundamentales de escoria:

Escoria ácida

Tiene una composición aproximada del 50% en peso de SiO₂ y el 50% restante de FeO + MnO.

Esta escoria es siempre oxidante. Tiene un aspecto vidrioso y se separa mejor del caldo que la básica, esto permite colar por la parte superior de la cuchara.

Escoria básica

Se divide a su vez en tres tipos:

- Escorias básicas oxidantes cuyo poder de oxidación crece con la proporción de FeO contenida.
- Escorias básicas reductoras obtenidas por reducción de escorias básicas oxidantes. Para evitar que se ponga demasiado espesa, se le añade espato. Si como agente reductor se añade solamente silicio, la escoria es blanca. Si se añade carbón, la escoria es negra.
- Escoria básica reductora formada después de desescoriar la escoria oxidante.

LA COLADA

Básicamente hay dos tipos de colada: colada ácida y colada básica. En la primera predomina la sílice en su escoria y en la segunda la cal.

El concepto de acidez o basicidad aplicado a escorias y refractarios, no tiene un fundamento científico claramente definido; su carácter no es absoluto, sino relativo.

La colada ácida no permite eliminar el fósforo y el azufre de la carga, lo cual obliga a seleccionar la chatarra. Existen dos tipos de coladas ácidas en función del grado de oxidación:

- Colada ácida con oxidación parcial.
- Colada básica con oxidación total.

No se entra en las particularidades de cada una, ya que no es el objetivo principal de este estudio.

Se elegirá un tipo u otro de cada colada en función de la clase de acero que queramos obtener, acero moldeado, acero de herramienta, acero efervescente, acero de construcción, acero inoxidable, etc.

A su vez la colada puede ser para molde o para lingote: en la primera lo principal es que la desgasificación del acero sea buena, la escoria fácilmente separable del caldo y que éste tenga buena fluidez. En la segunda lo fundamental es que el azufre y el fósforo sean bajos y el acero limpio.

DESARROLLO DE LA COLADA. RIESGOS Y MEDIDAS DE SEGURIDAD EN CADA FASE

Carga

La forma física, estructura y sistematización de la carga es tan importante que influye a veces decisiva y negativamente (si es mala) en los siguientes factores:

- Economía por:
 - Rotura de electrodos al bascular un recorte de chatarra grande mal colocado en el interior, en la fase de fusión.
 - Destrucción del revestimiento del horno (solera, lateral y bóveda).
 - Incremento del tiempo de colada.
- Calidad del acero por:
 - Prolongación del período de recontaminación gaseosa.
 - Dificultad de conseguir la fusión completa de los metales de aleación, así como la homogeneización del caldo.
- Seguridad por:
 - Mala selección de la chatarra en cuanto a su forma física y a su densidad en el contexto de la carga total del horno, es decir, que la carga no cumpla tantos por cientos aproximados que están establecidos experimentalmente de chatarra ligera, media y pesada.

- Mala distribución de la chatarra en el interior del horno.
- Paredes interiores del horno en mal estado (originado precocemente si se acumula chatarra pesada y con muchas aristas pegado a las paredes) que facilitan el enganche de la chatarra en dichas paredes.

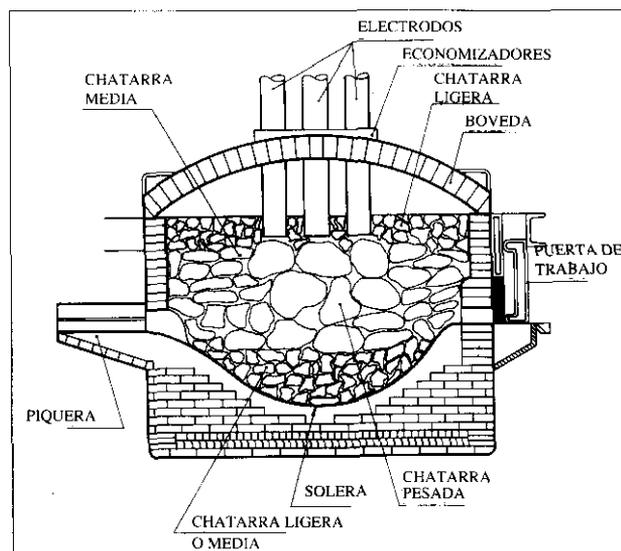
Todas estas anomalías pueden producir un "pozo" en el centro del horno por fusión de la chatarra en la vertical de los electrodos, quedando chatarra sin fundir en los laterales que en un determinado momento puede derrumbarse sobre la masa líquida (caldo) originando una llamarada (casi una explosión) muy fuerte que puede salir en forma de dardo por los resquicios de la puerta de trabajo pudiendo originar un accidente con las más graves consecuencias humanas.

