

UT – N°3

Hornos y Calderas

HORNOS INDUSTRIALES

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL

DE CUYO

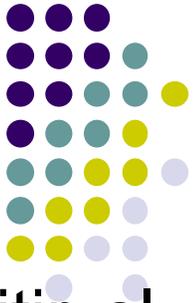
EQUIPO DOCENTE

Héctor Armando Perez

Ing. Industrial

hector.perez@ingenieria.uncuyo.edu.ar

Definición



Un horno industrial es un equipo cuya función es permitir el aprovechamiento del calor generado por la combustión de un combustible, transmitiéndolo a su carga.

Para el caso particular del Horno de Refinería se define como un equipo construido con un cerramiento metálico revestido interiormente de una capa refractaria - aislante, dentro del cual se dispone un serpentín tubular por el que circula el producto a ser calentado y/o vaporizado e incluye una cantidad de elementos por medio de los cuales el calor que se libera del combustible pasa de la masa de gases producidos al hidrocarburo que circula por el interior del serpentín, sin producir sobrecalentamientos indeseados en el producto o en los materiales del equipo.

CLASIFICACIÓN

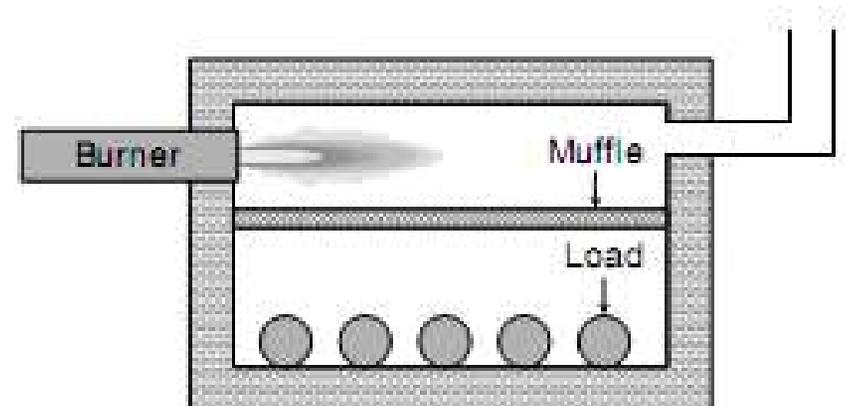
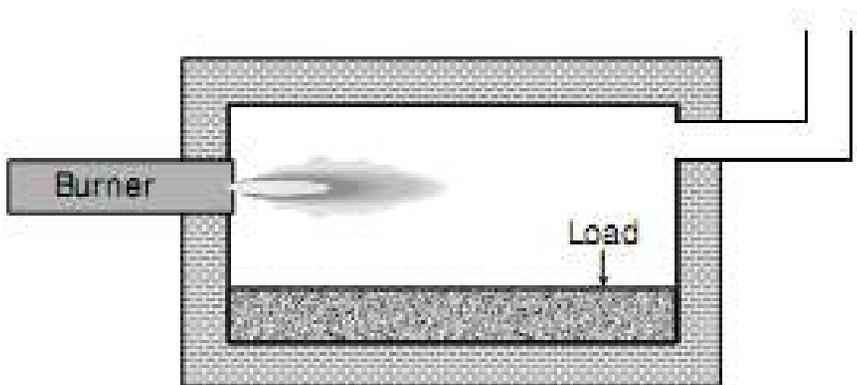


Según el método usado para generar calor:

1. Combustión de un combustible.
2. Conversión de energía eléctrica en calor.

A su vez los hornos de combustión pueden clasificarse en:

1. Hornos de proceso.
2. Hornos de calentamiento.



Hornos de Combustión



- **Tipos de combustibles**

Combustibles sólidos/líquidos:

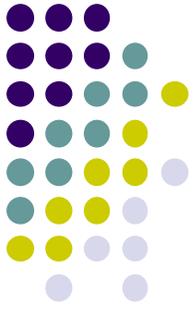
Ventajas: gastos de instalación mínimos, fácil acopio.

Desventajas: Ataque a las paredes del hogar, dificultad de regular temperatura, gran lugar ocupado por el combustible, gran producción de hollín., atomización y precalentamiento de combustible, corrosión en lanzas y boquillas. Escurrimiento.

Combustibles gaseosos:

Ventajas: fácil manejo, mejora rendimiento, adaptación de trabajo fácil, buena regulación de temperatura.

Desventajas: mayor control ante emergencias, limpieza periódica, velocidad de llama.



Hornos Eléctricos

- Energía Eléctrica: pueden ser de arco, inducción o resistencia. Poca variación en entrega de temperatura $1 \text{ kilovatio-hora} = 860 \text{ Kcal}$.

Ventajas: Facilidad de limpieza. Posibilidad de trabajar con atmosfera oxidante o neutra.

Menor riesgo ante emergencias.

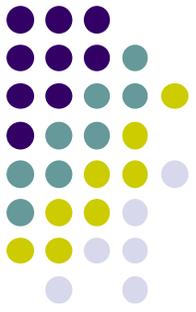
Desventajas: Costo de instalación y mantenimiento.

APLICACIONES INDUSTRIALES

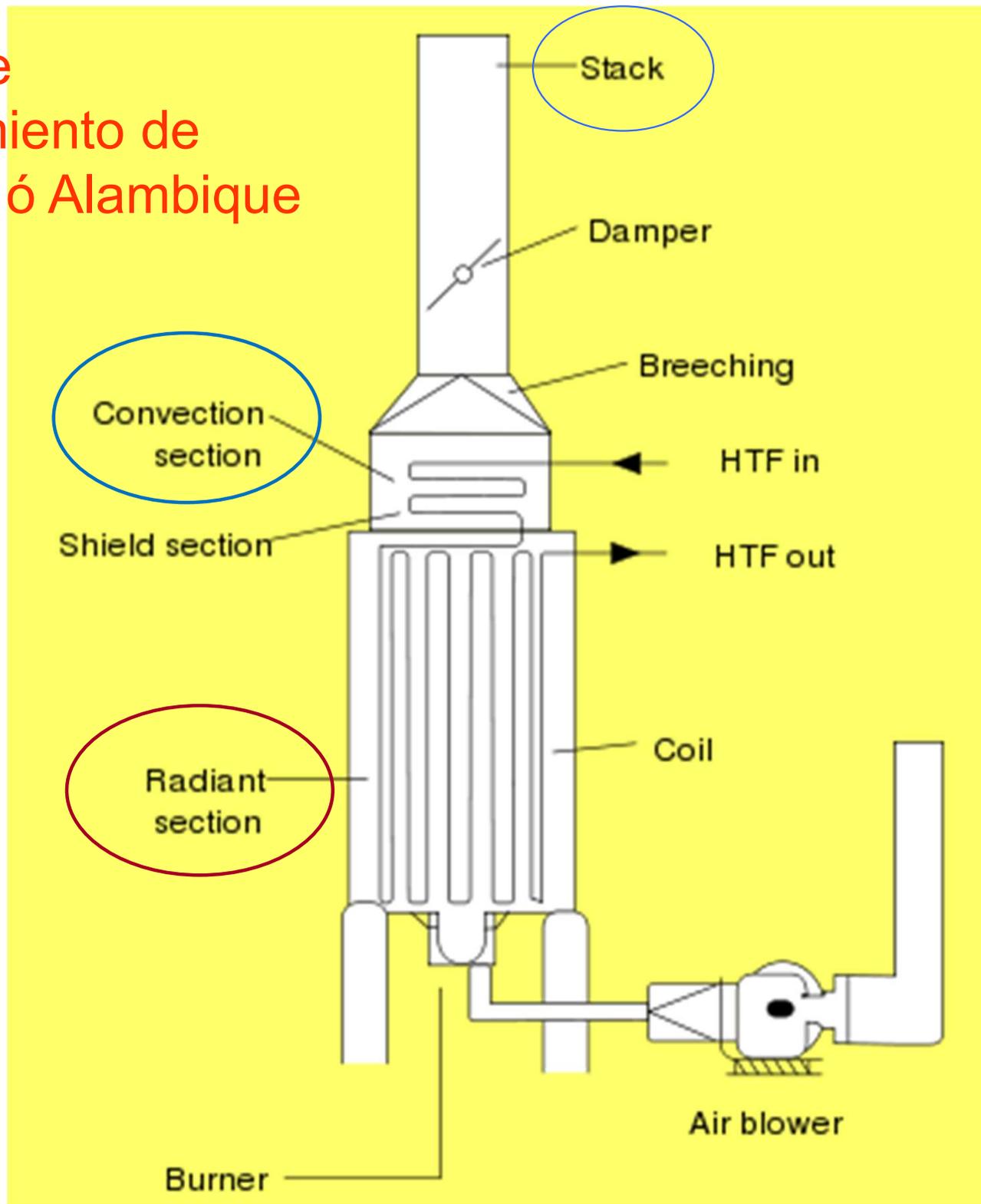


- Tratamientos Térmicos
- Fundición de Metales
- Industria Cerámica, Porcelana, Tejas, Ladrillos
- Industria del Vidrio
- Industria de la Construcción, Cemento, cal
- Industria Química, Petroquímica y Petróleo ←
- Industria Alimenticia, Panadería, secado de frutas, cervecería, tostado de granos
- Agricultura, secadero de granos, calefacción de invernaderos
- Tratamiento de Desechos, municipales, hospitalarios, sustancias contaminantes

Horno de calentamiento de Petróleo ó Alambique



Horno de calentamiento de Petróleo   Alambique (Partes)



Horno de calentamiento de Petróleo   Alambique (Tipos)

(Tipos)

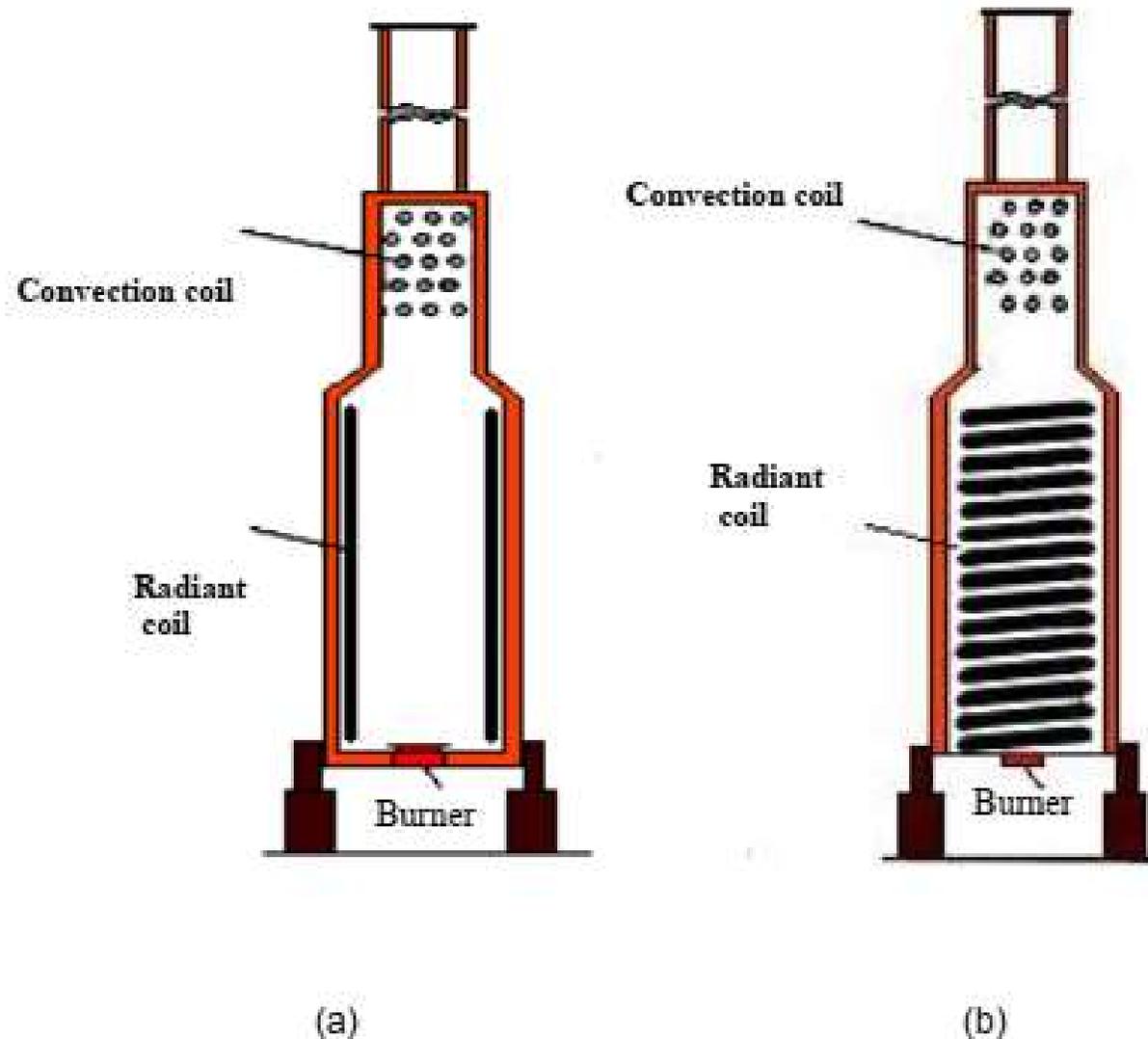
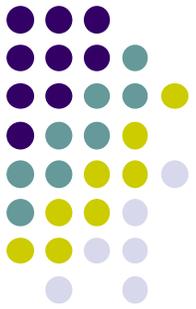


Figure 1: Vertical cylindrical fired heater: (a) all radiant and (b) helical coil

Horno de calentamiento de Petróleo   Alambique (Tipos)

