

UNIDAD DE GESTIÓN DEL PROYECTO



Curso de capacitación: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SERVICIOS AUXILIARES: Hornos industriales

Expositor: Ing. Victor Arroyo – Consultor Nacional Proyecto ZIS
Lima, 08 al 22 de julio de
2021

Operado por:



Punto focal The GEF:



Financiado por:



Implementado por:



MÓDULO 5

Eficiencia en hornos industriales

1. Introducción
2. Eficiencia en hornos
3. El flujo de calor en hornos
4. Factores que afectan la eficiencia y economía
5. Recuperación de calor residual
6. Fuentes de energía

Introducción

Función de los hornos industriales:

Las funciones principales de un horno industrial son:

- Calentar
- Fundir
- Bañar piezas
- Tratar materiales a temperaturas dadas.

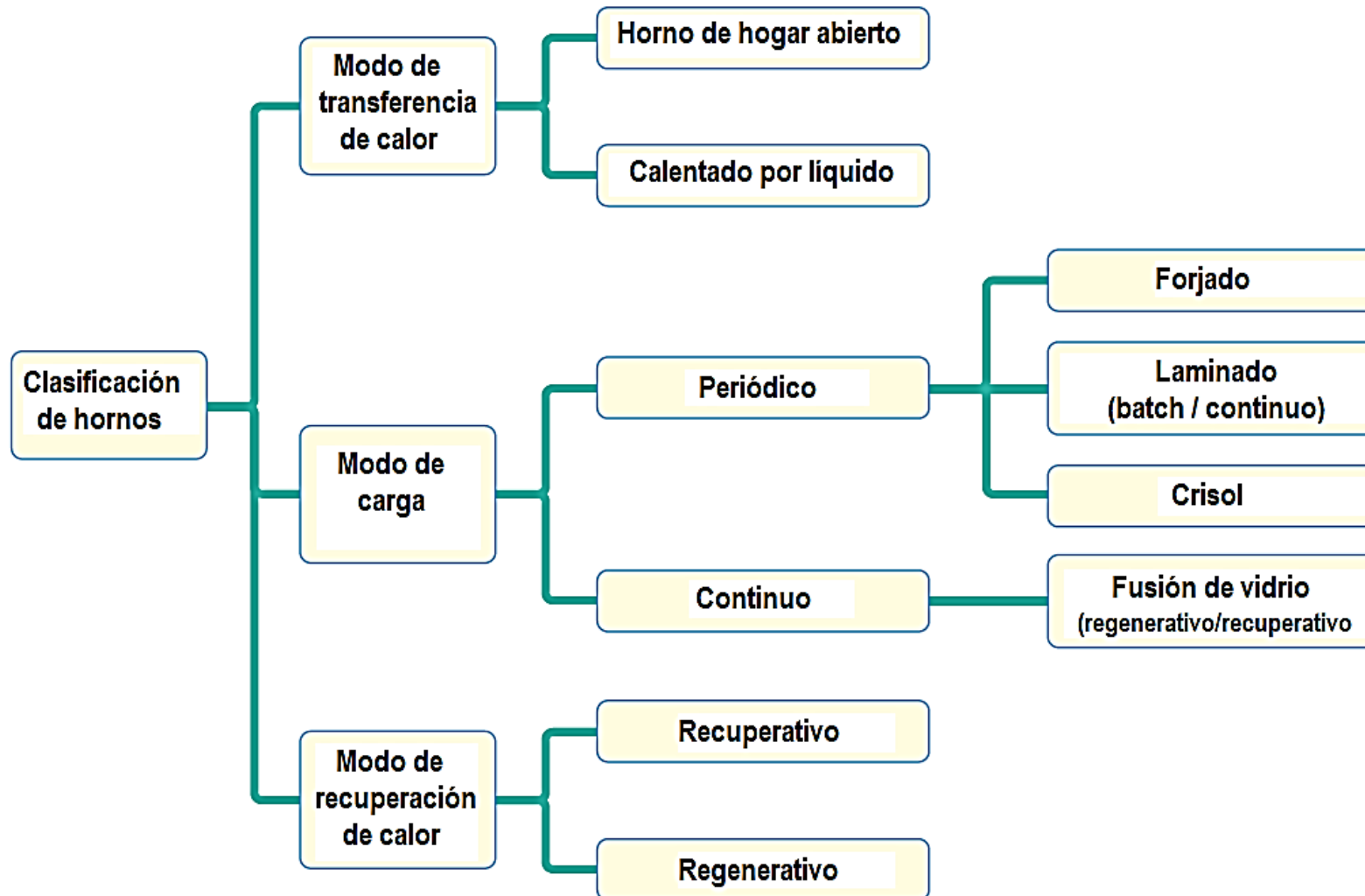
Utilizan como fuentes de energía:

- Combustibles: Gas natural, GLP, Diésel B5, Petróleo industrial, Carbón.
- Electricidad: por inducción, resistencias.