Este accidente es muy importante y típico por ello complementaremos su descripción en la fase siguiente de FUSION.

Todos los problemas hasta aquí descritos que puede originar una defectuosa carga, obviamente son evitables con dicha carga correcta. Seguidamente se describen las medidas necesarias para una sistemática y racional carga:

- Como medida inicial de seguridad se deberá preparar el horno antes de cada colada sobre todo en dos puntos fundamentales:
 - Parcheo del horno: Estando el horno en posición normal, se abren las puertas y se reparan las zonas dañadas del revestimiento.
 - Ajuste de los electrodos: Su posición respecto al perfil de la bóveda deberá cumplir la relación $D1 \sim 0,3 D$, según se indica en el figura 2. Seguidamente se bajan los electrodos hasta casi tocar la solera, con objeto de apreciar el grado de desgaste y por tanto si su longitud es suficiente para una correcta próxima colada. Si no lo son se ajustarán, dejándolos deslizar en sus abrazaderas una longitud admisible. Si esto no fuera suficiente, se sustituirán por unos nuevos. De esta manera se tiene el horno dispuesto para la próxima colada.
- Seguidamente y con el horno desconectado se procede a la carga, pero antes se hacen las siguientes consideraciones:
 - Conviene que la capacidad de un horno de acero líquido (volumen del crisol) sea igual a la capacidad de carga en toneladas de chatarra (volumen de la cuba).

FIGURA 3
CARGA CORRECTA DE UN HORNO ELÉCTRICO
PARA MEJORAR SU SEGURIDAD, RENDIMIENTO Y DURACIÓN



- En la compra de chatarra conviene fijar el límite inferior de densidad en 1.200 kg./m³.

- Si un horno se carga con mucha chatarra ligera, el volumen total de ésta excederá de la capacidad del horno y será necesario esperar a que parte de aquélla haya fundido para cargar el resto, lo que es mala práctica. Tampoco conviene cargar sólo de chatarra pesada, ya que no protege bien el revestimiento en el período de fusión. Como dato orientativo para que exista equilibrio se dan los siguientes porcentajes de carga:

- 40% de chatarra pesada
d > 5.000 Kg./m³
- 40% de chatarra media
d = 2.000 5.000 Kg./m³
- 20% de chatarra ligera
d < 2.000 Kg./m³

A continuación se describe la distribución:

- Se cubre la solera de una delgada capa de sílice (arena) en hornos ácidos, o de cal en hornos básicos. Esto protege la solera del ataque del óxido de hierro.

- A continuación se carga la chatarra poco compacta (ligera) y sobre ésta algo de chatarra media, esta capa protege la solera contra los golpes de la chatarra compacta, y al fundir antes que la pesada, también protege la solera del calor excesivo.

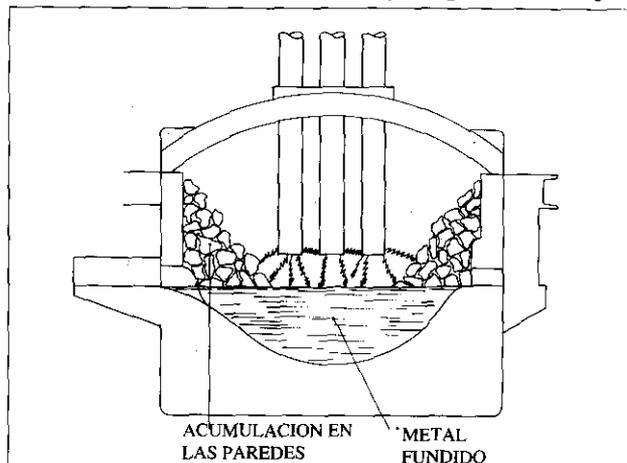
- Sobre esta capa se deposita toda la chatarra pesada, procurando que en todo el contorno lateral en contacto con las paredes del horno haya chatarra media. Se procurará que los trozos gruesos caigan en la vertical del círculo, que contiene a los electrodos, colocándolos de tal manera que al empezar a fundir no basculen golpeando a dichos electrodos rompiéndolos, como anteriormente se ha indicado.

