

---

## HORNOS

---

**HORNOS** Un horno es un dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimento cerrado. Se utiliza generalmente en la cocina para cocinar, calentar o secar alimentos.

La energía calorífica requerida para el calentamiento de los hornos puede proceder de:

- Gases calientes producidos en la combustión de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos que calientan las piezas por contacto directo entre ambos o indirectamente a través de tubos radiantes o intercambiadores en general.
- Energía eléctrica en diversas formas:
  - Arco voltaico de corriente alterna o continua
  - Inducción electromagnética
  - Alta frecuencia en forma de dielectricidad o microondas
  - Resistencia óhmica directa de las piezas
  - Resistencias eléctricas dispuestas en el horno que se calientan por efecto Joule y ceden calor a la carga por las diversas formas de transmisión de calor. A los hornos industriales que se calientan por este medio se denominan hornos de resistencias.

**HISTORIA:** Horno de Pompeya. El horno tradicional era un recinto formado por una fábrica de tapial o adobes, que acababa convirtiéndose en un bloque de material de alfarería por la cocción por calor. Tenían forma de pequeña bóveda sobre una base plana y una sola abertura, la entrada. Se calentaba mediante un fuego de leña, que se dejaba consumir. El grosor, la inercia térmica de la envoltura, guarda el calor. La base donde se produce la combustión se limpia de cenizas y en ella se colocan los alimentos que deben asarse.

**TIPOS DE HORNOS:** En este apartado nombrare esencialmente los hornos de fusión de metales aunque existen otros tipos de hornos utilizados en la industria.

**CUBILOTES:** Los cubilotes son hornos cilíndricos verticales compuestos de una envoltura de chapa de acero dulce de 5 a 10mm. de espesor, con un revestimiento interior de mampostería refractaria de unos 250mm. de espesor. El horno descansa sobre cuatro columnas metálicas denominadas pies de sostén del cubilote.

El fondo de los cubilotes modernos lleva que se abren después de las

coladas, para vaciar todas las escorias acumuladas allí.

En el frente y a nivel del fondo llevan los cubilotes un agujero denominado piqueta de colada, para la extracción del metal fundido. A este agujero va adosado un canal de chapa con revestimiento refractario, que conduce el metal en estado líquido a las cucharas de colada o al antecrisol.

En la parte posterior del horno hay otro agujero para la extracción de las escorias, por lo que se denomina piqueta de escoria o escorial. La piqueta de escorias esta en un plano mas alto que la piqueta de colada. El volumen del metal fundido que puede contener el cubilote es el comprendido entre el plano horizontal que pasa por la piqueta de escorias y el fondo del cubilote, a cuyo nivel, como hemos dicho antes, esta la piqueta de colada.

Esta parte del cubilote se denomina crisol y su volumen está calculado para que pueda contener, como máximo, dos cargas metálicas fundidas.

A unos 200mm. por encima del plano de la piqueta de escorias se encuentra el plano de toberas de entrada de aire, espaciadas unas de otras regularmente en la circunferencia del cubilote y en la cantidad aproximada de una por cada 15cm. del diámetro del horno. En general, el numero de toberas oscila entre 4 y 8. Los cubilotes modernos llevan doble hilera de toberas con una caja especial de registro que permite enviar a una u otra hilera el aire. Así cuando se obtura alguna tobera, se envía el aire a las toberas de la otra hilera. Al quedarse sin viento la tobera se funde la escoria que la tapa y queda desobturada automáticamente. Inmediatamente por encima del plano de toberas esta situada una caja de viento que rodea el cubilote y que recibe y distribuye a las toberas el aire necesario para la combustión, que es suministrado por un ventilador (en la figura) a una presión de 300mm. a 1000mm. de columna de agua.

Y, por fin, a unos 3,5 a 4,5m. Por encima del plano de toberas se encuentra la plataforma y puerta de carga o tragante, por la que se introducen las cargas alternadas de metal y cok mezclado con el fundente, que generalmente es caliza ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ).

Termina el cubilote con una cámara también cilíndrica pero de menos diámetro, denominada cámara de chispas, donde se precipitan las partículas incandescentes que arrastran los gasesy que podrían producir incendios en los edificios vecinos.