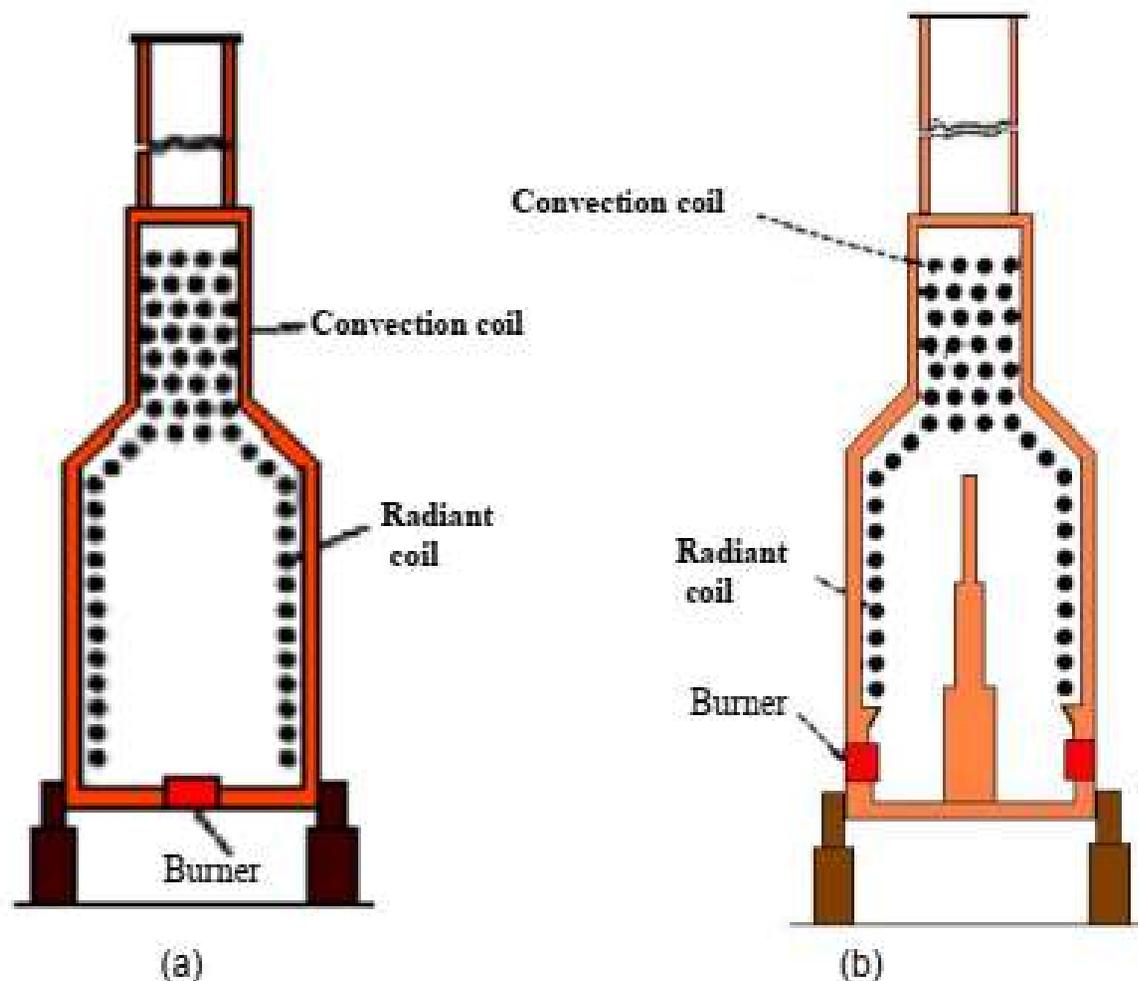


Figure 2: Horizontal tube cabin fired heaters: (a) cabin with convection section and (b) cabin with dividing bridge wall

Horno de calentamiento de Petróleo   Alambique (Tipos)

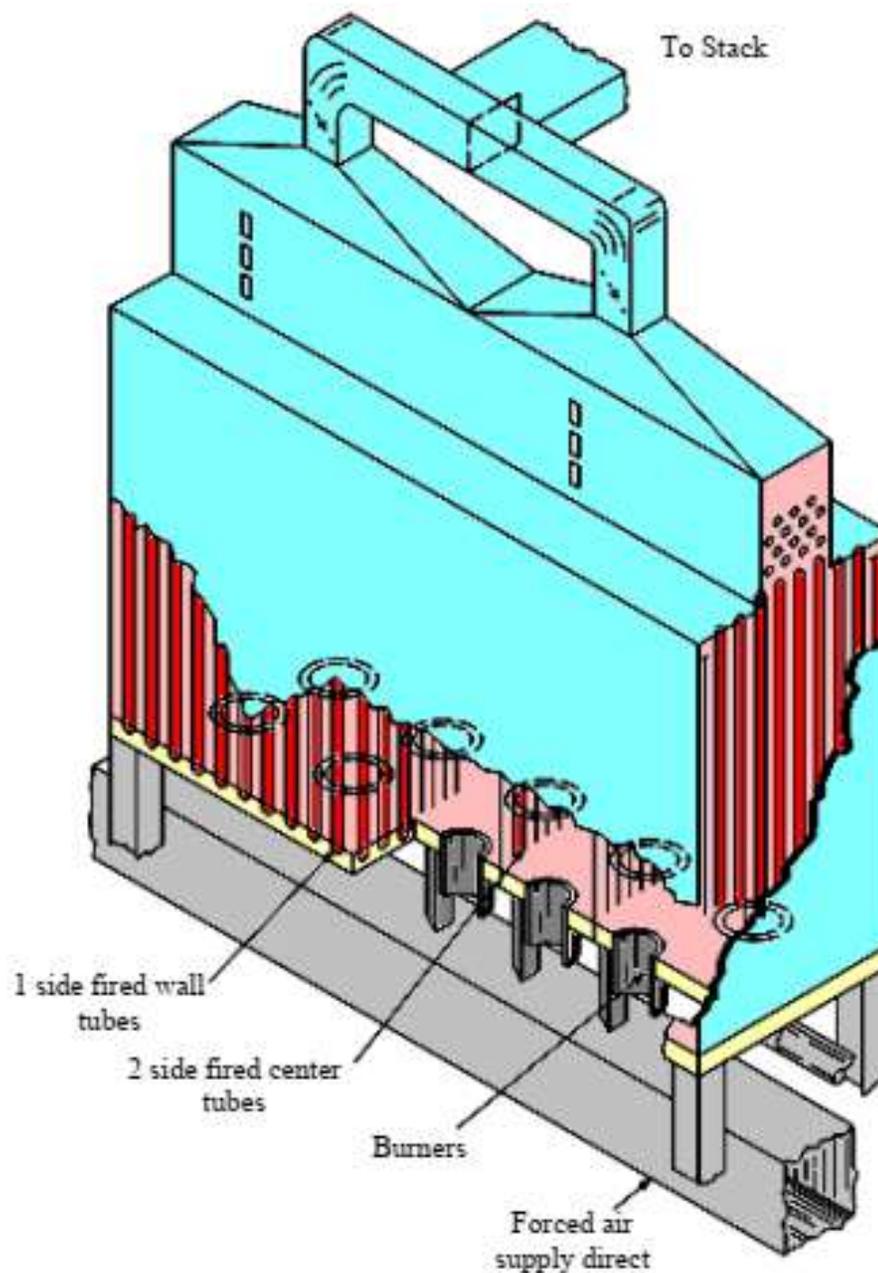


Figure 4: Vertical tube box fired heaters

Horno de calentamiento de Petróleo   Alambique (Componentes)

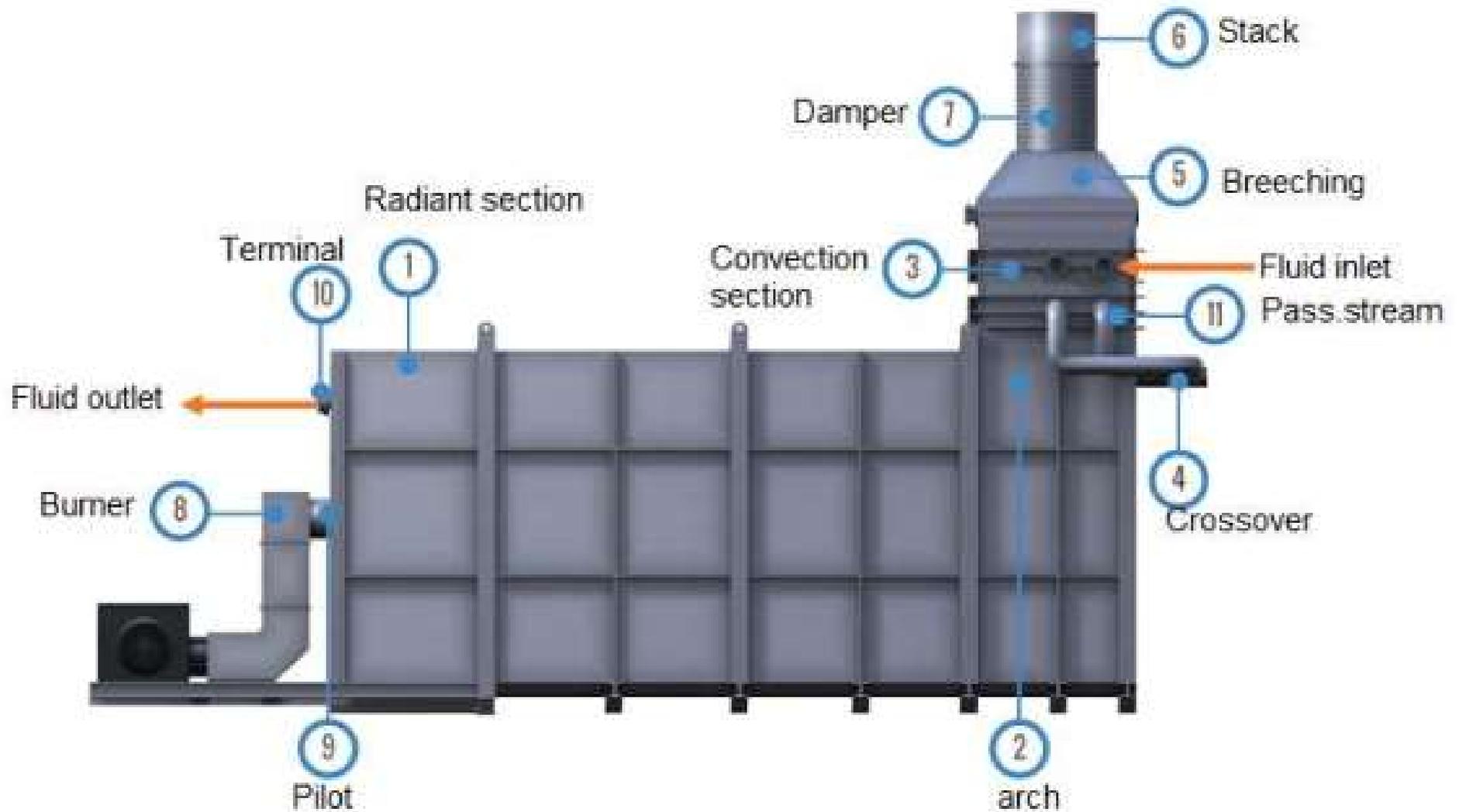
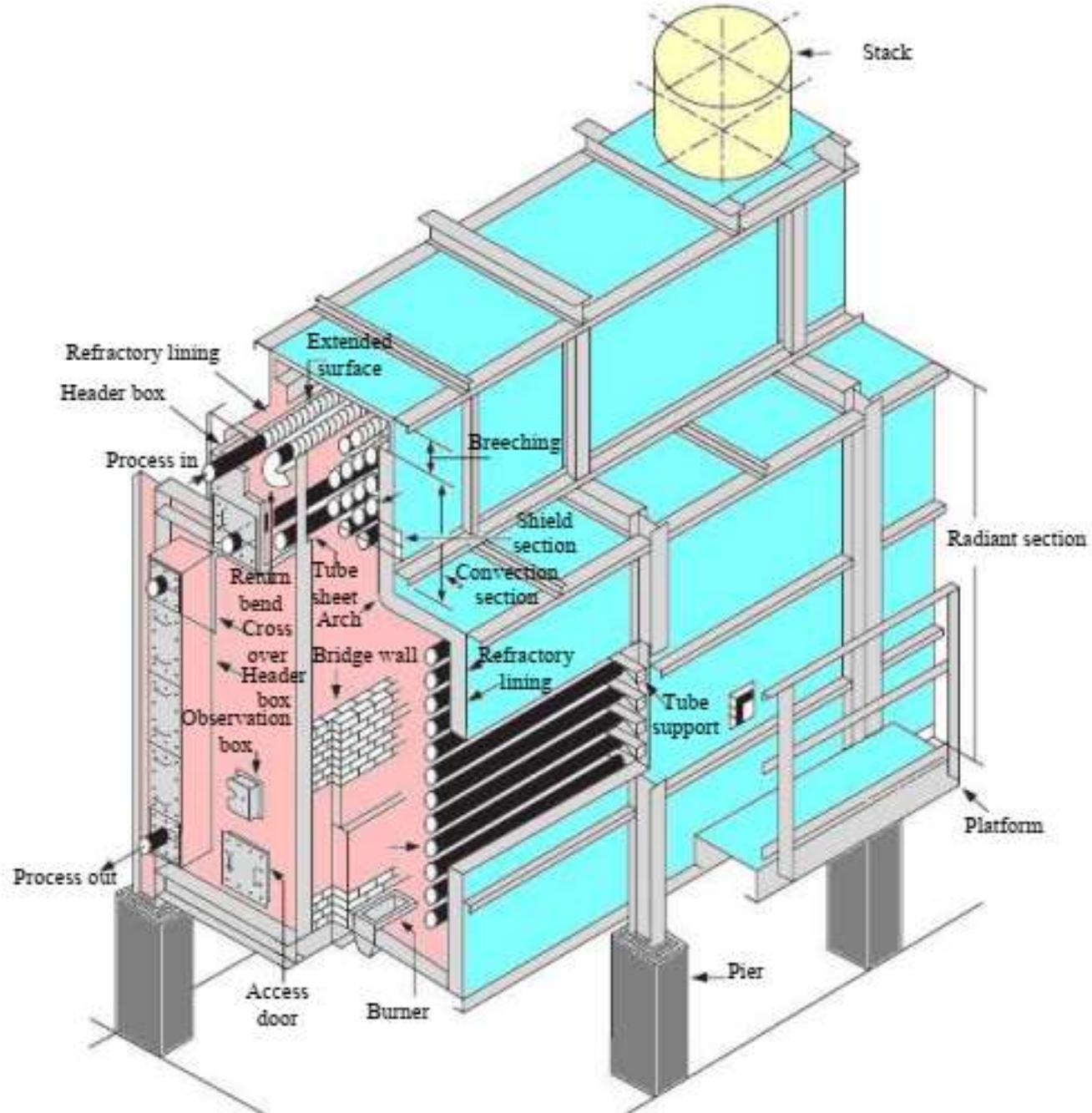
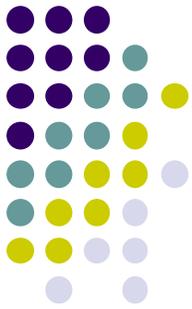