- Finalmente y en la parte superior se coloca otra capa de chatarra ligera para proteger a la bóveda de la radiación del arco al comenzar la fusión. Ver figura 3.

Es conveniente añadir con la carga los metales de aleación menos oxidables que el hierro como el níquel, cobalto, molibdeno y wolframio, ya que si se añade en otro momento, se prolonga el período peligroso de recontaminación gaseosa.

FIGURA 4
FASE PELIGROSA EN EL CICLO DEL HORNO ELÉCTRICO.
PUNTO DE CAMBIO DE SONIDO

Possible llamarada en forma de dardo por la puerta de trabajo



Fusión

Terminada la carga del horno, se cierran las puertas y se sitúan los electrodos a dos centímetros aproximadamente de la

FIGURA 5
COLOCACIÓN IDEAL DE LOS MECHEROS

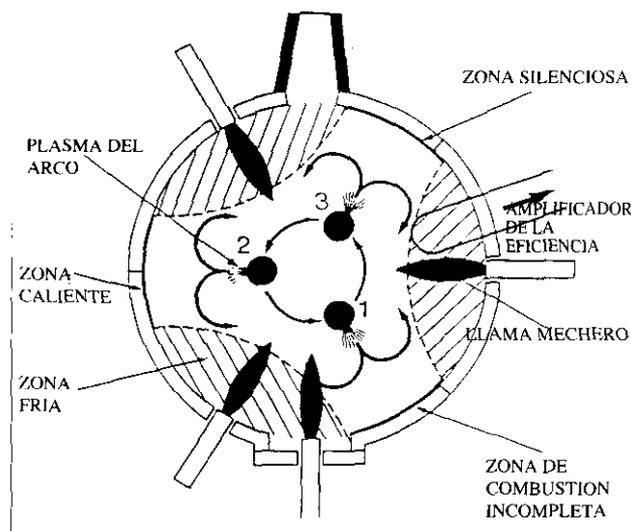
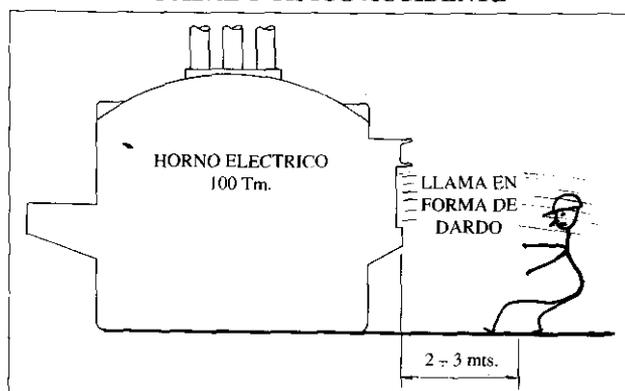


FIGURA 6
POSIBLE Y TÍPICO ACCIDENTE



chatarra. Se elige una tensión intermedia para que el arco no sea muy largo (perjudicando la bóveda), y se conecta el horno con regulación automática. Esta tensión intermedia inicial, se mantiene durante 15 minutos para que el arco no sea muy intenso y se empiece a fundir la carga paulatinamente sin dañar las paredes ni la bóveda del horno y además para dar tiempo a que se funda el material que está pegado a las paredes y no se acumule en esa zona. El avance de los electrodos deberá ser estudiado detenidamente, ya que, si se realiza demasiado rápido, no da tiempo a la fusión de la chatarra más alejada.

Esta acumulación de chatarra en los laterales del horno (figura 4) (sobre todo en las zonas frías: figura 5) es altamente peligrosa ya que su derrumbe provoca la llama en forma de dardo que puede salir por la puerta de trabajo como puede apreciarse en la figura 6.