**REFRIGERACIÓN POR AGUA.**- Los cubilotes modernos, que han de funcionar ininterrumpidamente largos periodos de tiempo, llevan camisas de agua para refrigeración de la zona de fusión; esta refrigeración exige un gasto de combustible algo mayor pero queda compensado con creces con el ahorro de refractario y gastos de reparación.

**CARGA MECÁNICA.**- Los cubilotes pequeños se cargan a mano, pero los grandes están provistos de montacargas verticales o inclinados, con descarga automática de las vagonetas en el tragante.

### **INSUFLACIÓN DE VIENTO CALIENTE**

Los cubilotes más modernos llevan instalación de precalentamiento del aire soplado hasta una temperatura de 400°C utilizando el calor sensible y el de combustión completa de los gases extraídos del mismo cubilote, que se queman en un recuperador, por el que pasa previamente el aire soplado antes de ser introducido en el horno.

El recalentamiento del aire soplado tiene las siguientes ventajas:

- 1°. Permite alcanzar temperaturas hasta de 1500°C, lo que facilita la obtención de fundiciones blancas y especiales y las adiciones en el canal y en la cuchara de coladas.
- 2°. Se ahorra combustible.
- 3°. Permite emplear cok de calidad inferior.

### **ANTECRISOL.**

La sangría del metal fundido, que en los cubilotes es intermitente, puede hacerse continua vertiendo el caldo en un antecrisol colocado junto a la piqueta de colada.

Estos antecrisoles pueden ser fijos, de ladrillo refractario o bien móviles y basculantes, construidos con chapa revestida con refractario. Algunos llevan también un sistema de caldeo para mantener fundido el metal. Los antecrisoles mejoran la calidad de a fundición haciéndola más homogénea, mejor desulfurada y con una mas completa separación de la escoria.

### **HORNOS DE REVERBERO**

Los hornos de reverbero se utilizan para la fundición de piezas de grandes dimensiones, tanto de metales férreos como de metales no férreos, como cobre latón, bronce y aluminio.

Los hornos de reverbero son de poca altura y gran longitud. En uno de los extremos se encuentra el hogar donde se quema el combustible, y en el extremo opuesto la chimenea. Las llamas y productos de la combustión atraviesan el horno y son dirigidos, por la bóveda de forma adecuada hacia la solera del horno, donde está situada la carga del metal que se desea fundir.

Esta carga se calienta, no solo por su contacto con las llamas y gases calientes sino también por el calor de radiación de la bóveda del horno de reverbero.

Aproximadamente, la superficie de la solera es unas tres veces mayor que la de la parrilla y sus dimensiones oscilan entre un ancho de 150 a 300cm. y una longitud de 450 a 1500cm. La capacidad de los hornos de reverbero es muy variable y oscila entre los 45 kg. a los 1000 kg. que tienen los empleados para la fusión de metales no férreos, hasta las 80 Tm. Que tienen los mayores empleados para la fusión de la fundición de hierro.

**HORNOS ROTATIVOS** Los hornos rotativos están formados por una envoltura cilíndrica de acero, de eje sensiblemente horizontal, que termina con dos troncos de cono, uno en cada extremo. En uno de los extremos está situado el quemador y en el otro la salida de los gases quemados, que generalmente pasan por un sistema de recuperación de calor para precalentar el aire de soplado antes de ser evacuados por la chimenea. Todo el interior del horno está revestido con un material refractario. El combustible puede ser gasoil o carbón pulverizado.

Los hornos rotativos se han considerado como hornos de reverbero perfeccionados, ya que además de calentarse la carga por el contacto de las llamas y gases y por la radiación de la bóveda caliente, se calienta también por el contacto directo con la parte superior del horno, que al girar queda bajo la carga. Con esto se consigue un notable acortamiento del tiempo de fusión, pues se logra evitar el efecto aislante de la capa de escorias, que flota sobre el baño, que en los hornos de reverbero ordinarios dificulta el calentamiento de la masa del metal.