Figure 1: Heater components (THM)

Horno de calentamiento de Petróleo   Alambique

(Partes)



PARTES PRINCIPALES DE LOS HORNOS

(Desde el punto de vista Térmico)



- Quemador
- Sección Radiante
- Sección de Conveccion
- Cubierta de Protección
- Damper o Registro
- Chimenea
- Aislante

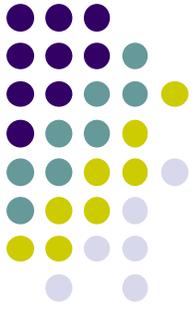
PARTES PRINCIPALES DE LOS HORNOS



Normalmente los hornos se dividen en tres partes:

- ❖ Sección RADIANTE: donde los tubos están en presencia de la llama. En esta parte la transmisión de calor es por radiación en un 80 % aprox y un 20 % por convección de la circulación de gases calientes alrededor de los tubos.
- ❖ Sección de CONVECCION: Los tubos están fuera del alcance de la llama. Los gases caliente se direccionan a través del paquete de tubos. El calor transmitido es por radiación del CO_2 y H_2O en los gases calientes además del calor por convección. Los tubos están equipados con aletas par mejorar las condiciones de transmisión de calor.
- ❖ Sección de BLINDAJE (SHIELD) Las primeras filas de tubos del área de convección son la zona de CHOQUE (SHOCK) en ella los tubos no tienen aletas, reciben la misma cantidad de calor por ambos mecanismos.

PARTES PRINCIPALES DE LOS HORNOS

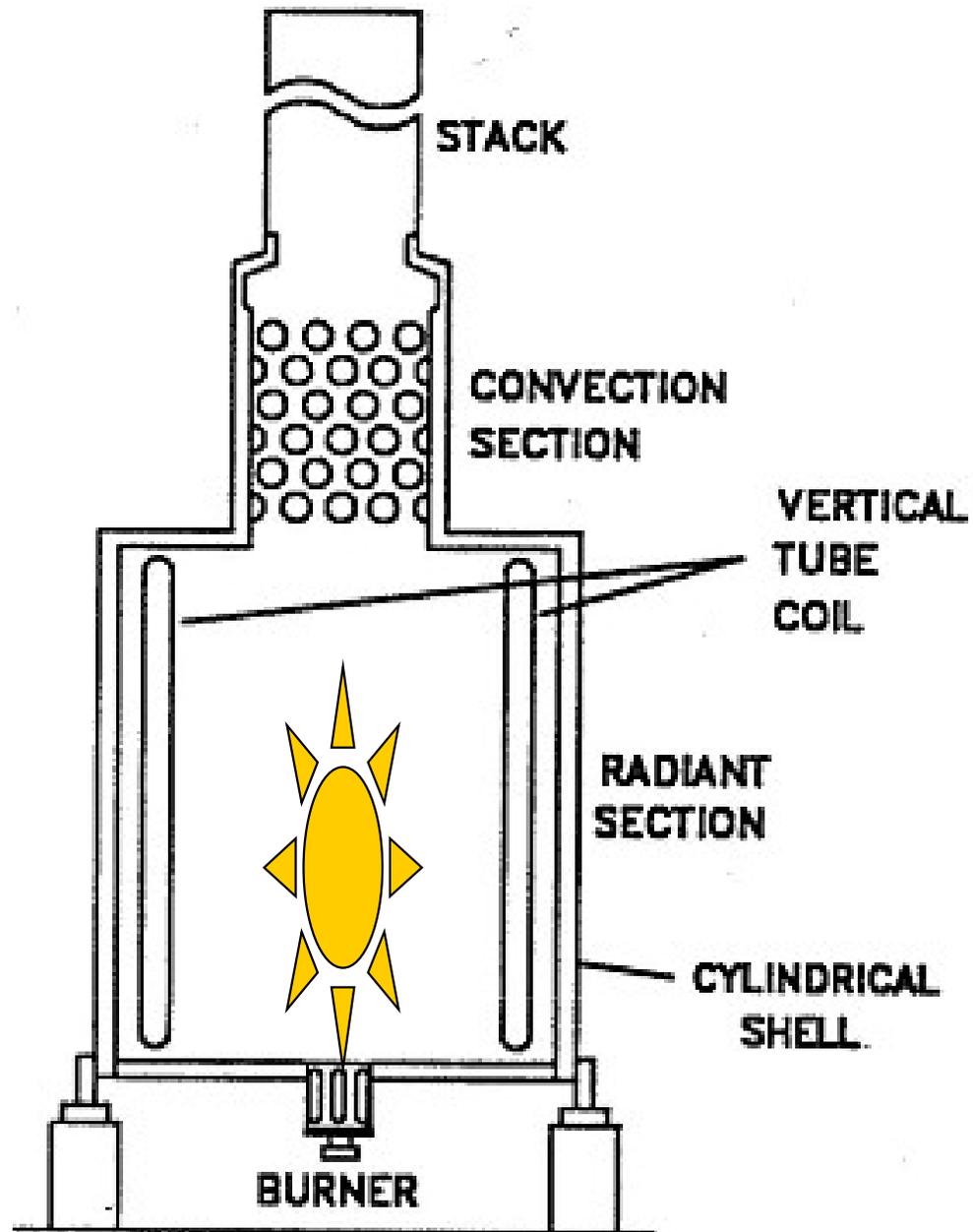
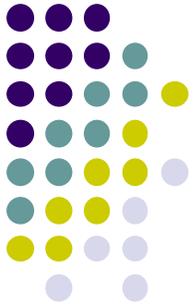


Por medio de estos equipos es posible obtener grandes cantidades de calor mayores a 2 MMBtu/h, y a temperaturas superiores a 260 °C.

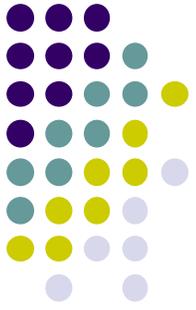
La transferencia de calor se produce principalmente por radiación. En la mayoría de los casos aplicados a la industria se aprovecha el calor que la masa gaseosa tiene una vez que abandona el recinto de absorción por radiación mediante un banco de convección confinado en el mismo equipo.

En esta sección de convección generalmente se inicia el calentamiento de la carga que se completa en la zona radiante. Se estima que aproximadamente el 70% de la energía es transferida al fluido en la sección radiante y el resto en la convección.

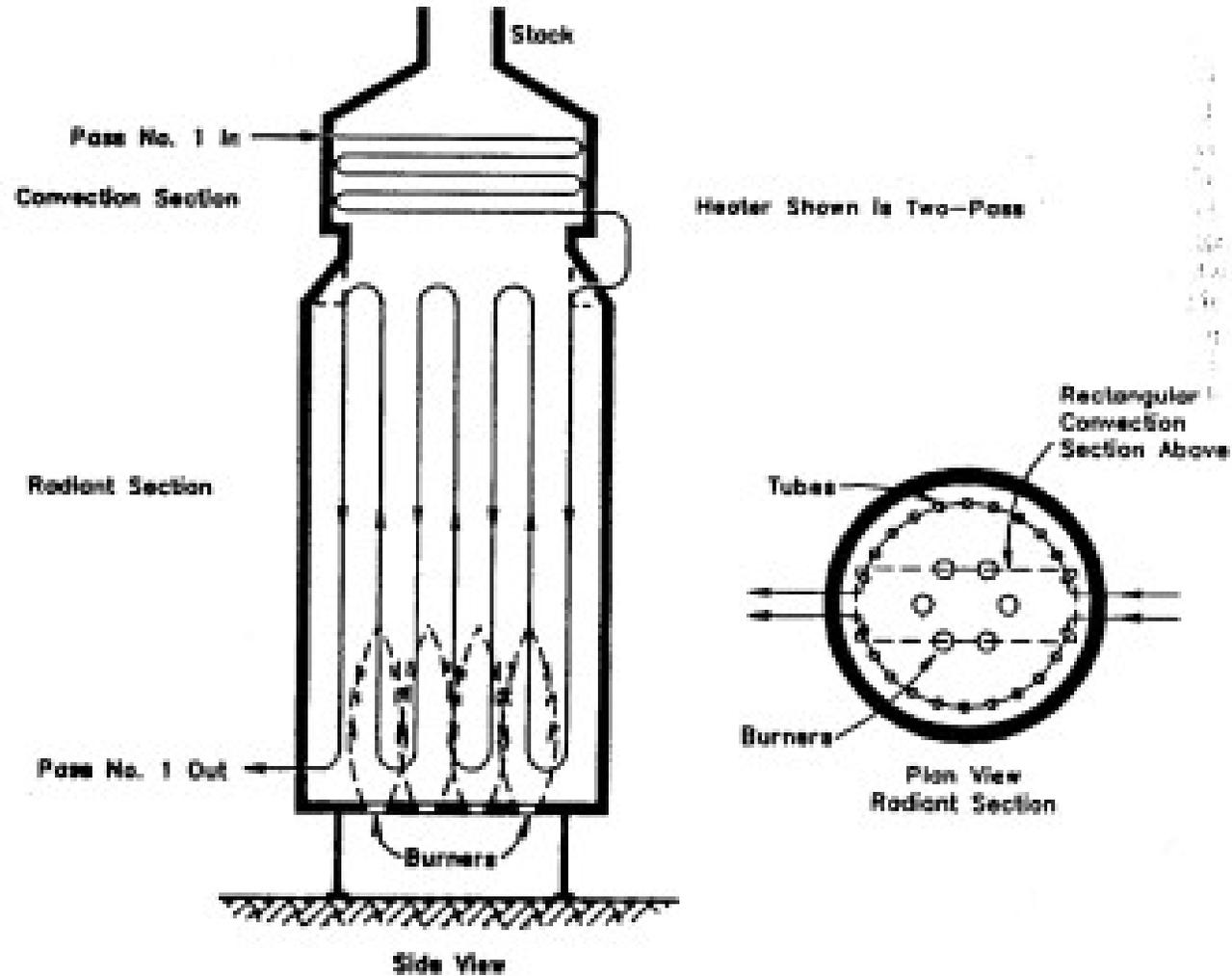
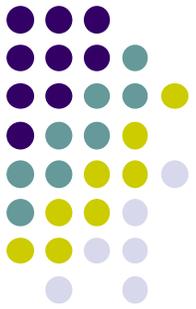
PARTES PRINCIPALES DE LOS HORNOS



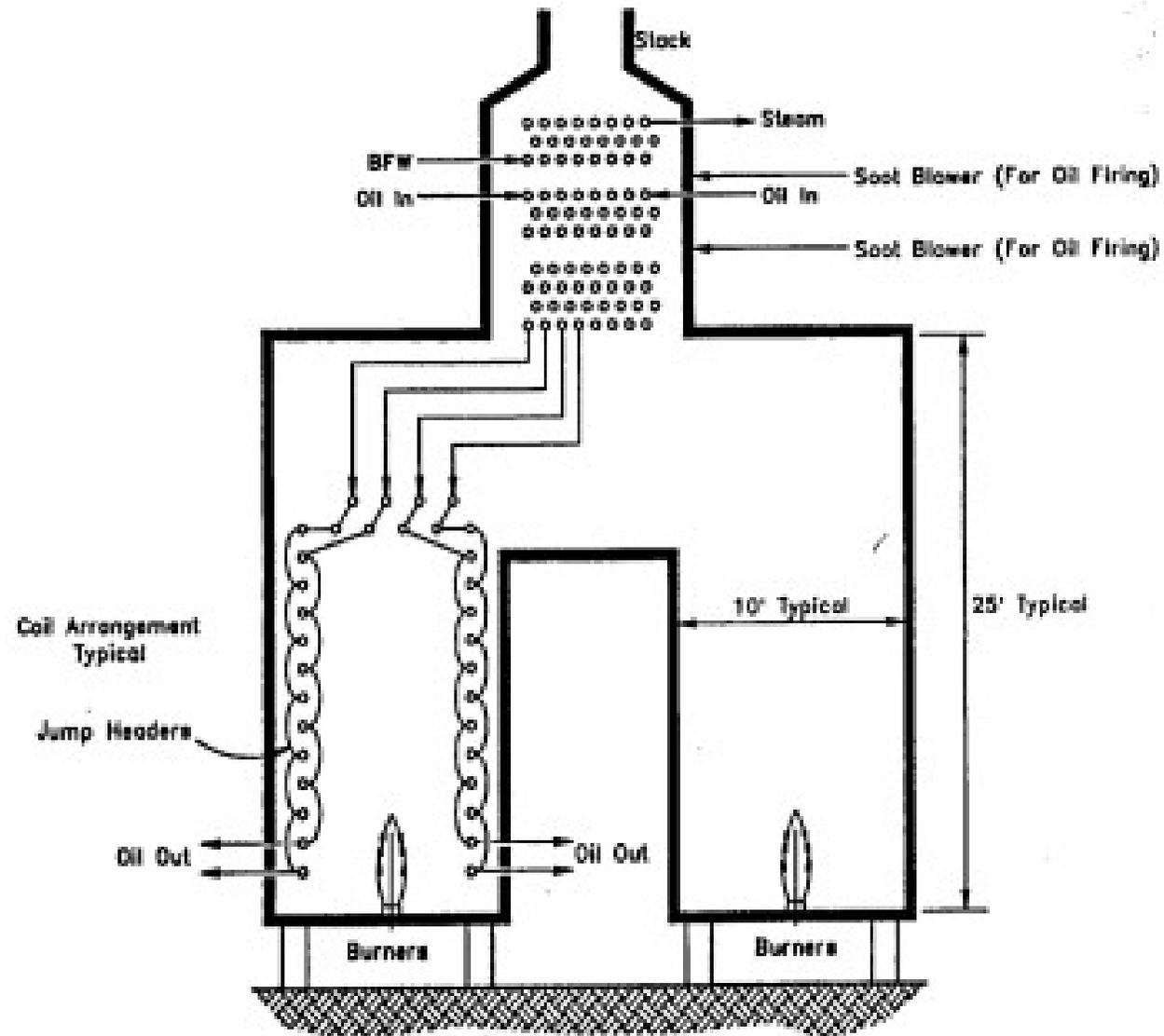
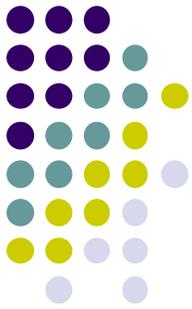
Horno de calentamiento de Petróleo ó Alambique