Por tanto las dos medidas fundamentales de seguridad son: una buena distribución de la chatarra en la carga según las indicaciones dadas anteriormente y una correcta elección y regulación del voltaje y del avance de los electrodos.

Cuando los electrodos ya se han introducido en la chatarra se cambia a la tensión más elevada y a la potencia máxima para realizar la fusión en el menor tiempo posible.

La adición de escorificantes debe hacerse lo antes posible para que la escoria regularice el arco, proteja al caldo de contaminación gaseosa y evite el ataque a los refractarios por los óxidos formados durante la fusión. El momento de la adición de estos escorificantes es cuando la chatarra está casi fundida en su totalidad.

La escoria se forma cargando cal y esparto de fluor (en hornos básicos) en cantidades que dependen del tipo de chatarra de la carga, ya que otra misión que cumplen además de las especificadas anteriormente, es la de oxidar las impurezas y desfosforar, siendo la cantidad aproximada del 1 al 2% del peso de la carga metálica. En horno ácido se añade sílice en lugar de cal en una proporción aproximada al 1,5% del peso de la carga metálica.

Una vez fundida la escoria empiezan a verificarse las reacciones propias del período de oxidación. En él se oxidan, pasando a la escoria, el silicio, manganeso, fósforo y en general los elementos más oxidables que el hierro.

En esta fase en cuando realmente existe el peligro de que la chatarra acumulada en las paredes se desprenda de golpe precipitándose por el espacio que han dejado los electrodos al ir fundiendo el material en la zona central, cayendo en el caldo o metal ya fundido produciéndose la llamarada consiguiente que sale por los resquicios de la puerta de trabajo. Por tanto, es en esta fase del proceso cuando las personas deben quitarse de las inmediaciones del horno.

Desde el punto de vista práctico los fundidores saben el momento de una posible llamarada por el cambio de sonido del horno, ya que cuando el horno trabaja normal y el arco es normal produce un sonido característico, pero cuando los electrodos están muy abajo y le falta material para que el arco sea normal, entonces se produce como una disminución en el sonido y es entonces cuando se suele precipitar la chatarra de las paredes y se produce la llamarada y el reflujo por la puerta de trabajo.

Aunque es variable con la capacidad del horno, un dato práctico de Seguridad para hornos de 100 toneladas es guardar precaución alrededor del horno cuando los electrodos están alimentados por una potencia de 12.000 a 14.000 KW. en este punto o con una energía superior es cuando se puede producir la caída de chatarra al líquido fundido de la solera y producirse la llamarada. Con una potencia inferior a 12.000 KW. no se da este tipo de accidente, ya que el proceso de fundido en el interior del horno eléctrico no está lo suficientemente abajo del horno.

Se deberá conectar una alarma acústica o sonora para que se ponga en funcionamiento al sobrepasar los 10.000 Kw. de energía, de esta manera se despejaran las inmediaciones del horno cuando dichas alarmas se pongan en funcionamiento siempre que ello sea posible por la fase de trabajo que se esté desarrollando.

Afino

Se entiende por afinado el período oxidante, que acompaña y sucede a la fusión. Pueden darse tres oxidaciones:

- Oxidación no deseada de los siguientes elementos que pasan a la escoria: manganeso, silicio, cromo, vanadio, titanio y hierro.
- Oxidación deseada del fósforo que pasa a la escoria.
- Oxidación deseada del carbono para formar CO, que elimina del caldo el hidrógeno y nitrógeno. Esta oxidación constituye el hervido.

Dentro del afinado, hay que considerar el hervido que es una operación que tiene por objeto deshidrogenar y desnitrógenar el caldo. Los dos únicos gases que presentan problemas en la fabricación de acero son el hidrógeno y el nitrógeno. El primero es el más peligroso, ya que origina poros en el acero moldeado y copos en los aceros forjados y laminados.