La capacidad de los hornos rotativos para la fusión de los metales varía ordinariamente entre los 50 kg. y las 5 Tm. Aunque se han llegado a construir hornos para la fabricación del acero de hasta 100 Tm. Los hornos pequeños se hacen girar, y los hornos grandes mecánicamente. También se construyen hornos oscilantes que no llegan a girar, sino solamente oscilar de un lado a otro.

Los hornos rotativos se emplean para fundir toda clase de metales y aleaciones, como cobre, bronce, latón, aluminio, fundiciones, maleables, aceros, etc.

**HORNOS DE CRISOLES** Los crisoles son recipientes de arcilla mezclada con grafito y otras substancias, provistos de tapa para cierre hermético, que una vez cargados y cerrados se caldean en los denominados hornos de crisoles, utilizando como combustible carbón o, más modernamente, gasoil.

La fusión en crisoles es uno de los procedimientos más antiguos y sencillos para elaborar metales, y todavía se emplea, y probablemente se empleará siempre por la economía de su instalación sobre todo para fundir pequeñas cantidades.

Los hornos de crisoles clásicos eran de tipo de foso, y se colocaban en ellos los crisoles rodeados de carbón, a una distancia mínima de 10cm. de las paredes del horno.

Pero los hornos de crisoles más modernos se construyen para el caldeo de un solo crisol, cuya parte superior sobresale del horno. Si los hornos son fijos se extrae el caldo con cuchara, pero también se construyen hornos de crisol basculantes. En los que la colada resulta más cómoda.

En estos tipos de hornos se calienta primero el crisol vacío, hasta que llega al rojo cereza y después se carga.

La ventaja de los hornos de crisoles modernos, tanto fijos como basculantes, es que la carga queda totalmente aislada, y por tanto, no se altera su composición por efecto de los gases producidos en la combustión.

La duración de los crisoles no llega en general, a las veinticinco fusiones.

- Los hornos eléctricos tienen grandes ventajas para la fusión de los metales, siendo las más destacadas las siguientes:
- Pueden obtenerse temperaturas muy elevadas hasta de 3500°C en algunos tipos de hornos eléctricos.
- Puede controlarse la velocidad de elevación de temperatura, y mantener esta entre límites muy precisos, con regulaciones completamente automáticas.
- La carga queda por completo libre de contaminación del gas combustible.
- Puede controlarse perfectamente la atmósfera en contacto con la masa fundida, haciéndola oxidante o reductora a voluntad, e incluso en algún tipo de horno puede operarse en vacío.
- Tienen mayor duración los revestimientos que en los demás tipos de hornos.
- Se instalan en espacio reducido.
- Su operación se realiza con mayor higiene que la de los hornos otros tipos.

Los tipos fundamentales de hornos eléctricos son los que continuación se indican.

## **HORNOS ELÉCTRICOS DE ARCO.**

Los hornos eléctricos de arco están formados por una cuba de chapa de acero revestida de material refractario, provista de electrodos de grafito o de carbón amorfo. Los electrodos de carbón amorfo se forman en el mismo horno, llenando las camisas que llevan los porta electrodos de una mezcla formada por antracita, cok metalúrgico, cok de petróleo y grafito amasados con alquitrán.

Se emplean tres sistemas para producir el arco:

El arco no pasa por el baño, sino que salta entre los electrodos (horno Stassano). Este es el tipo más antiguo y apenas se emplea. El único horno de este tipo que aun se utiliza es el basculante, cuyo balanceo reparte perfectamente el calor acumulado por el refractario, ya que toda la superficie de este es bañada por el caldo al oscilar el horno. Estos hornos son monofásicos. Su capacidad oscila entre 25 y 250 kg., y se emplean para

fundir hierro y metales no féreos, como cobre, latones e incluso níquel. El tiempo de la operación dura de 30 a 60 minutos. En los hornos más modernos el balanceo es producido automáticamente por un motor, al que conmutadores de fin de carrera invierten en sentido de su marcha y producen el balanceo característico.

El arco se cierra entre los electrodos y el baño, a través del cual pasa corriente (horno girod).