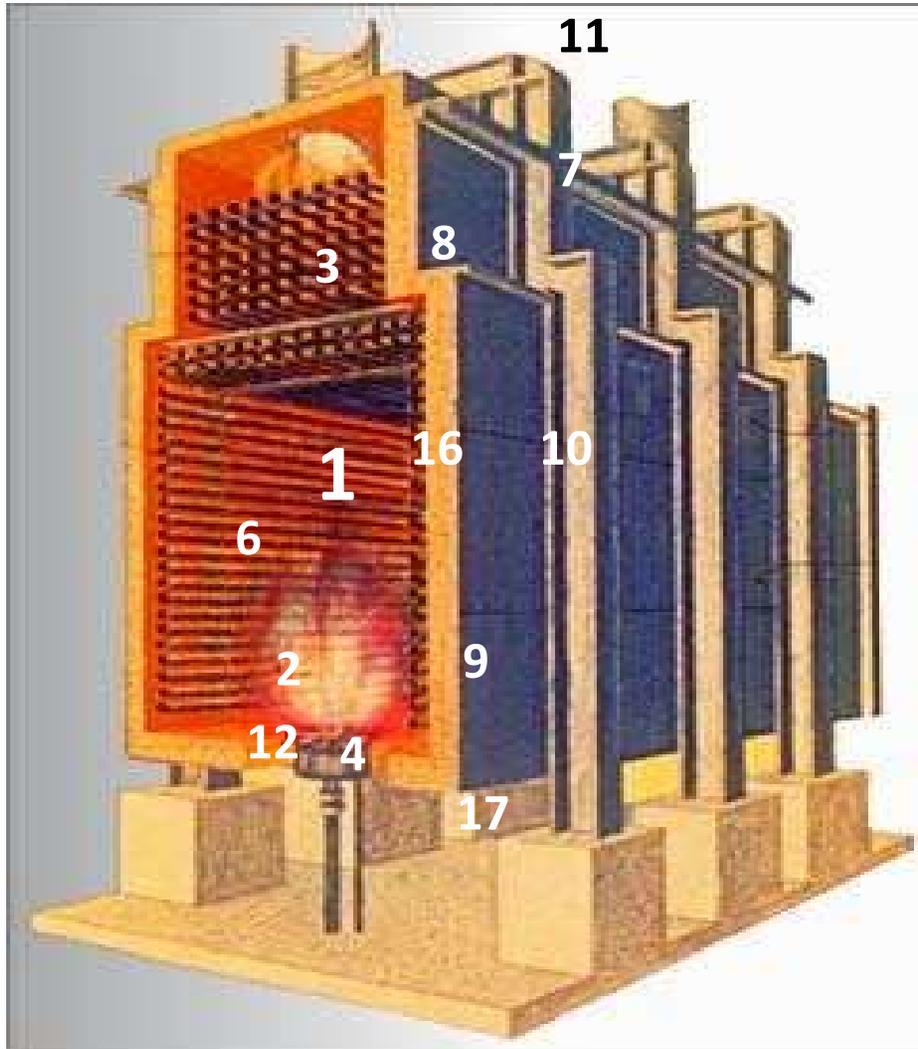
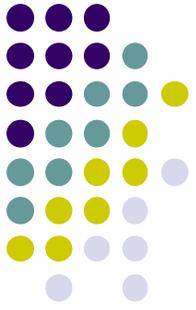
Hornos de Combustión



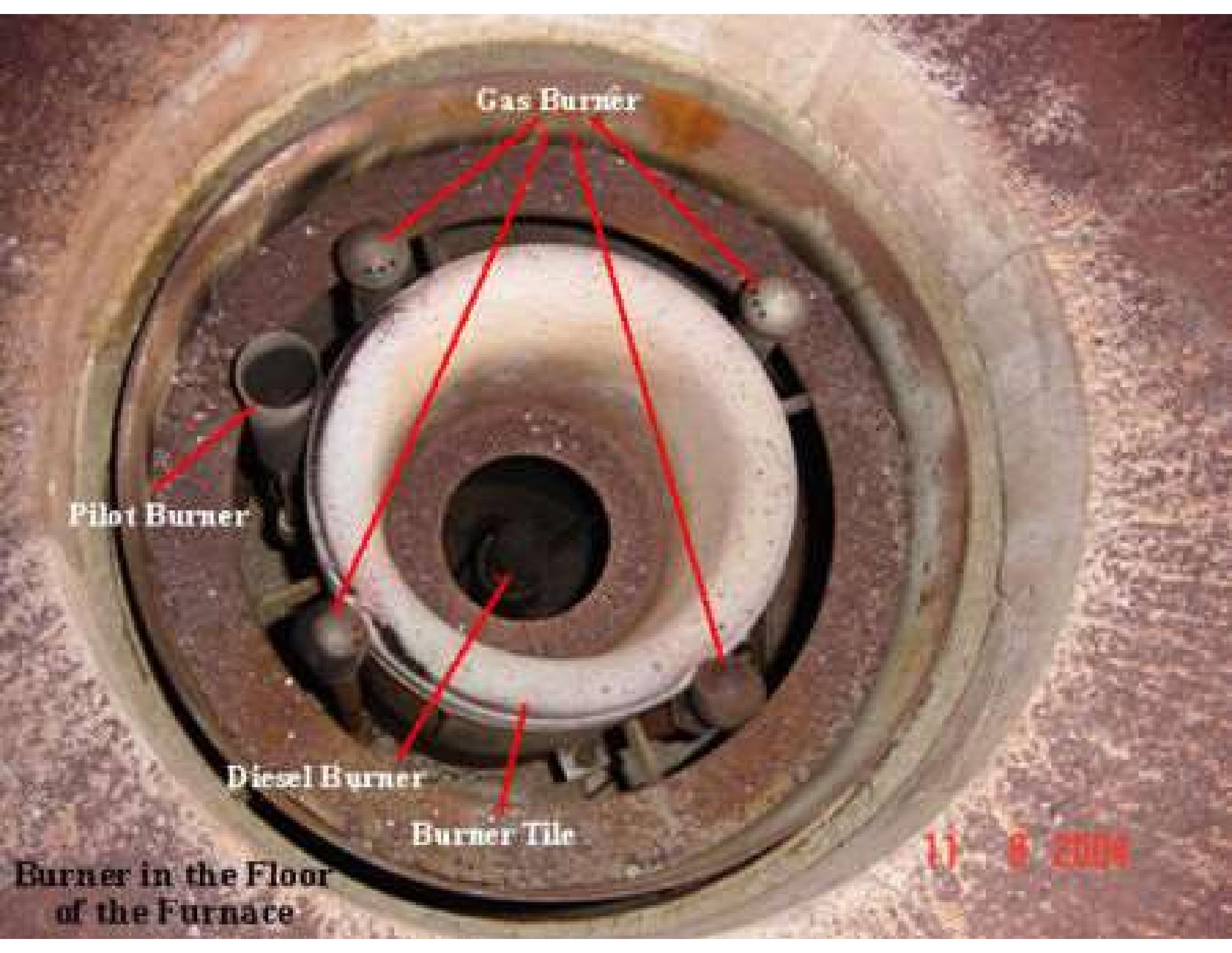
Hornos de Combustión



Hornos de Combustión



- 1-Hogar
- 2-Zona Radiante
- 3-Zona Convectiva
- 4-Quemadores
- 5-Pilotos
- 6-Haz tubular y soportes
- 7-Chimenea
- 8-Sopladores de Hollín
- 9-Mirillas
- 10-Compuertas de Emergencia
- 11-Damper
- 12-Vapor de ahogado
- 13-Vapor a las ramas
- 14-Reguladores de carga
- 15-Economizadores/precalentadores
- 16-Refractario
- 17-Cimientos y plataforma



Gas Burner

Pilot Burner

Diesel Burner

Burner Tile

11 8 2006

**Burner in the Floor
of the Furnace**

Ceramic Fibre Blanket,
8lb/ft, 6in Thick

Radiant Coil

Viewport, 4.5in by
5.5in, Steel

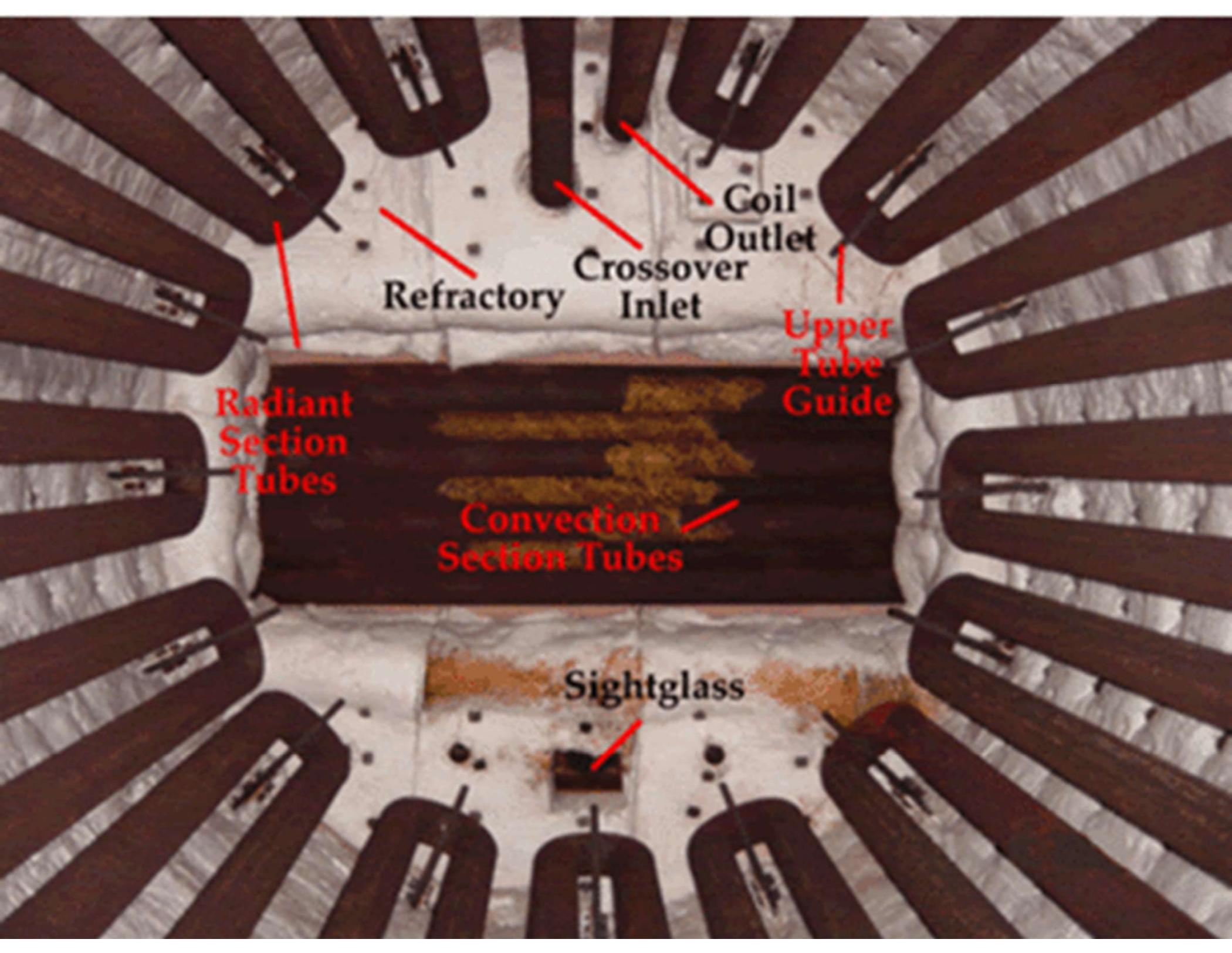
11 8 2004

Middle of Radiant Section





Radiant Coils in Normal Operation



Refractory

Crossover
Inlet

Coil
Outlet

Upper
Tube
Guide

Radiant
Section
Tubes

Convection
Section Tubes

Sightglass

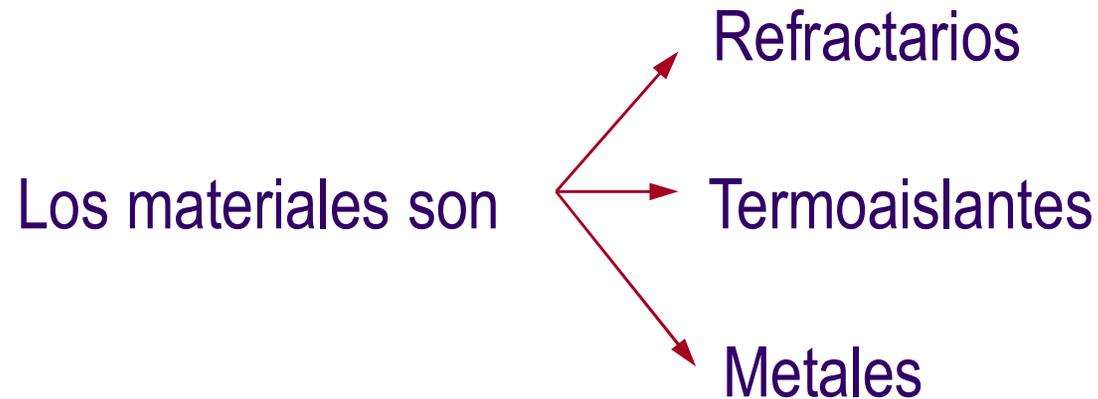
INSTALACIÓN PARA LA IGNICIÓN DE LOS COMBUSTIBLES



Clasificación según tipo de combustible { sólidos
pulviformes (polvos)
líquidos
gaseosos

Instalaciones para los sólidos: Estas se llaman simplemente hogares y se dividen en: hogares sencillos, hogares semigasificadores y hogares mecanizados.