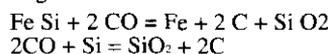
Para llevar a cabo el hervido, se provoca una reacción con *desprendimiento de gas en el seno del caldo y se emplea para ello la reacción entre carbono y oxígeno disueltos en el caldo:*

$$C + 1/2 O_2 = CO \text{ (gas)}$$

La producción de burbujas de CO es el proceso fundamental del hervido. La cantidad de carbono necesaria para la producción de CO se añade con la carga, o cuando ésta está parcialmente fundida.

La cantidad de oxígeno necesaria se aporta por soplado o con mineral.

Hay que tener mucha precaución cuando el baño está sobreoxidado ya que el "hervor" puede ser muy violento y darse determinadas proyecciones. En tal caso, y para evitar este riesgo, hay que añadir algo de ferrosilicio para que se den las reacciones siguientes:



En el período de afinado se procurará cerrar el horno muy bien, para evitar excesivas oxidaciones y por tanto evitar el tipo de riesgo descrito en el punto anterior, al margen de que si no se cierra el horno perfectamente, desde el punto de vista técnico la escoria no se formaría bien y pasaría azufre de nuevo al baño de acuerdo con la reacción:



Reducción

Consiste en obtener una gran escoria reductora. Tiene tres objetivos fundamentales:

- Recuperar elementos metálicos de la escoria.
- Desoxidar parcialmente el caldo.
- Desulfurar.

Puesta a punto y desoxidación

Consiste en el ajuste de los elementos de aleación mediante las adiciones necesarias, el ajuste de la temperatura de colada y el ajuste de la viscosidad de la escoria para que se separe bien del caldo.

La desoxidación final conviene hacerla en el horno, pero con frecuencia los desoxidantes ligeros atraviesan bien la escoria y se añaden en la cuchara.

OTROS RIEGOS Y MEDIDAS PREVENTIVAS

Además de los riesgos y medidas preventivas que se han ido exponiendo anteriormente en cada fase, existen otros que, por su importancia, merecen una especial atención y un minucioso estudio.

Riesgo de quemadura por O₂ y medidas preventivas

El horno tiene unos inyectores de Oxígeno para la descarburación del Fe y facilitar la fusión. Esta instalación puede originar dos tipos de accidente:

a) Por reventamiento de la manguera de conducción si ésta no es la adecuada. La correcta debe tener un revestimiento metálico.

b) Por retroceso del oxígeno (similar al retroceso de la llama en la soldadura oxiacetilénica) producido al obstruirse el agujero de salida del inyector mediante una gota de acero; ya que estos inyectores penetran hasta el interior del horno.

Este problema puede darse por una mala colocación de los inyectores, ya que deben estar bien ajustadas todas las llaves y válvulas.

La presión del oxígeno debe ser entre 6 y 8 atm., no debiendo exceder este límite máximo, por tres razones:

- Si entra a más de 8 atm., oxida en demasía el acero; es decir, hay una excesiva descarburación del Fe con una merma de éste.

- Hay más riesgo de retroceso en el inyector (lanzadera).

Riesgo en el periodo de formación de escoria y medidas preventivas

En el momento de formación de la escoria, normalmente hay que añadir elementos desoxidantes a la colada tales como: Aluminio, Circonio, Silicio, Titanio, o Vanadio. Esta operación suele realizarse a pala y la aportación se realiza a través de la puerta de trabajo. Teniendo en cuenta que el horno está en corriente, existe un riesgo grande de proyecciones de gotas de acero fundido hacia afuera que pueden producir quemaduras importantes en los operarios que realizan tales cometidos.

Por tanto deberá extremarse la precaución en esta operación, además de llevar el operario el equipo idóneo y completo de protecciones personales para esta función (botas, polainas, delantal, guantes, casco).

Riesgo en la toma de temperatura con pirómetro de inmersión y medidas preventivas

Este pirómetro consta de una lanza con un cartucho de cartón provista de un termopar en la punta. Esta lanza se introduce

en el acero fundido (1550° C) por la puerta de trabajo. Dicha lanza tiene un cable que va desde ésta a un registrador. El operario coge la lanza y, cuando comprueba por medio de un indicador que la instalación es correcta, la introduce en el acero.

Esta operación tiene cierto riesgo si la lanza lleva algo de humedad, la cual al reaccionar la masa fundida produce salpicaduras que pueden alcanzar al operario que realiza la tarea; ya que su realización requiere estar muy cerca del horno.