Estos hornos tienen el inconveniente de que la solera debe ser conductora, generalmente construida con ladrillo de magnesita, y resulta frágil, por lo que han caído en desuso.

El arco salta entre los electrodos por intermedio del baño (Horno Heroult). Son los hornos más empleados, y aunque se construyen monofásicos, generalmente son trifásicos. Con los tres electrodos verticales dispuestos en los vértices de un triángulo equilátero. La cuba es cilíndrica, revestida con un material ácido o básico, que reposa sobre ladrillos sílico-aluminosos ordinarios. La bóveda está revestida de ladrillos de sílice, que resisten temperaturas de hasta 1600°C, y es desplazable para facilitar la carga.

El cierre de estos hornos es hermético, logrando la estanqueidad de los orificios de paso, por medio de cilindros refrigerados por camisas de agua, que prolongan además la vida de los electrodos.

Los hornos modernos trabajan a tensiones comprendidas entre los 125 y 500 voltios, obteniéndose dentro de cada tensión la regulación de la intensidad y, por tanto, de la potencia del horno, por el alejamiento o acercamiento de los electrodos al baño, lo que se realiza automáticamente.

Casi todos los hornos de este tipo son basculantes para facilitar la colada.

Los más modernos llevan un sistema de agitación electromagnética del baño por medio de una bobina montada bajo la solera del horno.

Los hornos eléctricos de arco se emplean para la fusión de acero, fundición de hierro, latones, bronce, aleaciones de níquel, etc.

#### Hornos eléctricos de inducción

En los hornos eléctricos de inducción, el calor se genera por corrientes inducidas por una corriente alterna. Se distinguen tres clases de hornos de inducción:

Hornos de baja frecuencia. En estos hornos el calor se produce por el efecto joule de la corriente inducida en el metal que se trata de fundir, que actúa como arrollamiento secundario de un transformador. Los primeros modelos estaban formados por un crisol en forma de anillo que constituía la espira del secundario de un transformador, cuyo primario estaba conectado a la red. Pero en la actualidad los hornos de esta clase están formados por un crisol cuyo fondo está en comunicación con un conducto circular, que forma la espira secundaria del transformador de inducción. El metal contenido en el conducto es el que se funde, desplazándose su masa y

comunicando el calor al resto del material.

Hornos de alta frecuencia. En los hornos de alta frecuencia el calor lo producen las corrientes de Foucault, ordinariamente consideradas como parásitas, inducidas en el metal, que actúa como núcleo de un solenoide o arrollamiento primario. Estos hornos están formados por un crisol refractario que contiene el metal, rodeado de un arrollamiento de tubo de cobre por el que circula una corriente de alta frecuencia, que crea un campo magnético variable, calentándose la masa de metal contenida en el crisol por las corrientes de Foucault inducidas por el campo magnético. El tubo de cobre del arrollamiento que rodea el crisol está refrigerado por agua que circula en su interior. En general las frecuencias de las corrientes eléctricas para la alimentación de este tipo de hornos, varía de 300 a 30000 ciclos por segundo, producidas por osciladores de tubos catódicos. La potencia del horno y por tanto, la temperatura, se regula variando la frecuencia. Los hornos eléctricos de alta frecuencia tienen la ventaja de que en ellos puede fundirse cualquier metal o aleación en las condiciones más rigurosas, en atmósferas especiales o al vacío, ya que los hornos pueden trabajar herméticamente cerrados.

Tienen el inconveniente de su elevado coste de instalación, que todavía encarece mas la necesidad de instalar condensadores para mejorar el factor de potencia que es muy bajo. Por todo esto no se emplean, generalmente, mas que para fundir metales preciosos, níquel y aleaciones de níquel, aceros inoxidable y en experiencias de laboratorio.

Hornos electrónicos. En los hornos electrónicos el calor se produce por la vibración molecular del cuerpo que se trata de calentar cuando es sometido a un fuerte campo de radiaciones electromagnéticas de muy alta frecuencia (frecuencias de radio). Estos hornos también denominados de pérdidas dieléctricas, se emplean para aplicaciones para las que sus cualidades específicas los hagan muy superiores, desde el punto de vista técnico, a los demás hornos, compensando así el mayor coste de la fusión.