MATERIALES PARA HORNOS DE COMBUSTIÓN



La característica más importante es el grado de resistencia al calor.

REFRACTARIOS



- ***Permeabilidad respecto a los gases:*** Mayor T ($^{\circ}\text{C}$) menor permeabilidad.
- ***Resistencia al fuego:*** No deben ni derretirse ni quebrarse.
- ***Estabilidad térmica:*** No deben quebrarse con los cambios de temperatura.
- ***Solidez:*** Resistencia a la deformación.
- ***Resistencia a las escorias:*** Compatibilidad.

TIPOS DE REFRACTARIOS



- De chamota: arcilla refractaria.
- De sílice.
- De alúmina.
- De dolomita.
- De cromita.
- De cromo-magnesio.



TERMOAISLANTES

Son de igual composición que los refractarios pero con distinta porosidad. Pueden ser de:

- Fibrocemento
- Vidrolana
- Asbesto

METALES



Los aceros laminados y las fundiciones grises son las más usadas en ciertas partes del horno. Estas tienen menos resistencia al calor que los refractarios.

Las partes metálicas son:

- Bastidores
- Esqueletos
- Parantes
- Puertas
- Ventanas

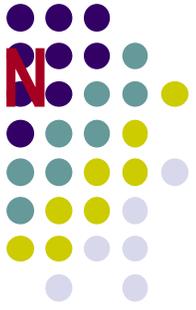
NUEVOS MATERIALES



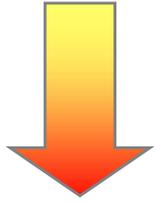
Son más económicos pero de menor resistencia. Algunos son:

- Ladrillos con mayor porcentaje de alúmina
- Manta cerámica
- Papel cerámico
- Hormigón refractario (menor % de cemento)

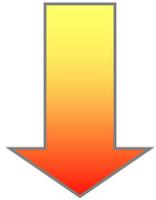
FUNCIONAMIENTO DEL HORNO DE COMBUSTIÓN



QUEMADORES sólidos líquidos o gaseosos



LLAMA



HORNO homogenización de la temperatura, intercambio de calor

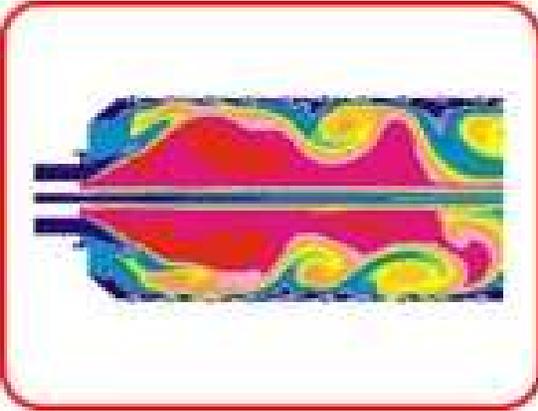
→ Directo
→ Indirecto



HUMOS

→ Recirculación
→ Tratamientos para evitar contaminación (costo 30 - 40%)

COMBUSTIÓN

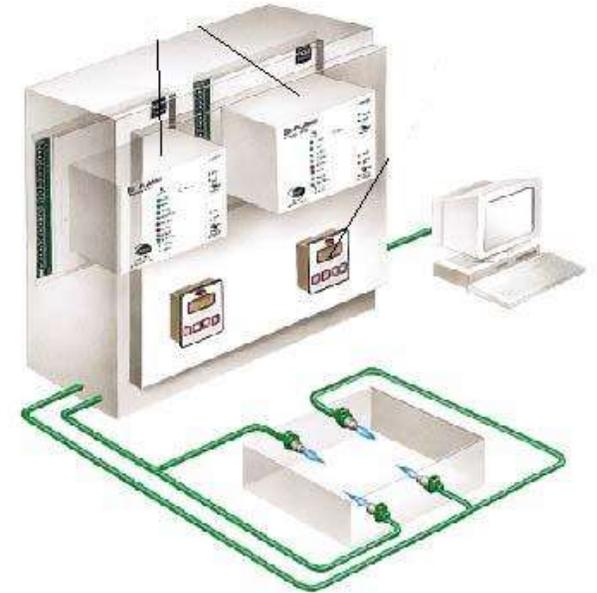


TIPOS

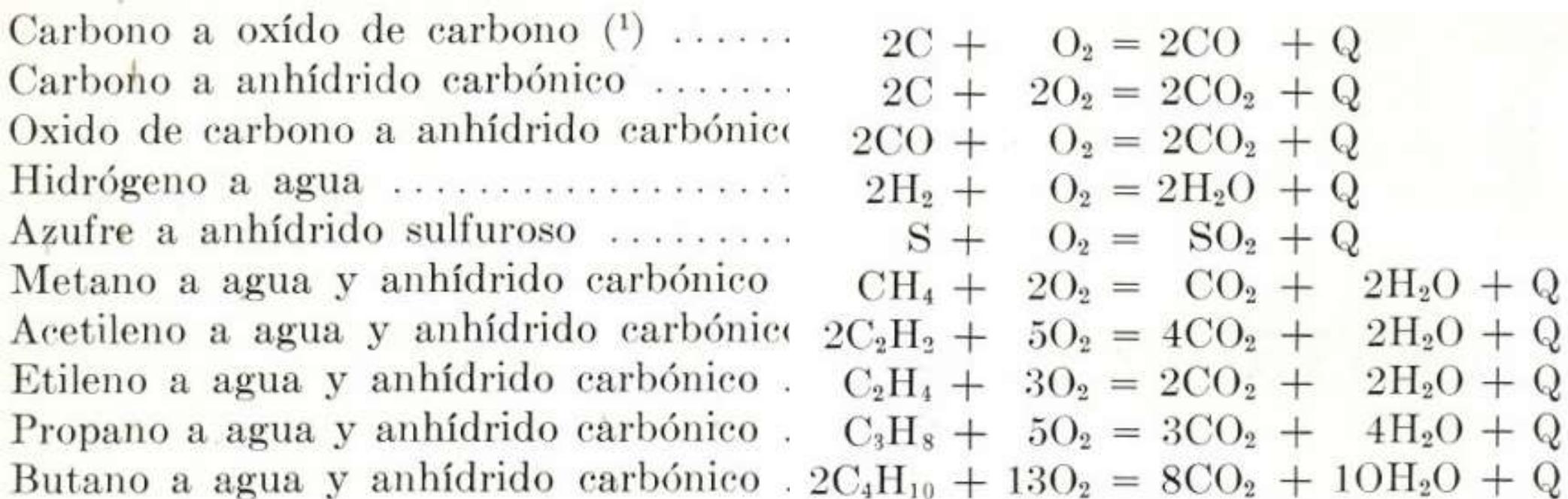
- Perfecta
- Imperfecta
- Incompleta
- Exceso de aire

REQUISITOS BÁSICOS

- Campo de regulación
- Estabilidad
- Forma y dimensiones de la llama
- Espacio necesario
- Sistemas de regulación y control



Combustión





Combustión

Reacción Química de la combustión	Poder calorífico		Aire requerido para la combustión de 1 kg de combustible	
	Sup. kcal/kg	Inf. kcal/kg	kg	m ³
C a CO ₂	7,751	7,751	11,53	9,40
H ₂ a H ₂ O	33,605	28,392	34,34	27,99
S a SO ₂	2,191	2,191	4,29	3,50
CH ₄ a SO ₂ y H ₂ O	13,133	11,836	17,27	14,07
C ₂ H ₂ a CO ₂ y H ₂ O	11,825	11,427	13,30	10,84
C ₂ H ₄ a CO ₂ y H ₂ O	11,904	11,162	14,81	12,07
C ₃ H ₈ a CO ₂ y H ₂ O	11,913	10,969	15,70	12,80
C ₄ H ₁₀ a CO ₂ y H ₂ O	11,719	10,824	15,49	12,62

COMBUSTIÓN - VOLUMEN DE LA CÁMARA



$Z = Z_f + Z_q$ (Z : tiempo de combustión y t : temperatura de la cámara)

$G = \frac{Q * V}{3600} * \frac{(273 + t)}{273}$ (m^3/s) volumen de gases que pasan por la cámara

(Q (m^3/h) combustible y V ($nm^3/Kg.$) volumen de los gases de comb.)

$V'_{cam} = G * Z$ (m^3)

Si 1 Kg.. de combustible desarrolla P_i Kcal.

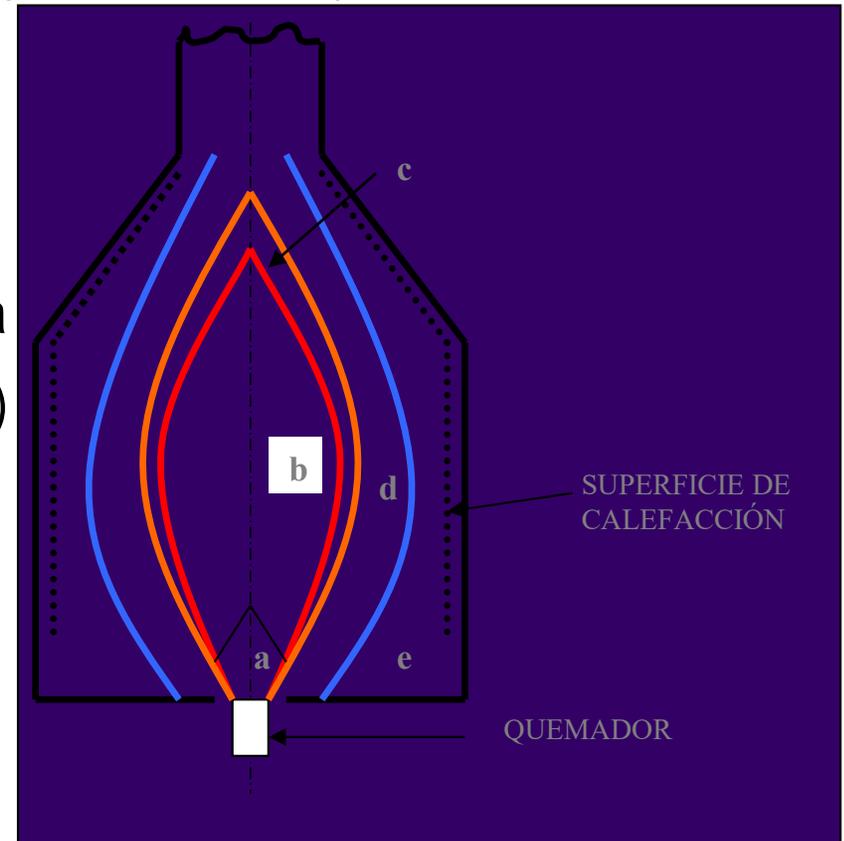
$q' = Q * P_i / V'_{cam}$ (Kcal./ m^3h) carga térmica específica

$V'_{cam} = a + b$ (teórico) y $V_{cam} = a + b + c + d + e$ (real)

$\eta = V'_{cam} / V_{cam}$

$q = q' * \eta = Q * P_i / V_{cam}$

$V_{cam} = Q * P_i / q$ Volumen de la cámara (m^3)



COMBUSTIBLES



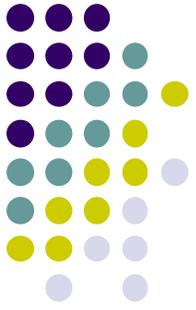
CARACTERÍSTICAS

- FÍSICAS
 - ESTADO DE AGREGACIÓN
 - PESO ESPECÍFICO
- NATURALEZA TÉRMICA
 - PODER CALORÍFICO
- QUÍMICAS
 - COMPOSICIÓN ELEMENTAL
 - ESTRUCTURA MOLECULAR

TIPOS

- SÓLIDOS
 - SÓLIDOS
 - POLVO CARBÓN
- GASEOSOS
 - GAS DE COQUE
 - GAS NATURAL
- LÍQUIDOS
 - FUEL - OIL

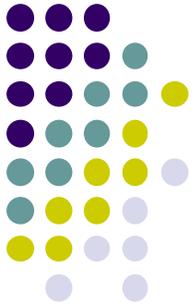
QUEMADORES



Los quemadores pueden ser de:

- Gas
- Fuel - Oil
- Carbón Pulverizado
- Combinados (Gas y Fuel - Oil)