La medida de seguridad primaria es que la lanza obviamente esté exenta totalmente de humedad y secundariamente el operario deberá llevar las prendas de protección personal adecuadas al caso.

Riesgo en la adición de elementos al acero fundido directamente en la cuchara y medidas preventivas

Cuando se considera que está a punto la colada, se bascula el horno (de 40° a 50°) en sentido de la piquera para verter el caldo en la cuchara. Fig. 7.

En este momento se suele adicionar al acero fundido directamente en la cuchara componentes tales como: Ferrosilicio, silicio-manganeso, aluminio, dolomías y espátos. Como medida de seguridad es fundamental que estos aditivos estén exentos absolutamente de humedad, ya que el contacto de la humedad con la alta temperatura de caldo reacciona con formación brusca de vapor de agua que puede originar proyecciones importantes de la masa fundida.

Por otro lado esta operación se realiza desde una cierta altura, por lo que se producen salpicaduras que pueden afectar a los operarios más cercanos, por tanto cuando se lleve a cabo esta operación, deberán retirarse todos los operarios una distancia lo suficientemente segura de la cuchara, sobre todo aquellos que están en la plataforma al nivel de la cuchara.

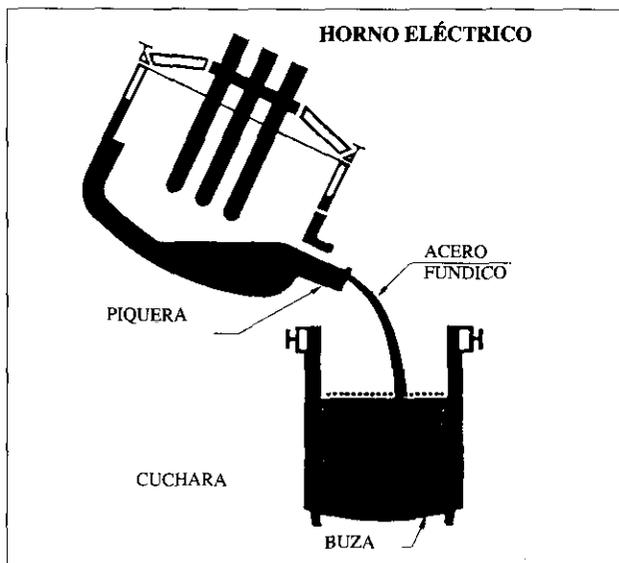
Factores y operaciones con riesgo debido a humedades

Los problemas que origina la humedad al hacer contacto con la masa fundida, como consecuencia de lo dicho en el punto anterior, pueden originar no sólo un accidente sino una catástrofe; ya que si la humedad fuese muy importante se originaría una auténtica explosión y obviamente con todas sus consecuencias. Estos problemas pueden darse en los siguientes factores y operaciones: Chatarras, aditivos en general, lanza de pirometría, en las reparaciones del horno (materiales) que se realizan entre colada, placa porta lingoteras situada debajo de la cuchara. (sobre esta placa van las lingoteras entre 12 y 28 con una central llamada "reina", siendo importantísimo que su sequedad sea absoluta).

Riesgos en el llenado de lingoteras y medidas preventivas

El llenado de las lingoteras a través de la "reina" se realiza desde la cuchara por un orificio inferior llamado buza. Este orificio puede abrirse mediante dos sistemas: por corredera o por bástago. Previamente a la apertura, deberá centrarse muy bien la buza con el embudo del bebedero de la lingotera "reina" para que, al salir el caldo por la buza, no incida fuera de este embudo originando proyecciones de acero fundido en abanico, que podría alcanzar a los operarios que intervienen en la operación de colada. Estos operarios están situados en el pozo del horno.

FIGURA 7
VERTIDO DE CALDO EN CUCHARA



Esta operación peligrosa, lo es más debido a su frecuencia. Esta frecuencia está en función de la capacidad de la cuchara y de las lingoteras a llenar, siendo frecuente que la operación de apertura de la buza se realice hasta tres veces por cada cuchara, si existen tres placas con sus correspondientes lingoteras a llenar.