### **CUALIDADES DE LOS HORNO ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN.**

Los hornos eléctricos de inducción se emplean cada día más para la fusión de metales, pues tienen las siguientes cualidades:

- Su rendimiento es muy elevado, por generarse calor únicamente en la masa metálica a fundir.
- Las corrientes electromagnéticas que circulan por el metal producen movimientos en la masa fundida, que uniformizan su composición.
- La temperatura puede regularse con gran precisión.
- Con estos hornos es posible fundir en vacío.
- Las pérdidas por volatilización y oxidación son muy reducidas.

### Hornos eléctricos de resistencia

En los hornos eléctricos de resistencia, el calor está producido por el efecto Joule al circular una corriente eléctrica por una resistencia. Se fabrican dos clases de hornos de este tipo para fusión de metales, que son los siguientes:

#### **HORNOS ELÉCTRICOS DE CRISOL**

Estos hornos están formados por un crisol rodeado por cintas o varillas de aleaciones de níquel-cromo de alta resistividad que se calienta fuertemente al circular por ellas la corriente eléctrica. Estos hornos sólo se emplean para fundir aleaciones de bajo punto de fusión, como las de soldadura, tipos de imprenta, aleaciones antifricción para cojinetes y aleaciones de aluminio.

#### **HORNOS ELÉCTRICOS DE REVERBERO.**

Se construyen actualmente dos clases de hornos, de resistencia metálica y de resistencia de grafito. En los hornos eléctricos de resistencia metálica, se produce el calor al circular la corriente eléctrica por resistencias de aleación níquel-cromo de gran sección, alojadas en la bóveda del horno. Estos hornos se utilizan exclusivamente para aleaciones cuya temperatura de fusión sea inferior a 1000°C. Los hornos eléctricos de resistencia de grafito, están formados por una envuelta cilíndrica, por cuyo eje horizontal, pasa una barra de grafito, que se calienta al circular por ella la corriente eléctrica. Estos hornos son oscilantes, lo que permite bañar con el metal líquido todo el revestimiento refractario y aprovechar así, directamente, el calor acumulado por este. Los hornos de resistencia de grafito se emplean para la fusión de fundiciones especiales y aleaciones de cobre a temperaturas que pueden llegar hasta los 1350°C.

### **BALANCE ENERGETICO**

#### **GENERALIDADES**

El balance energético de un horno varía fundamentalmente de un horno continuo a uno intermitente. En los hornos continuos interviene la producción en kg/h o en t/h, mientras que en los intermitentes es más importante la carga introducida en cada operación en kg o en t.

La temperatura en los hornos continuos es prácticamente constante en cada zona a lo largo del tiempo, y la temperatura de la carga varía a lo largo del horno desde la entrada hasta la salida.

En los hornos intermitentes la temperatura de la carga varía a lo largo del tiempo, pero se mantiene relativamente constante en todo el horno en un instante dado.

Respecto a los hornos intermitentes deben distinguirse:

- Los procesos en los que la temperatura de regulación del horno permanece prácticamente constante.
- Los procesos en los que la temperatura del horno sigue un ciclo de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento sin extraer la carga del interior del horno. En los primeros, al introducir la carga, baja,



evidentemente, la temperatura del horno, se enfría el revestimiento, aunque cede su calor a la carga, pero la energía cedida por los elementos calefactores se utiliza e calentar el revestimiento nuevamente y la carga hasta la temperatura de regulación del horno, cuyo valor de consigna ha permanecido constante.

En los segundos, al introducir la carga, el horno está a baja temperatura y se calientan simultáneamente la carga y el revestimiento con todos los elementos del interior del horno.

Después de un periodo de mantenimiento a la temperatura fijada, la carga se enfría en el interior del horno juntamente con el revestimiento. Es fundamental, por tanto, el calor absorbido por el revestimiento, durante el calentamiento, y cedido en el enfriamiento.