QUEMADORES GAS



SIN PREMEZCLADO



PREMEZCLADO PARCIAL



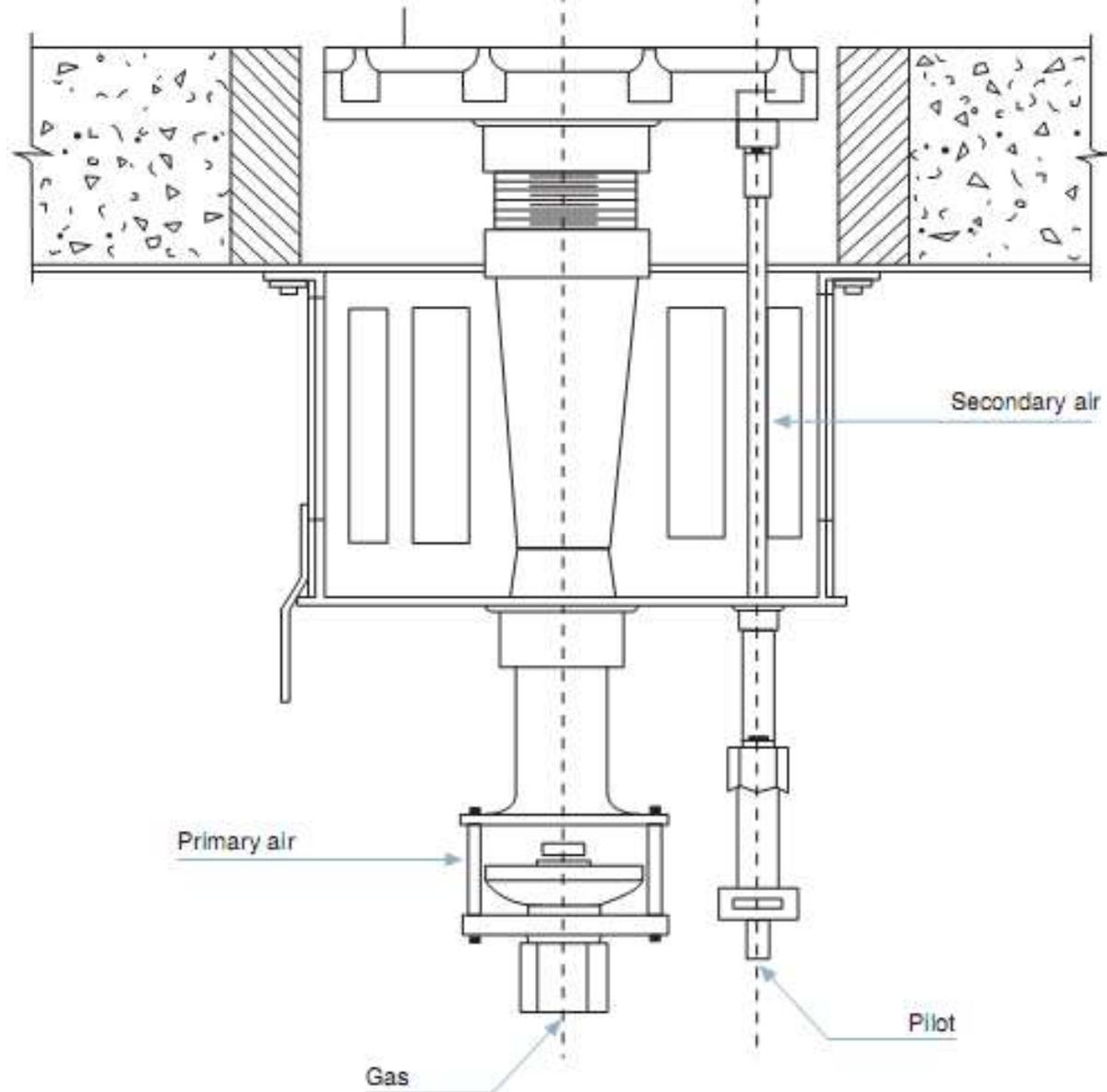
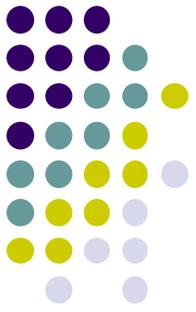
PREMEZCLADO TOTAL



COMBUSTIÓN SUMERGIDA

INFRARROJOS

QUEMADORES GAS



PREMEZCLADO TOTAL

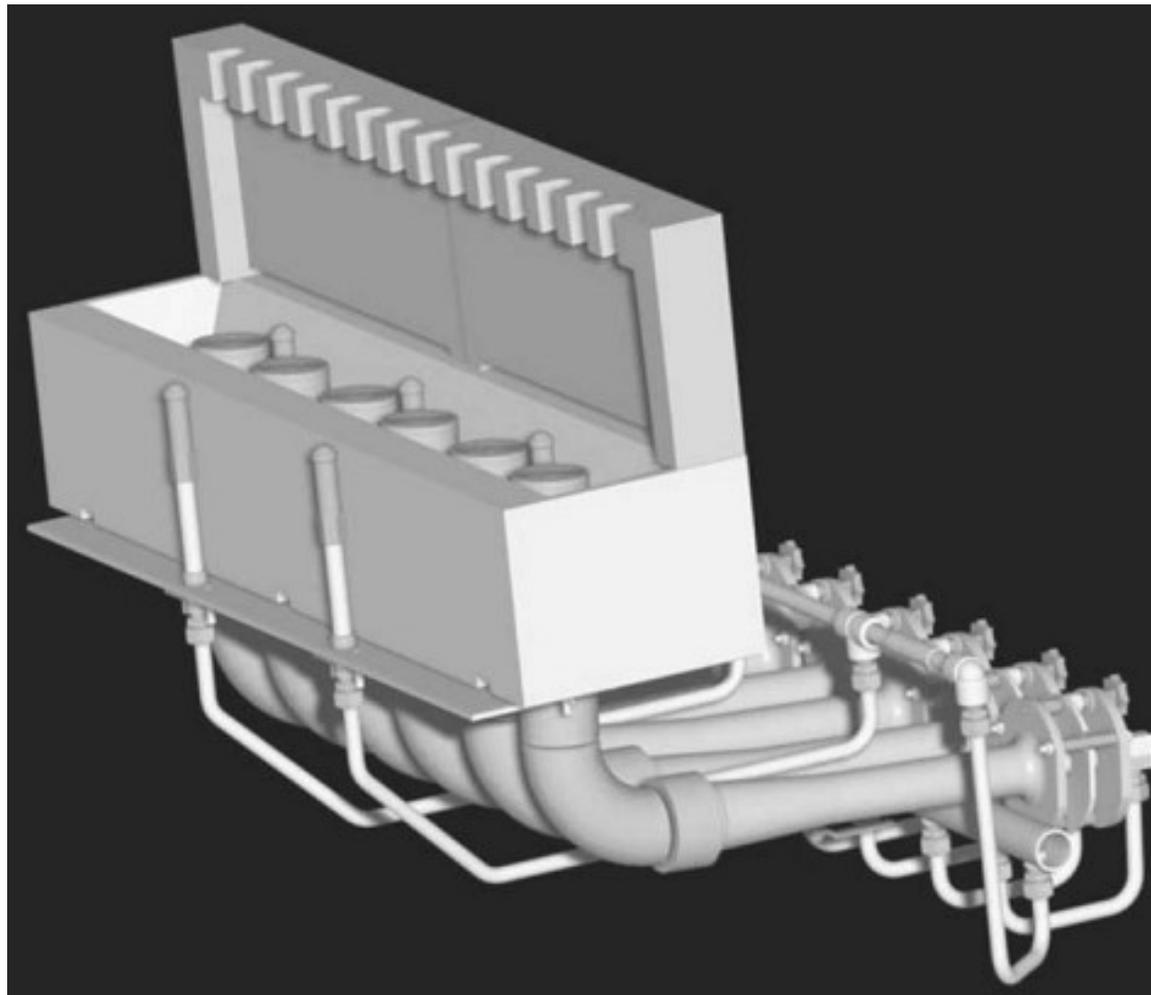
! Schematic of a diffusion-mixed burner.²⁹