Introducción

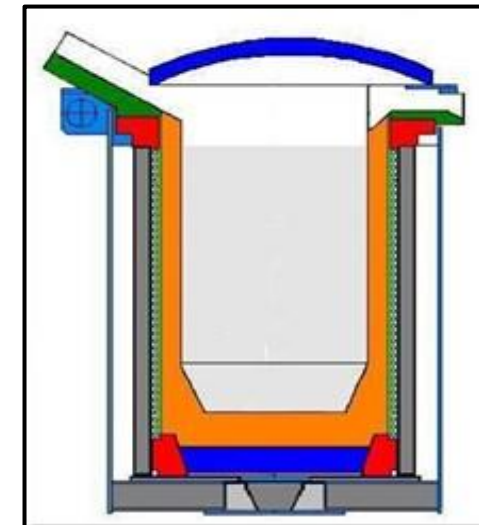
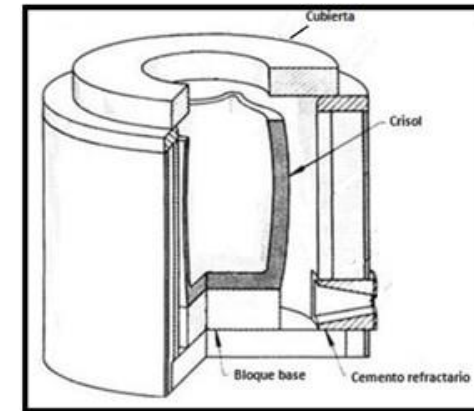
Clasificación de los hornos industriales:



Introducción

Como parte del Proyecto ZIS, en las visitas realizadas a las empresas participantes, se han reconocido los siguientes tipos de hornos:

- Horno para baño de zinc
- Horno de crisol para fundición
- Horno de cocimiento de ladrillo
- Horno rotatorio de fusión
- Horno de tratamiento térmico
- Horno de vidrio
- Horno de inducción para



Eficiencia en hornos


Para un horno industrial la eficiencia se define:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Calor absorbido por la carga}}{\text{Calor entregado por el combustible}}$$

En términos reales se usa el siguiente indicador de consumo específico (CE):

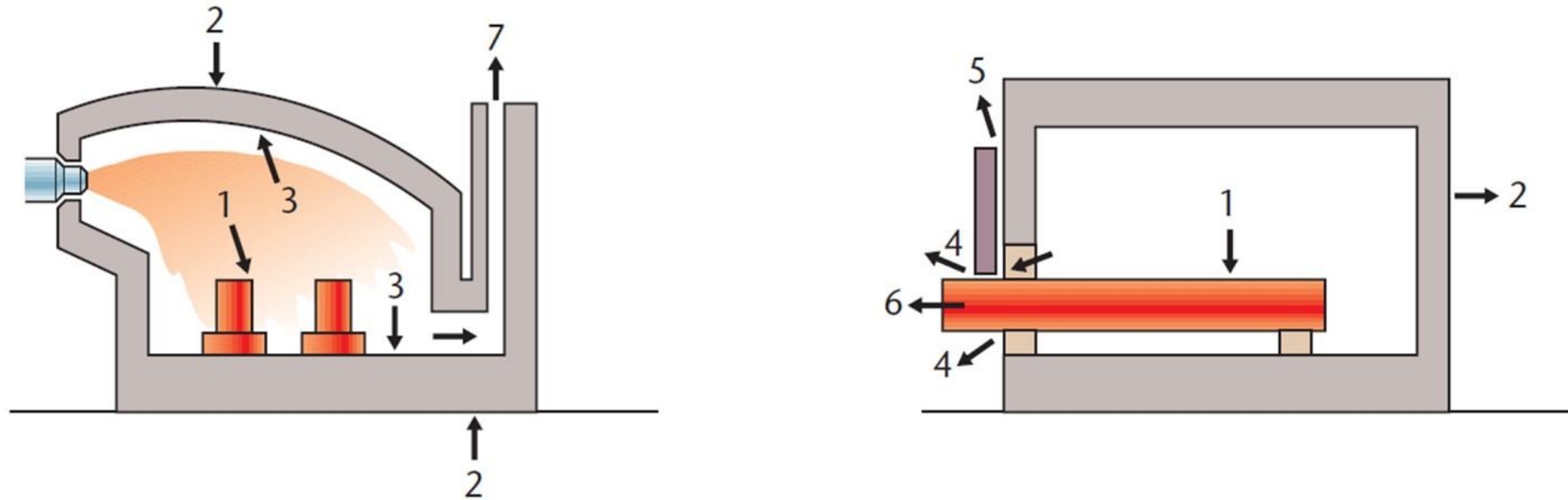
$$\text{CE} = \frac{\text{Cantidad de combustible gastado}}{\text{Peso de carga calentada}}$$

A diferencia de las calderas (eficiencias 80-83%) los hornos pueden tener eficiencias tan bajas como 5%, ello por las pérdidas de calor con los gases.



El flujo de calor en hornos

Usualmente la distribución del calor en un horno es como sigue:



1 = Carga

2 = Suelo y alrededores

3 = Hogar

4 = Aberturas y grietas

5 = Puerta

6 = Carga sobresaliente

7 = Chimenea

Ser eficiente implica que la fracción de calor que pasa a la carga sea lo máximo posible y que las pérdidas sean mínimas.

Factores que afectan la eficiencia y economía

Combustión completa con mínimo exceso de aire:

Se tiene que tomar en cuenta:

- Mantenimiento del sistema de combustión.
 - ✓ Bombas
 - ✓ Filtros
 - ✓ Válvula moduladora de combustible
 - ✓ Ventilador
 - ✓ Quemador
- Monitoreo del exceso de aire (analizador de gases).
- Infiltración de aire.
- Presión del aire de combustión.
- Tiro.