Debe aclararse que el concepto de temperatura del horno es bastante convencional:

- Los elementos calefactores (llamas o resistencias eléctricas conectadas) tendrán la mayor temperatura.
- La carga, incluso al final del periodo de calentamiento, estará a menor temperatura.
- El revestimiento tendrá probablemente, una temperatura mayor a la de la carga e inferior a la de los elementos calefactores. Un termopar con su caña de protección señalará una temperatura intermedia entre las tres citadas que se denomina temperatura del horno.

## **COMPONENTES BÁSICOS DEL BALANCE ENERGÉTICO**

El consumo de energía de un proceso en un horno industrial es una de sus características principales. Se determina calculando los componentes del balance energético, cuando se trata del diseño, o midiéndolos en su funcionamiento real, cuando se trata de un horno construido.

El balance energético se establece tomando como base la producción horaria, en los hornos continuos, y el ciclo completo de una carga, en los hornos intermitentes. Sin embargo, es frecuente que muchos hornos continuos funcionen únicamente durante uno o dos turnos de trabajo al día, por lo que las pérdidas de calor, durante las horas de parada del horno, deben también tenerse en cuenta. En todo balance energético es fundamental que las condiciones al final del periodo en que se hacen las mediciones sean las mismas que al comienzo. Por ello, en los hornos intermitentes las mediciones cubren una carga completa o un ciclo completo, y en los hornos continuos las condiciones de trabajo deben ser lo suficientemente constantes como para que las pequeñas variaciones que se produzcan sean despreciables.

Entre los componentes de un balance energético se distinguen los que suponen aportación de calor al proceso y los que absorben calor del sistema.

## **APORTACIÓN DE CALOR**

- Por las resistencias de calentamiento. Durante el calentamiento de la carga las resistencias están conectadas todo el tiempo, por lo que aportan al horno su potencia nominal, hasta que hasta que la temperatura llega a la de regulación, instante a partir del cual se reduce la potencia conectada. Esto se produce utilizando energía eléctrica para calentar el horno, si se utilizara otro tipo de medio para calentar el horno la temperatura no se regularía tan fácilmente. En los hornos provistos de ventiladores de recirculación debe tenerse en cuenta la energía aportada por dichos ventiladores al interior del horno, que es la energía absorbida en el eje del ventilador y transformada íntegramente en calor, dicha energía disminuye sensiblemente al aumentar la temperatura del horno.
- Calor de reacciones exotérmicas. En hornos de recalentar para la industria siderúrgica; se incluye aquí el calor producido en la oxidación de la carga que da lugar a la formación de la cascarilla.
- Absorción de calor
- Calor útil requerido para calentar y/o fundir la carga.
- Calor perdido por la escoria. Debe tenerse en cuenta sobre todo en los hornos de fusión.
- Calor a contenedores y soportes de carga.
- Calor de reacciones endotérmicas. Es tipo de los hornos de calcinación y de fusión.
- Pérdidas de calor por conducción a través de las paredes.
- Pérdidas de calor por aberturas.
- Pérdidas de calor por el agua de refrigeración.
- Pérdidas del calor acumulado en el revestimiento.
- Pérdidas de calor incontroladas o que resultan imposibles de medición.

## **BALANCE ENERGÉTICO EN FUNCIONAMIENTO ESTABLE**

Denominamos funcionamiento estable de un horno al que es repetitivo a lo largo del tiempo en cuanto a las condiciones de trabajo, sin paradas o cambios importantes en el proceso, sobre todo de temperatura. En un horno continuo supone constancia en las cargas, temperaturas de regulación de las diferentes zonas, velocidades de avance o tiempos de tratamientos constantes a lo largo de un periodo prolongado sin paradas durante la noche, fines de semana, etc.

En un horno discontinuo, que opera por ciclos con enfriamiento del horno, dichos ciclos se repiten sucesivamente sin cambios en las cargas y temperaturas de proceso. Tiene especial importancia el calor almacenado en

el revestimiento, del cual una parte importante se pierde en cada ciclo. En los hornos intermitentes de fusión o de mantenimiento, se mantienen constantes las temperaturas del proceso, siendo irrelevantes en el balance energético las pérdidas por calor almacenado.