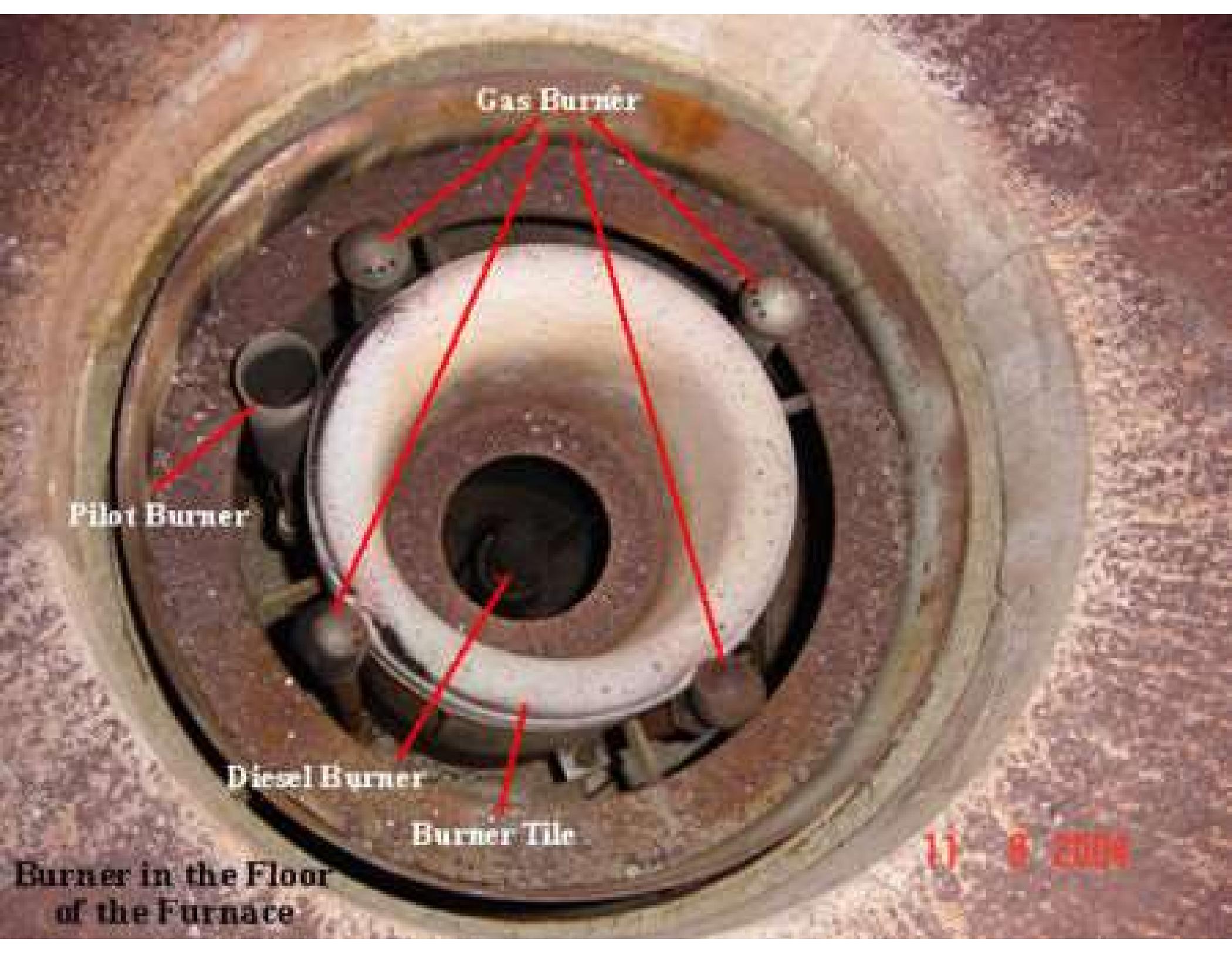
QUEMADORES GAS

PREMEZCLADO
PARCIAL



FIGURE 1.25 Schematic of a partially premixed burner.²⁹





Gas Burner

Pilot Burner

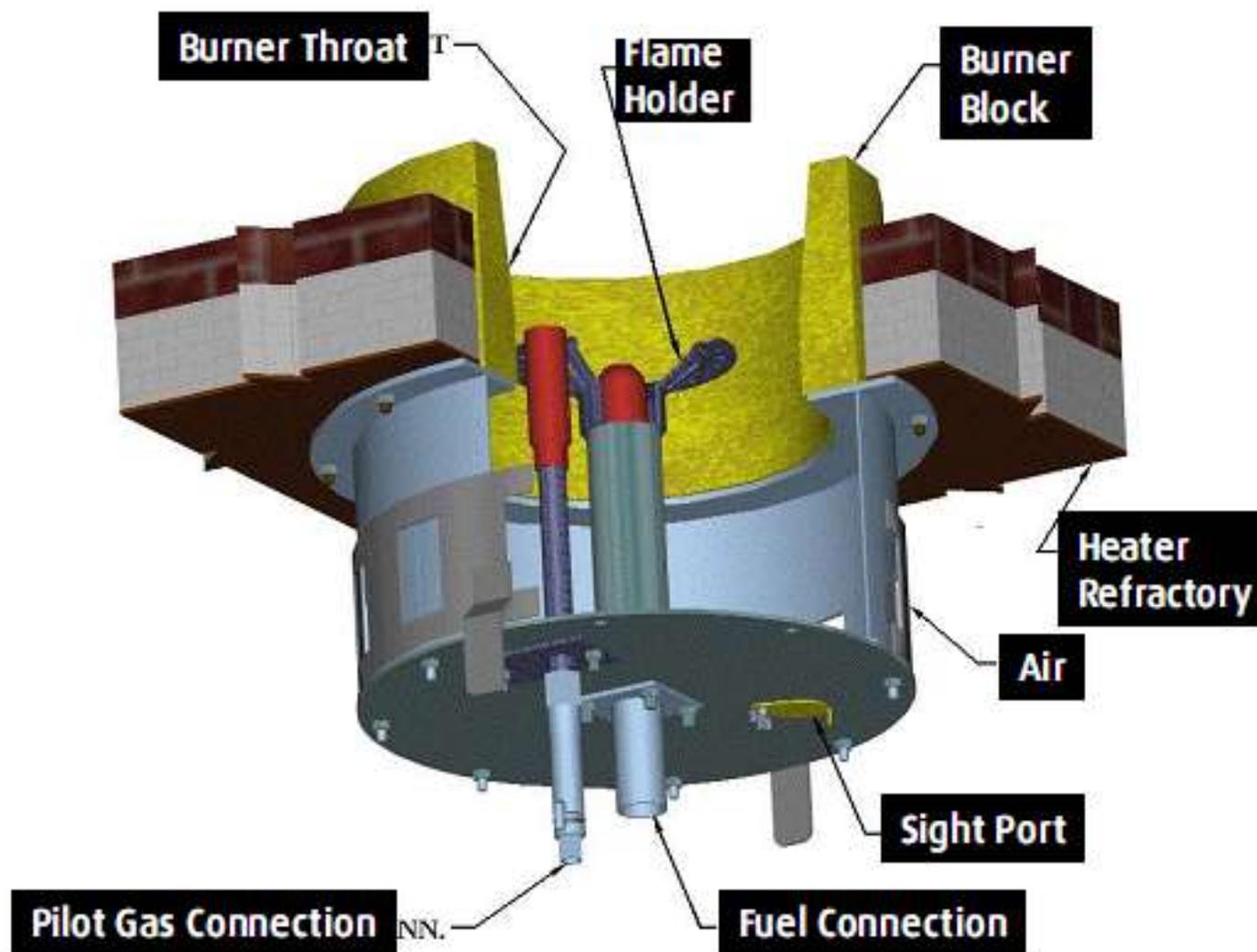
Diesel Burner

Burner Tile

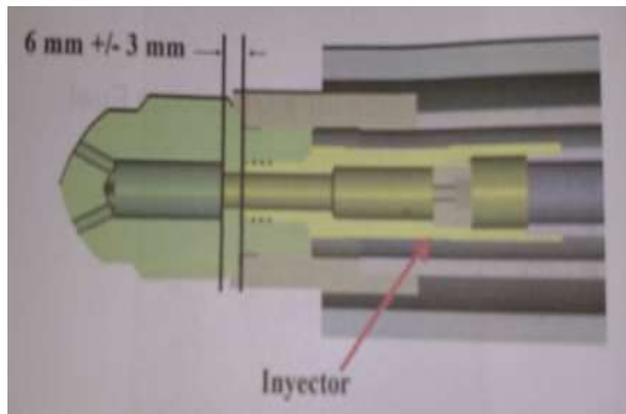
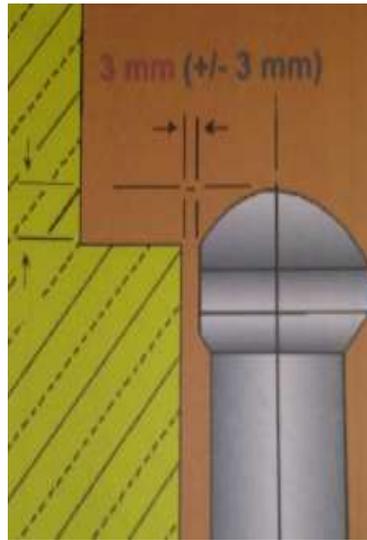
11 8 2006

**Burner in the Floor
of the Furnace**

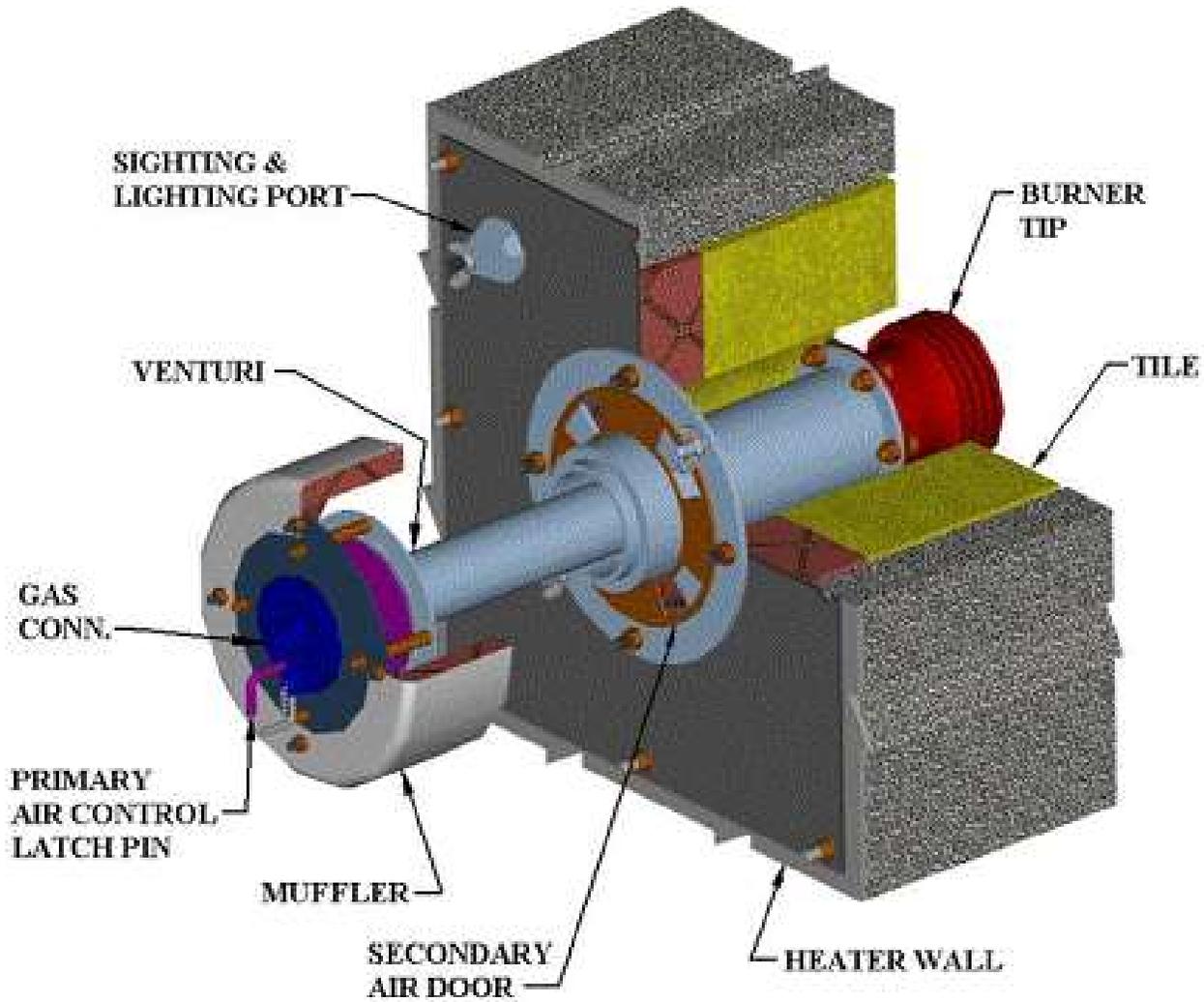
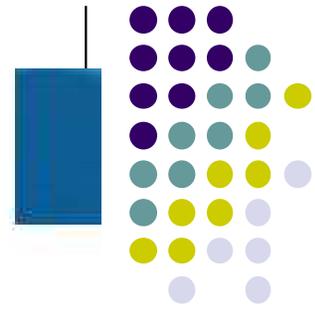
Floor Burner



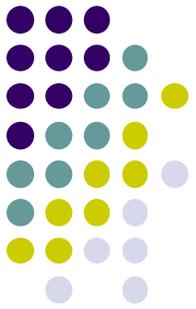
Boquillas



Side Wall Burner



Flue Gas Fan





QUEMADORES FUEL – OIL: ATOMIZACIÓN DEL COMBUSTIBLE

ATOMIZADOR

A - CON PULVERIZACIÓN MECÁNICA

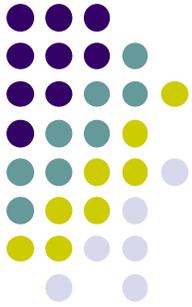
- a) Con presión directa
- b) Con retorno
- c) Con presión directa y acanaladuras
- d) Con presión directa a pistón
- e) Con presión directa, doble circuito de presión

B - PULVERIZACIÓN CON FLUIDO AUXILIAR

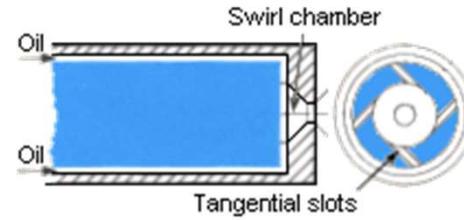
- a) De vapor
- b) De pulverización mecánica con vapor
- c) De aire, alta presión
- d) De aire, media presión
- e) De aire, baja presión

C - COPA GIRATORIA

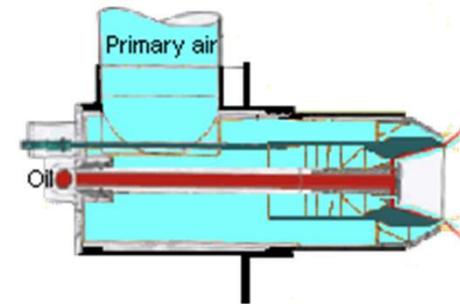
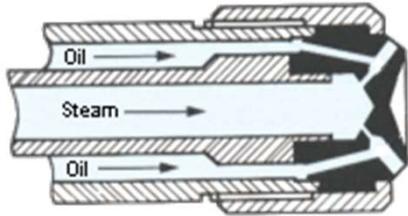
QUEMADORES FUEL - OIL



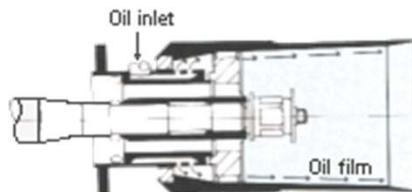
ATOMIZADOR CON PULVERIZACIÓN MECÁNICA



ATOMIZADOR CON FLUIDO AUXILIAR



ATOMIZADOR DE COPA GIRATORIA



Quemadores, boquillas, atomizadores

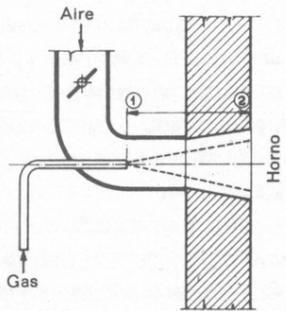


FIG. 20 – QUEMADOR CON PRE-MEZCLADO EN TOBERA

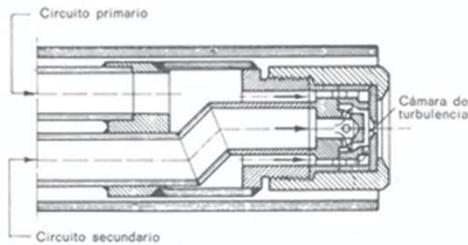


FIG. 27 – ATOMIZADOR DE PRESIÓN DIRECTA

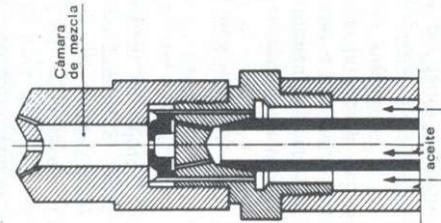


FIG. 28 – CABEZA DE ATOMIZADOR A VAPOR

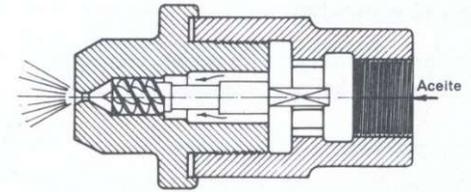


FIG. 23 – ATOMIZADOR CENTRÍFUGO

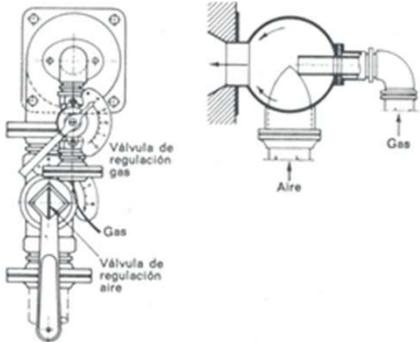


FIG. 21 – QUEMADOR DE PREMEZCLADO PARCIAL

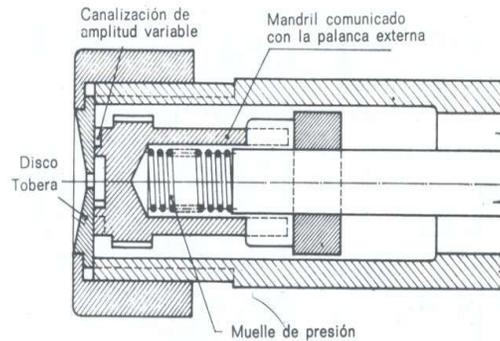


FIG. 25 – TOBERA CON ACANALADURAS REGULABLES

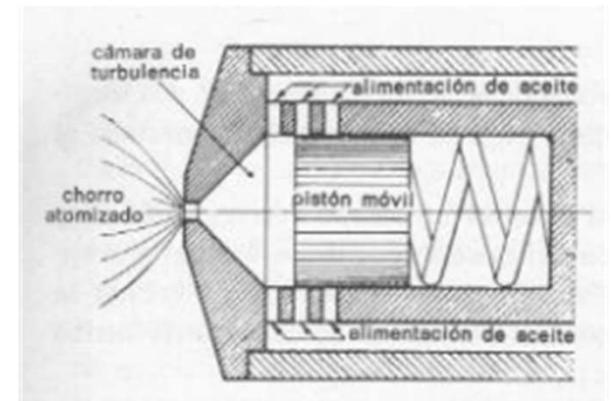


FIG. 26 – CABEZA DE ATOMIZADOR CON PISTÓN

Quemadores, boquillas, atomizadores

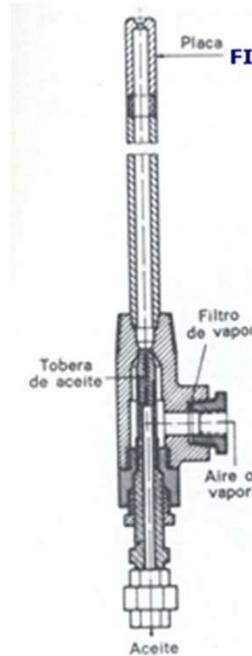
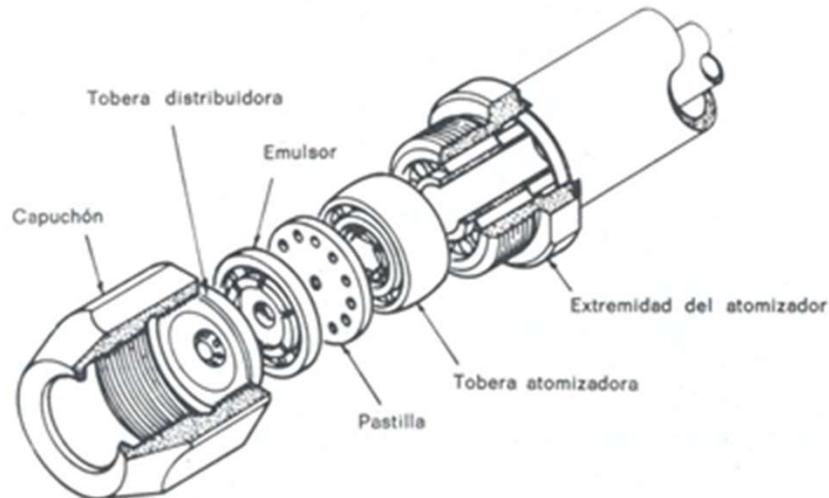