Factores que afectan la eficiencia y economía

Combustión completa con mínimo exceso de aire:

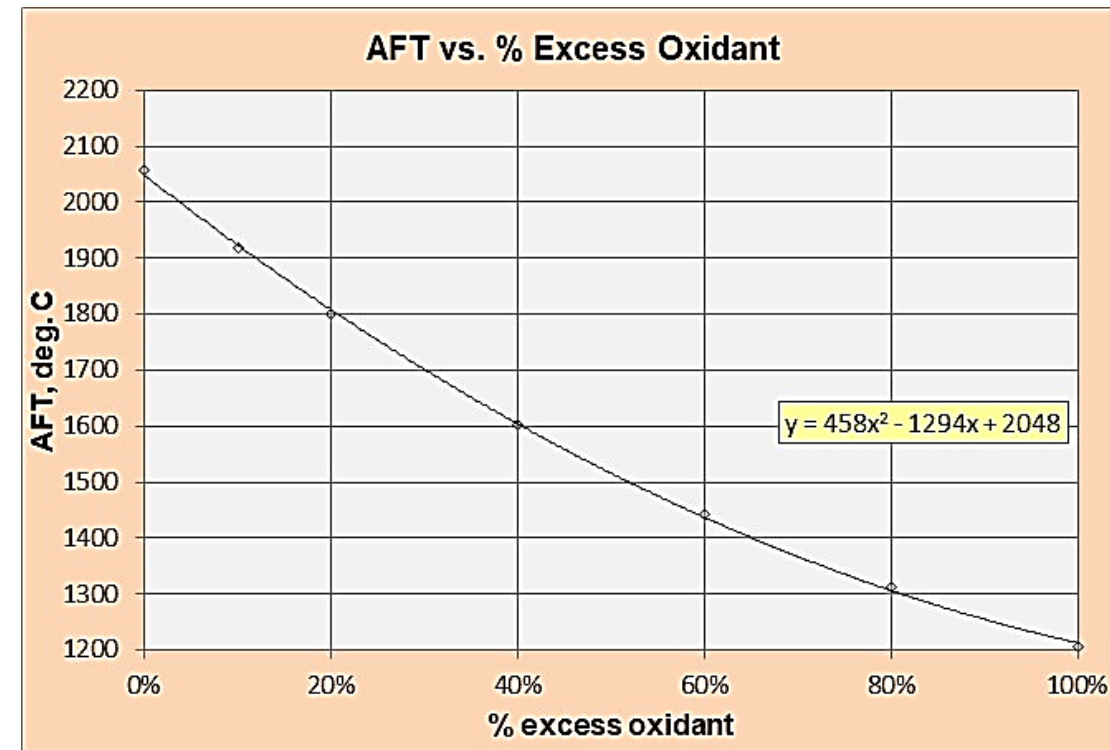
Mucho exceso de aire causa:

- Aumenta en demasía las pérdidas por chimenea.
- Reduce la temperatura de llama.
- Reduce la temperatura del horno.
- Reduce la velocidad de calentamiento.

Si hay muy poco exceso de aire:

- Ocurre combustión incompleta.
- Los inquemados (CO, HC) salen por chimenea sin aprovecharse su energía.

Temperatura de llama GN vs. Exceso de aire



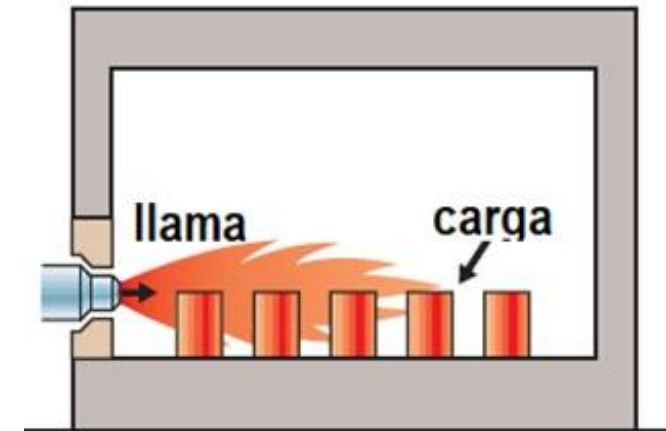
Factores que afectan la eficiencia y economía

Distribución de calor adecuada:

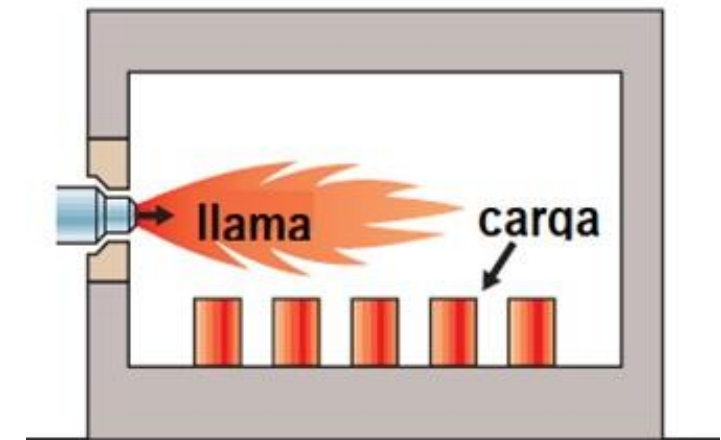
Un horno se diseña para calentar material de una manera uniforme a una temperatura dada y con el mínimo consumo de combustible.

Considerar lo siguiente:

- 1) La llama no debe tocar el material. El contacto enfría la llama y produce hollín.
- 2) Los refractarios se dañan por contacto con la llama (reacción con productos de combustión incompleta).
- 3) Las llamas deben estar alejadas una de otra. Si se tocan se produce combustión ineficiente.