En el funcionamiento de un horno debe verificarse:  
Calor aportado = Calor absorbido

Indico a continuación dos balances energéticos para un horno continuo y otro discontinuo.

### **HORNO CONTINUÚO**

- Potencia a la carga útil.....  $q_u = 58\%$   
 Potencia a las bandejas.....  $q_{ct} = 20\%$   
 Pérdida por las paredes.....  $q_p = 11\%$   
 Perdida por las puertas.....  $q_r = 7\%$   
 Calentamiento de la atmósfera.....  $q_a = 4\%$   
 Potencia media total.....  $p_m = 100\%$

### **HORNO INTERMITENTE.**

- Energía útil a la carga.....  $q_u = 50\%$   
 Energía a los contenedores.....  $q_{ct} = 20\%$   
 Pérdidas por las paredes.....  $q_p = 26,8\%$   
 Perdidas por radiación en desplazamiento.....  $q_r = 2\%$   
 Perdidas adicionales.....  $q_{in} = 1,2\%$   
 Consumo total.....  $ct = 100\%$

Tanto en hornos continuos como intermitentes, no deben olvidarse dos componentes del consumo energético:

Calor de vaporización de los líquidos que se introduzcan en el horno por requerimientos del proceso y de la posterior disociación del líquido en componentes químicos más elementales.

Calor de vaporización del agua o líquido arrastrado por las piezas de un proceso anterior.

### **BALANCE ENERGÉTICO EN FUNCIONAMIENTO REAL**

El balance energético en funcionamiento estable (producción nominal del horno sin variar las condiciones de trabajo) es aplicable a unos periodos no muy extendidos en el tiempo, ya que en su funcionamiento real es frecuente:

Un cambio en las condiciones del proceso.

Operar con diferentes cargas o producciones de trabajo.

Realizar paradas por: modificaciones en los procesos posteriores al horno, exigencias de mantenimiento, paradas en las que el horno se desconecta o se mantiene a temperaturas reducidas, etc.

Un cambio de los parámetros de funcionamiento del horno puede suponer un considerable aumento de la energía consumida. Si es preciso elevar las temperaturas de regulación de las distintas zonas que componen el horno, es

necesario, por una parte calentar el horno a las mayores temperaturas, lo que requiere energía, y además parar la producción del horno hasta que se alcance el nuevo régimen, lo que da lugar a pérdidas de calor sin producción. La energía requerida para calentar el horno y las pérdidas de calor, durante el tiempo de calentamiento sin producción, pueden elevar considerablemente el consumo medio.

Si el horno va a operar a un régimen de temperaturas inferior al anterior, es preciso destinar un tiempo de enfriamiento sin producción, durante el que las pérdidas de calor se mantienen prácticamente constantes y que deberán tenerse en cuenta en el balance energético correspondiente.

Los tiempos de calentamiento o enfriamiento antes citados son reducidos en hornos con aislamientos a base de fibras cerámicas, pero pueden ser de varias horas cuando se han utilizados ladrillos u hormigones refractarios y aislantes.

El consumo en los periodos de mantenimiento a temperatura tiene una gran importancia en el consumo energético medio correspondiente a un periodo prolongado.

Además, deben considerarse los períodos de parada total, a los que sigue un calentamiento del horno hasta su puesta a temperatura de régimen que exige una gran cantidad de energía y que, para evitar daños en el revestimiento (a causa del dilatamiento que sufre el revestimiento al aumentar la temperatura), debe hacerse a una velocidad adecuada.

Es frecuente que el calculo del balance energético en funcionamiento estable se haga con meticulosidad, desglosando en detalle todos sus componentes, mientras que el calculo de los consumos energéticos en los periodos de mantenimiento y de parada parcial o total se realice de una forma aproximada y poco minuciosa, lo que puede conducir a una estimación del consumo energético medio muy inferior al real. Es cierto que el calculo de los consumos en los periodos de calentamiento del horno, es complejo y requiere una cierta experiencia deducida de experiencias anteriores, pero es muy peligroso deducir cifras de consumo sin cálculos adecuados, ya que los errores pueden ser muy importantes cuantitativamente.