Una vez que la buza está en la perpendicular del embudo y previo a la apertura de la buza se realiza la limpieza de ésta por medio de chorro de oxígeno a dos o tres atmósferas de presión. En esta operación de limpieza existen dos riesgos:

- Reventón de la manguera de oxígeno ya que el soplado de la buza se realiza de abajo hacia arriba por lo que puede obturarse la lanza.
- Que la manguera se quemé.

En el primer caso, y como medida de seguridad, se recomienda no acercar la boquilla de la lanza excesivamente a la buza, y por supuesto, no hacer contacto con ella. Además deberá revisarse entre limpieza y limpieza de buza.

Para prevenir el segundo caso, simplemente deberá vigilarse en todo momento la trayectoria de las mangueras.

Riesgos en el cambio de refractorio y medidas preventivas

En esta operación los riesgos son de dos tipos:

- Estrés térmico por excesiva temperatura en el interior del horno donde hay que trabajar.

La medida preventiva necesaria es que mediante suficiente ventilación (si es necesario forzada) y durante el tiempo necesario, se rebaja la temperatura hasta unos niveles no perjudiciales para los operarios que tiene que trabajar en su interior.

- Inhalación de polvo (sobre todo sílice que produce la silicosis) desprendido por los materiales que se trabajan.

Una medida de seguridad sería humedecer las materias, pero hay que descartarla, ya que precisamente todos los materiales que puedan estar en contacto con el acero fundido deberán estar muy secos. Por tanto la medida más idónea es la ventilación (aspiración forzada y localizada).

Riesgos en el cambio de columnas o electrodos y medidas preventivas

En la operación de cambio de electrodos, bien por rotura o bien por desgaste excesivo, existe el riesgo de caída de los operarios bien al interior de la cuba (a través de los agujeros por donde penetran los electrodos, que en el caso de cubas de 100 toneladas miden 600 mm de diámetro y cabe una persona perfectamente) o al exterior.

Estos electrodos se sacan por la parte superior engancharlo la punta con tenaza y mediante un cable, el puente grúa tira de él.

Como medida preventiva se recomienda un enganche correcto (previo enfriamiento del electrodo), revisiones periódicas

de dicho enganche y cables, así como un seguimiento visual del electrodo suspendido hasta que se deposita en el lugar idóneo.

Energía radiante. Medidas preventivas

Se dispondrá de resguardos estacionarios o movibles frente a las puertas de trabajo y a las salidas del metal fundido de los hornos de arco eléctrico, para evitar que la luz directa o reflejada de los arcos o la radiada por la masa fundida llegue a los ojos de los operarios que estén en las inmediaciones y no protegidos.

Calor. Medidas preventivas

Las puertas, los armazones de las mismas, los portaelectrodos, los economizadores de los electrodos y los enfriadores de techo de los hornos de arco eléctrico se refrigerarán, siempre que sea factible, por circulación de agua.

MEDIDAS DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES AUXILIARES

Fosos de Colada

Los fosos de colada deberán cumplir las siguientes condiciones:

- Tendrán una profundidad en consonancia con el diseño general del horno y de las cucharas.
- Dispondrán de un espacio libre en todo el contorno, teniendo en cuenta la mayor dimensión exterior de la cuchara.
- Tendrán barandillas y plintos móviles.

Se tomarán todas las precauciones necesarias antes de comenzar la colada a fin de asegurarse de que los operarios están fuera de todo peligro.

Transformadores

Los transformadores para hornos de acero eléctrico, así como su equipo complementario, estarán colocados tan cerca de los controles principales como los electrodos del horno y las condiciones operativas lo permitan.

Tableros de distribución

Los tableros o bancos de control de los hornos eléctricos, deberán cumplir lo siguiente:

Estarán ubicados de tal manera que los operarios puedan ver con claridad el horno durante todo el proceso.

- Deberán estar protegidos contra el agua, aceite, polvo y vibraciones.
- No se colocarán próximo a su entorno cables con alta tensión que pueda afectar el buen funcionamiento de los indicadores.

Estos tableros de mando deberían estar provistos de dispositivos de control manual para elevar o bajar los electrodos, independientemente de los reguladores automáticos.