Incorrecto

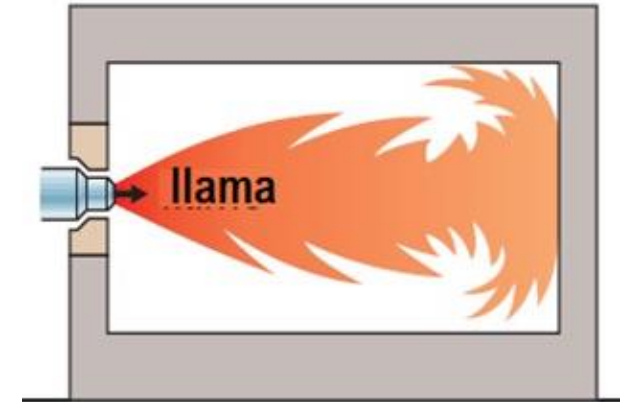


Correcto

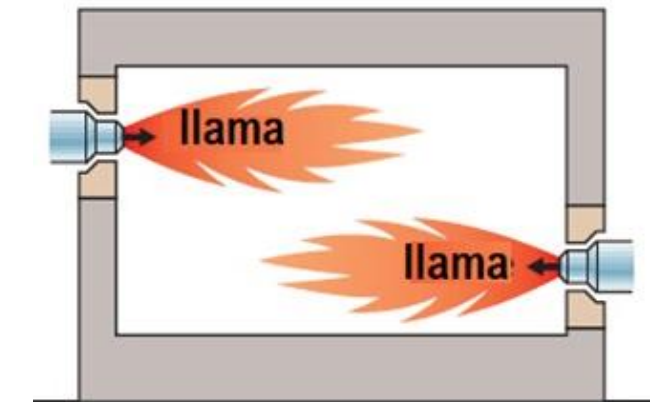
Factores que afectan la eficiencia y economía

Distribución de calor adecuada:

- 4) La llama nunca debe incidir en el techo.
- 5) Varios quemadores pequeños de poca capacidad dan una mejor distribución del calor en el horno que uno grande.
- 6) En hornos pequeños a Diésel no permitir llamas muy largas que entran a la chimenea y aberturas. Esta práctica se usa para aumentar la producción, pero ayuda marginalmente.
- 7) Es deseable tener una cámara de combustión adecuada a la tasa de liberación de calor.



Incorrecto



Correcto



Factores que afectan la eficiencia y economía

Operar a la temperatura deseada:

Hay una temperatura óptima para el calentamiento o fusión en un horno.

Operar a una temperatura demasiado alta puede resultar en:

- Derroche innecesario de energía.
- Recalentamiento de la carga.
- Deterioro del refractario por oxidación excesiva y descarbonización
- Estrés térmico de refractarios.

Por ello es de suma importancia tener instrumentos de control de temperatura.

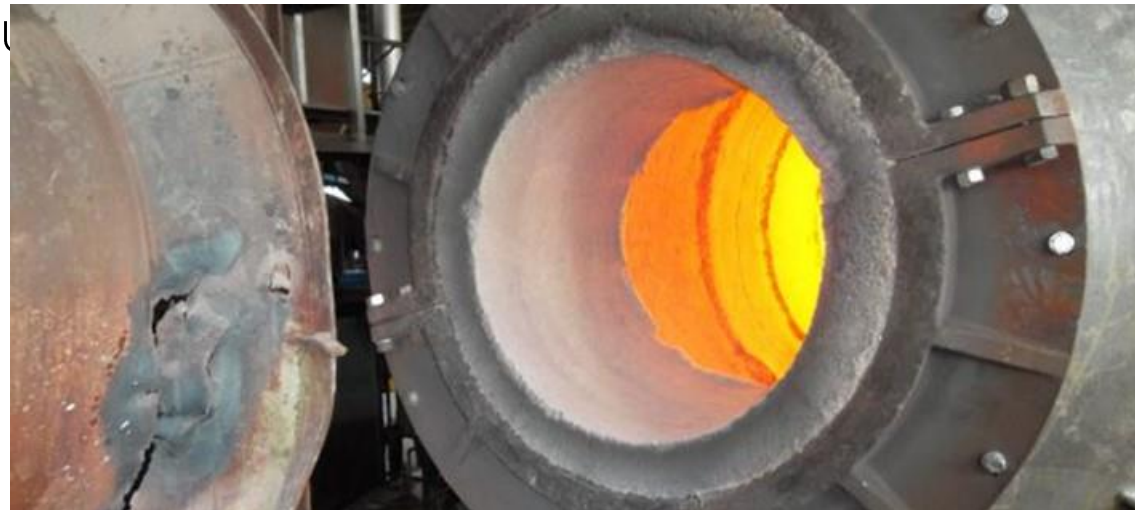


Factores que afectan la eficiencia y economía

Reducir pérdidas de calor por aberturas:

En los hornos se producen grandes pérdidas de calor a través de aberturas.

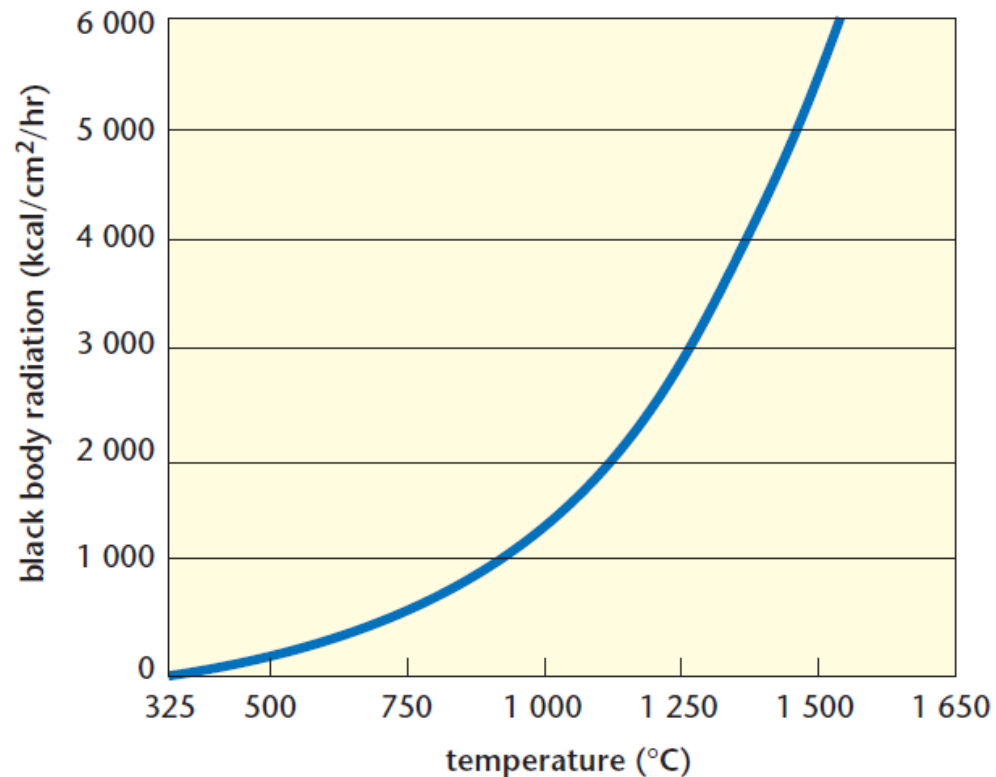
La pérdida se puede calcular multiplicando la radiación de cuerpo negro a la temperatura del horno por la emisividad (0,8 para ladrillos) y el factor de radiación en aberturas.



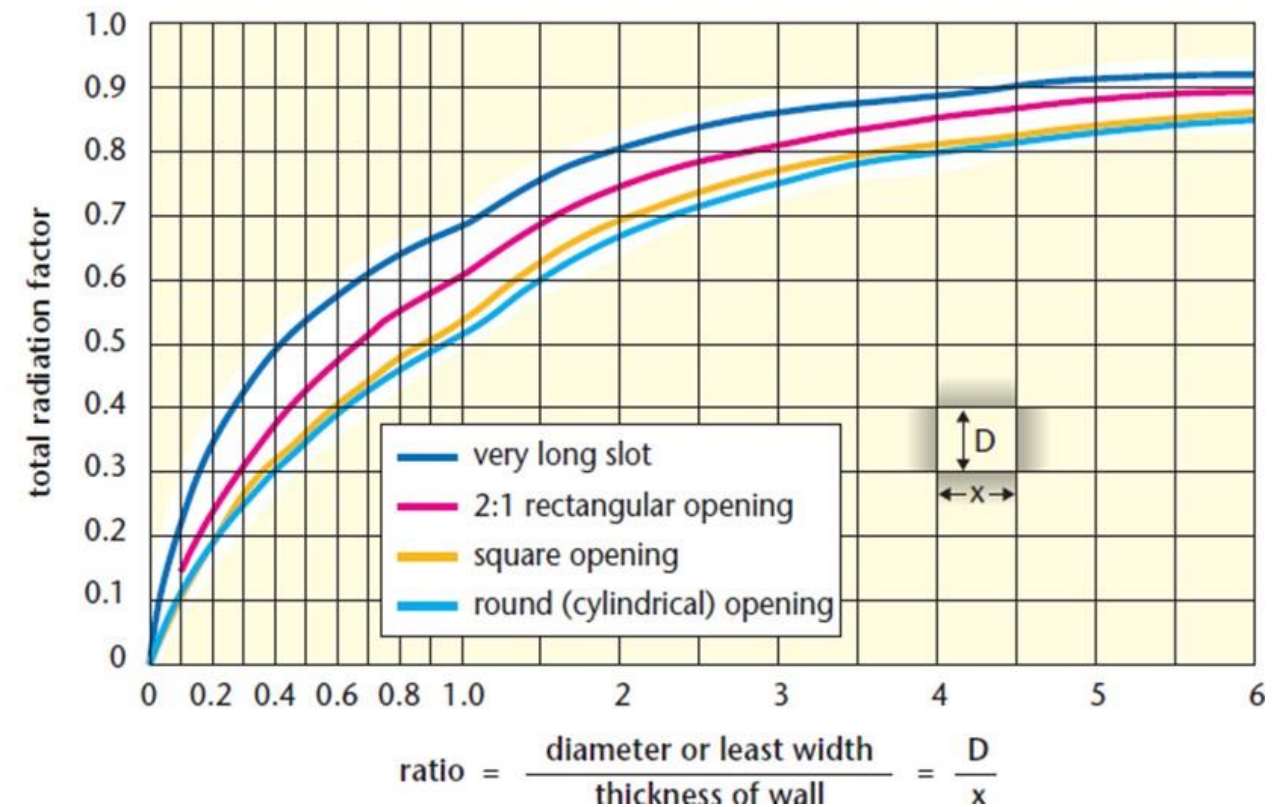
Factores que afectan la eficiencia y economía

Reducir pérdidas de calor por aberturas:

a) Black body radiation



b) Radiation through openings of various shapes



Ejemplo: Temp. Horno 1250°C. Abertura 0.3m diam. Espesor pared 0.2m. Ratio=1.5. Factor radiación=0.6.

Radiación x abertura = 3000 kcal/cm²/h x 0.8 x 0.6 x 707 cm² = 1 millón kcal/h (117 m³/h GN)

Factores que afectan la eficiencia y economía

Minimizar las pérdidas por paredes:

- En hornos intermitentes o continuos, las pérdidas de calor son de 30 a 40% de la energía del combustible.
- La elección adecuada de refractarios y aislantes contribuyen mucho al ahorro de combustible.
- En hornos intermitentes, una buena elección del refractario aislante puede reducir el almacenamiento de calor en paredes y el tiempo para alcanzar la temperatura hasta 60-70%.

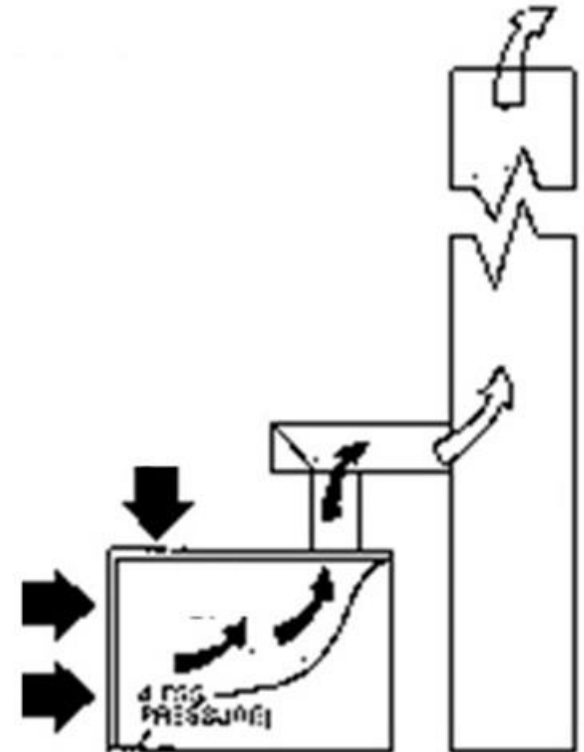


Factores que afectan la eficiencia y economía

Control del tiro del horno:

En cualquier horno debe evitarse el ingreso de aire libre no controlado por aberturas y fisuras.

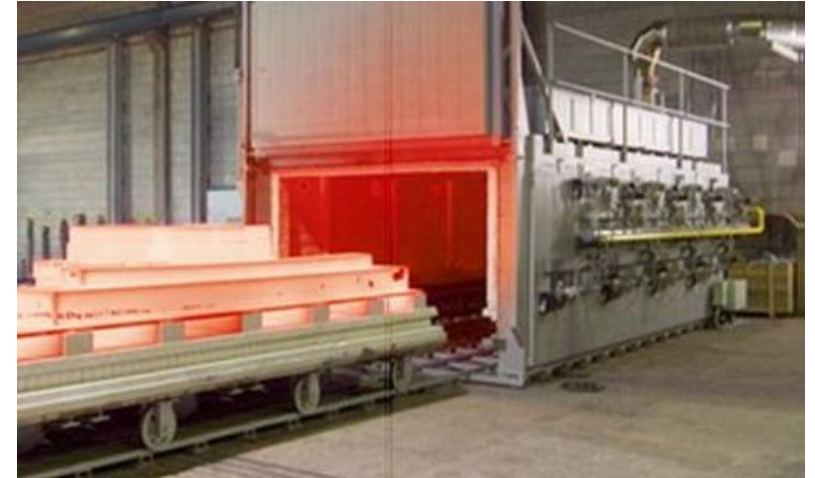
- El aire infiltrado afecta:
 - El control del exceso de aire en quemadores.
 - El calentamiento uniforme de metales y posteriores operaciones
- Es mejor mantener una ligera sobrepresión para evitar la infiltración.



Factores que afectan la eficiencia y economía

Carga del horno:

- La carga afecta mucho la eficiencia de un horno.
- Hay una carga particular donde el horno alcanza su máxima eficiencia térmica.
- La carga óptima se obtiene por ensayo, teniendo en cuenta:
 - ✓ El peso del material colocado en cada carga.
 - ✓ El tiempo que tarda en alcanzar una temperatura determinada.
 - ✓ La cantidad de combustible utilizado.
- Tener en cuenta limitaciones por disponibilidad de carga u otros factores fuera del control operativo.



Factores que afectan la eficiencia y economía

Colocación de la carga en el horno:

La carga debe colocarse en el horno de tal manera que:

- Reciba la máxima radiación de las superficies calientes y las llamas.
- Los gases circulen bien alrededor de las superficies receptoras de calor.
- No haya superposición que de como resultado falta de uniformidad de temperatura.

La carga no debe colocarse en las siguientes posiciones:

- Alineado con los quemadores o donde la llama pueda incidir.
- En un lugar que pueda restringir la salida hacia la chimenea del horno.
- Cerca puertas o aberturas donde hay posibilidad de zonas frías.

Factores que afectan la eficiencia y economía

Tiempo de residencia de la carga en el horno:

La carga debe permanecer en el horno el tiempo mínimo requerido para lograr las propiedades físicas y metalúrgicas requeridas, luego retirarse.

Factores que demora el retiro:

- Conformidad de laboratorio de control calidad.
- Alguna operación secuencial no está lista.
- Algún desperfecto del mecanismo de retiro o apertura.

Recuperación de calor residual en hornos

Calor residual:

- Las hornos generan grandes cantidades de gases de combustión calientes (hasta 1300°C en algunos casos).
- Si parte del calor residual se recupera, se puede ahorrar mucha de la energía alimentada al horno.

Fuentes de calor residual en hornos		
<u>Item</u>	Fuente	Calidad
1	Calor en gases de chimenea	A mayor temperatura mayor será el valor potencial de la recuperación de calor
2	Calor en agua de enfriamiento	Grado bajo: hay beneficio si el calor se intercambia con agua fresca entrante
3	Calor almacenado en productos	La calidad depende de la temperatura



Recuperación de calor residual en hornos

Recuperación de calor de gases de chimenea:

Considerables ahorros se pueden lograr recuperando calor para precalentar aire de combustión.

Los equipos usados para intercambiar calor entre los gases calientes y el aire son :

Recuperadores:

El intercambio de calor tiene lugar entre los gases de combustión y el aire a través de paredes metálicas o cerámicas.

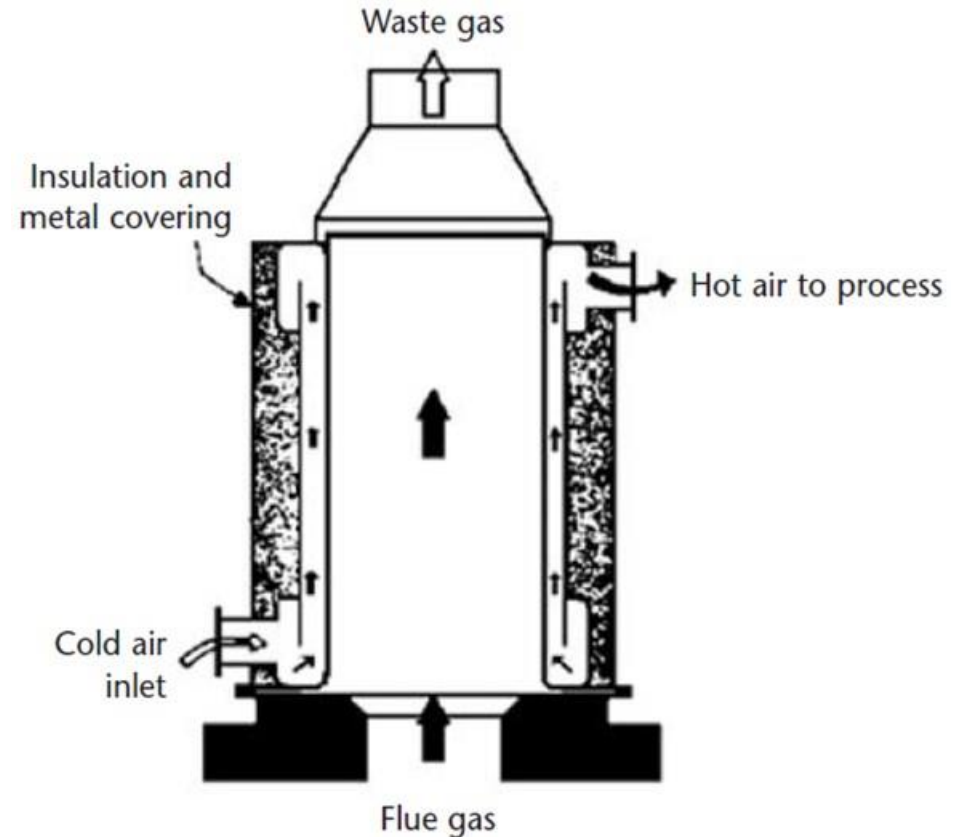
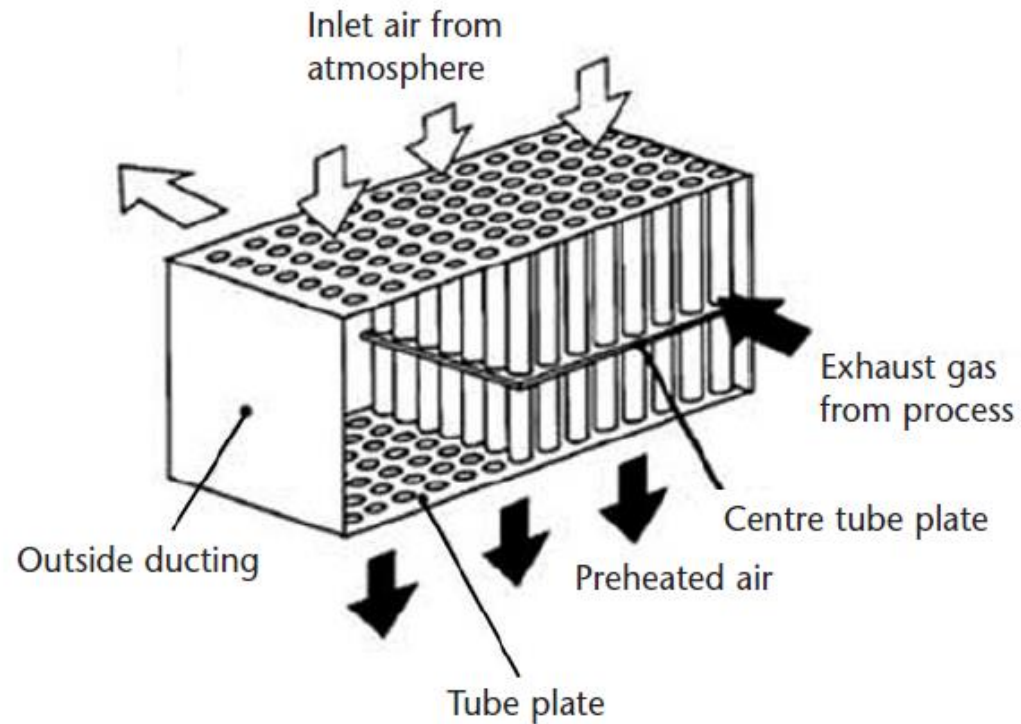
Regeneradores:

Los gases calientes y el aire a calentar se hacen pasar alternadamente a través de un medio de almacenamiento de calor, habiendo una transferencia de calor.

Recuperación de calor residual en hornos

Recuperación de calor de gases de chimenea:

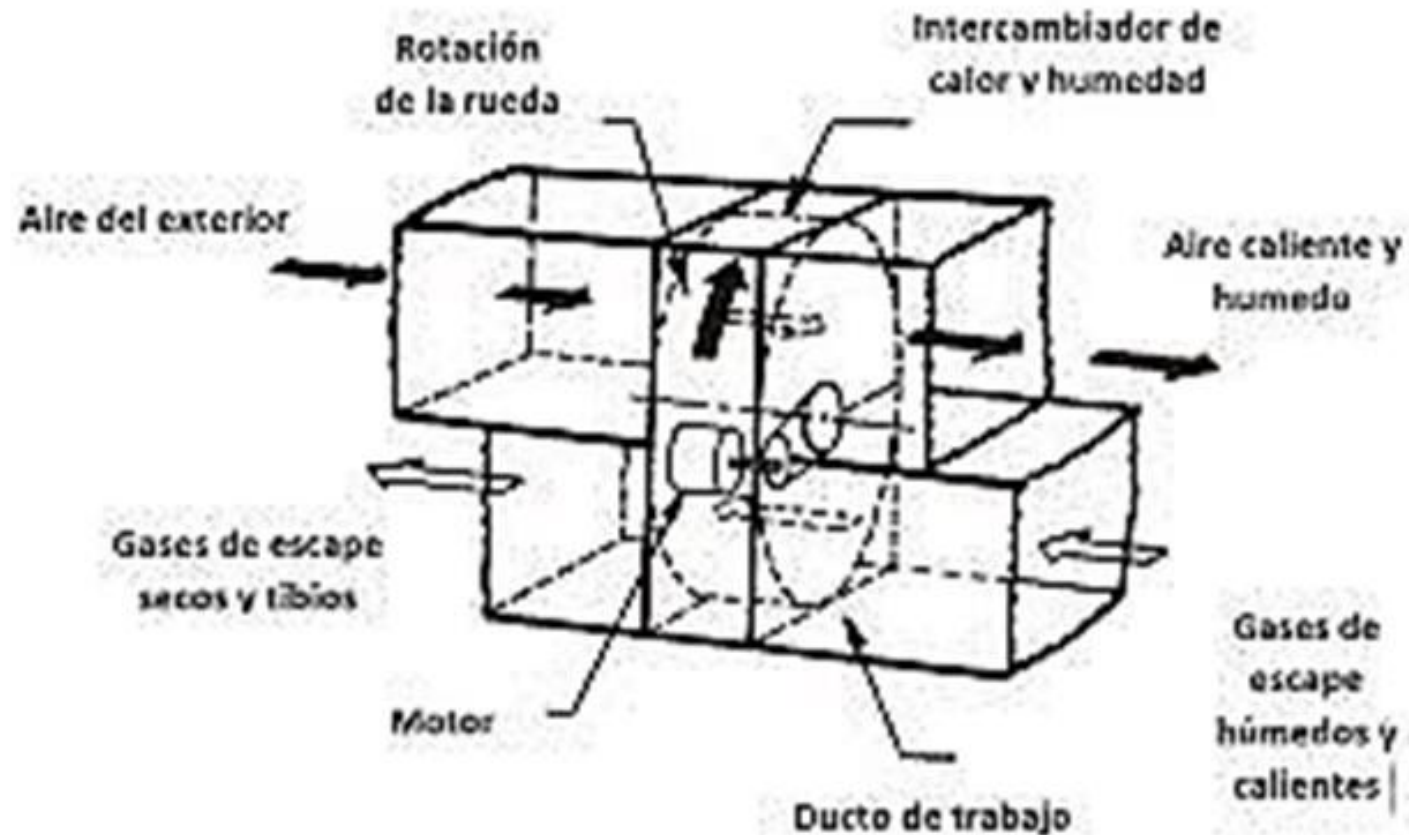
Recuperadores:



Recuperación de calor residual en hornos

Recuperación de calor de gases de chimenea:

Regeneradores:



Fuentes de energía

- Elegir o cambiar una fuente de energía para los hornos puede reducir enormemente el costo de producción.
- Actualmente hay libertad de elegir el suministro más conveniente para la planta en términos de precio y otras condiciones.
- Un energético puede resultar más económico que otro, pero considerar su impacto ambiental también.

PRECIOS DE ENERGÍA EN LIMA

Fecha: 17.12.2020

PRODUCTO (Industria)	PCS		PRECIO (inc. IGV)		tCO2/TJ
	kcal/gal kcal/m3(GN)	kcal/kg	Sol/gal Sol/m3(GN)	Sol MMkcal	
GLP Granel	24189	12231	5.546	229.3	63100
DIESEL B5	35160	10860	10.780	306.6	74100
PETROLEO IND. 6	38050	10440	6.520	171.4	77400
GAS NATURAL	9635	15795	1.030	106.9	56126

PRODUCTO	TARIFA	PRECIO (inc. IGV)		tCO2/TJ
		Sol/kWh	Sol MMkcal	
ELECTRICIDAD - Domestica	BT5	0.660	767.4	46667
ELECTRICIDAD - Industrial	MT	0.140	163.0	46667



Muchas gracias.

**Unidad de Gestión del
Proyecto**



Zonas Industriales Sostenibles