FIG. 30.a - ATOMIZADOR A PRESIÓN MEDIA DE EMULSIÓN

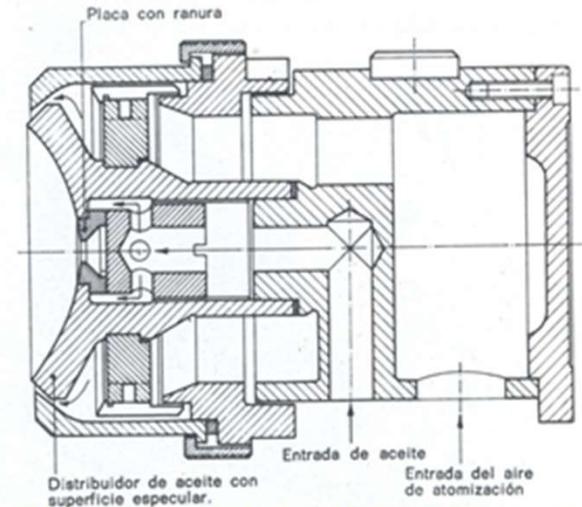
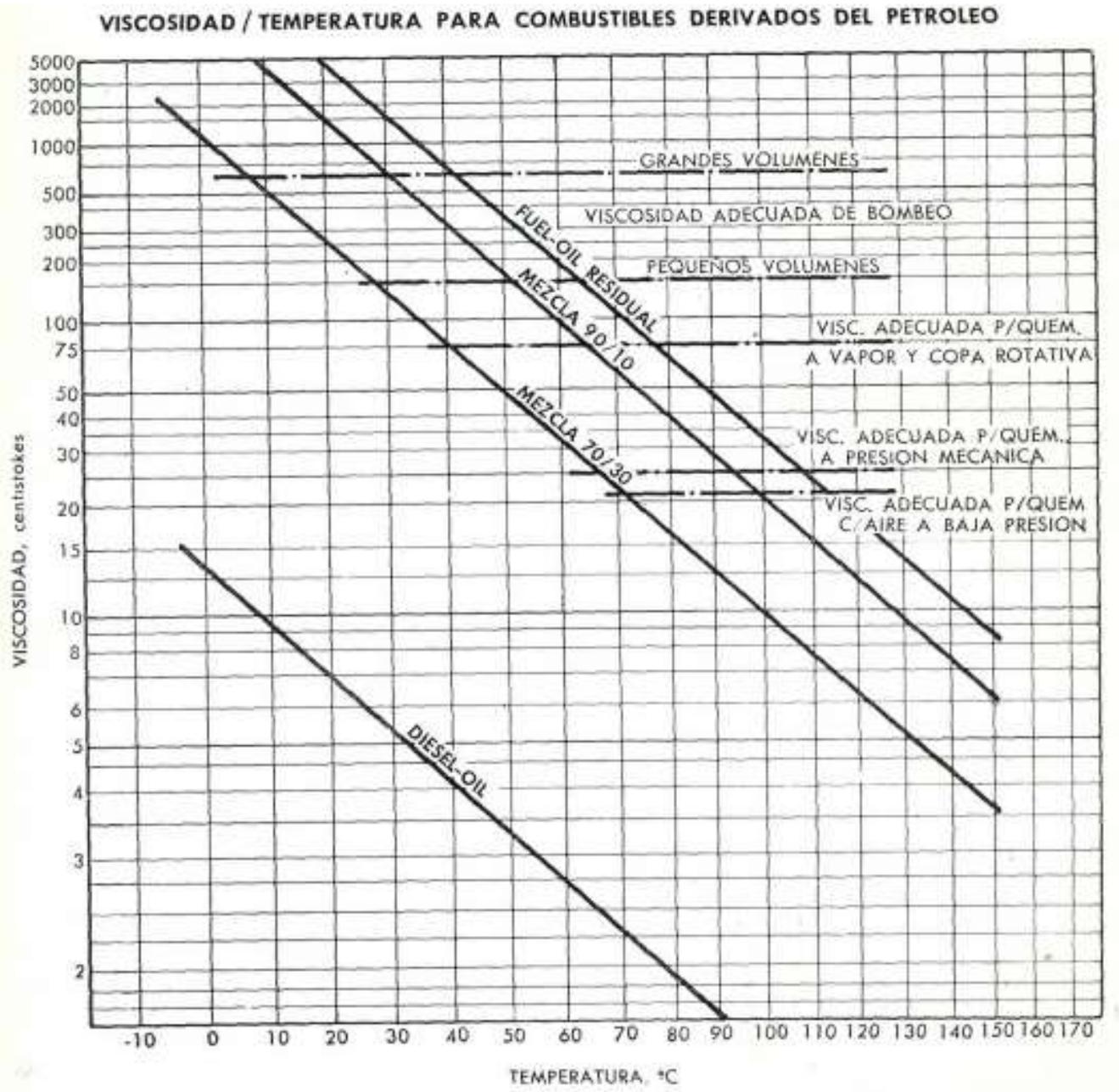
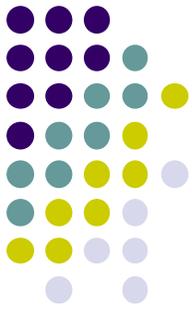


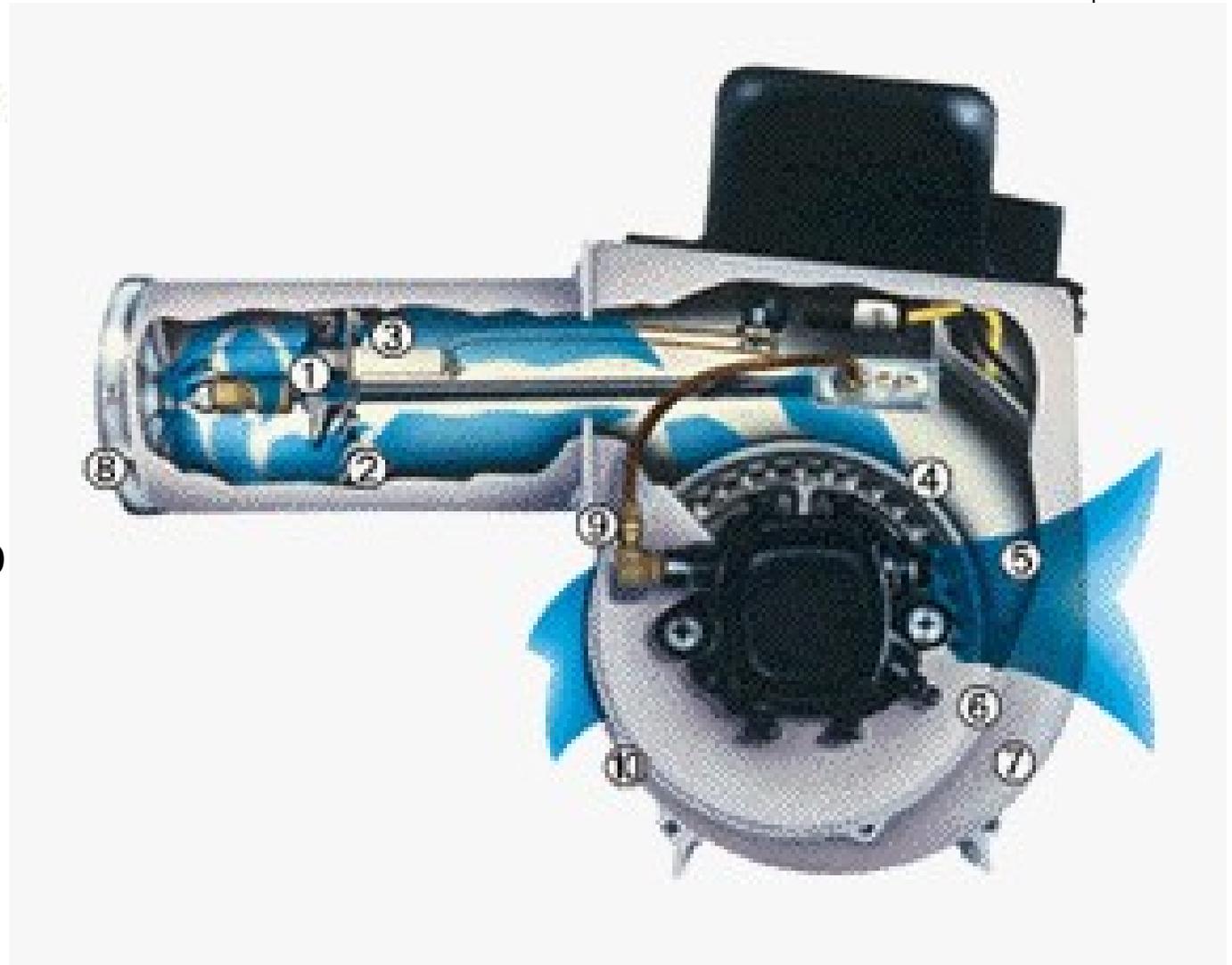
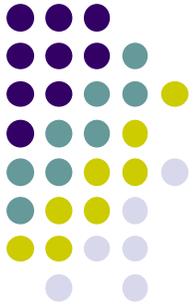
FIG. 30.b - ATOMIZADOR DE AIRE A PRESIÓN MEDIA

FIG. 29 - ATOMIZADOR DE PULVERIZACIÓN MECÁNICA CON AYUDA DE VAPOR Y AIRE COMPRIMIDO

IFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE LA VISCOSIDAD DEL COMBUSTIBLE



QUEMADORES FUEL - OIL



- 1- Electrodo
- 2- Disco Turbo - estático
- 4- Ventilador
- 5- Entrada Aire

QUEMADORES COMBINADOS (FUEL OIL -GAS NATURAL)



MEDIDOR ACEITE

BAJA EMISIÓN DE GAS



CÁMARA AIRE GIRATORIA



BASE REGULACIÓN



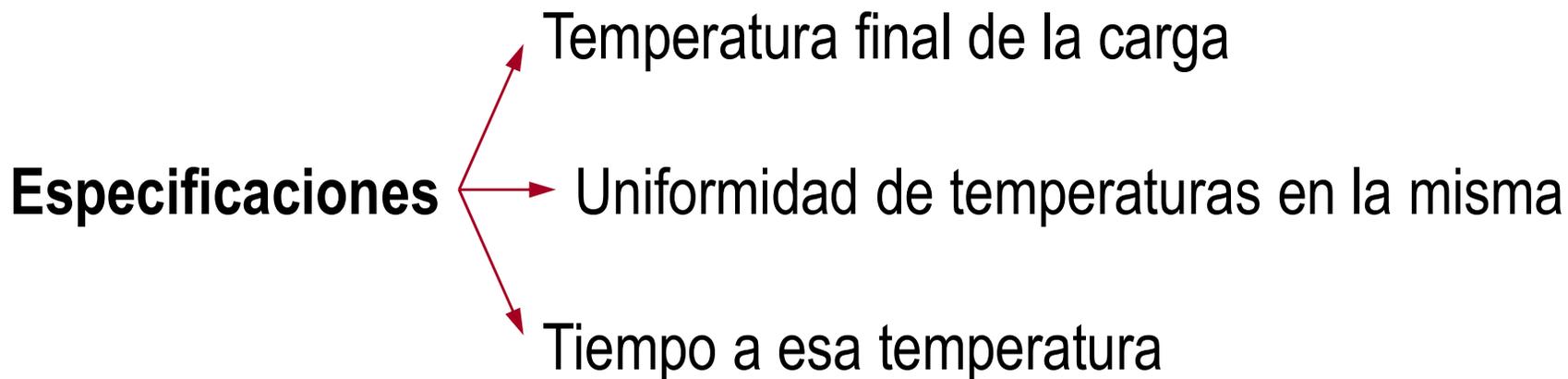
VÁLVULA DE CORTE

CALENTAMIENTO DE SÓLIDOS EN HORNOS INDUSTRIALES



▪ *Cantidad de calor a impartir a la carga:*

Generación de calor → Transmisión de calor al material → Distribución del calor



También se especifica la **velocidad de calentamiento** y la velocidad de enfriamiento.-

El calor que ha de impartirse a la carga es: $Q = G \cdot C_p \cdot \Delta T$

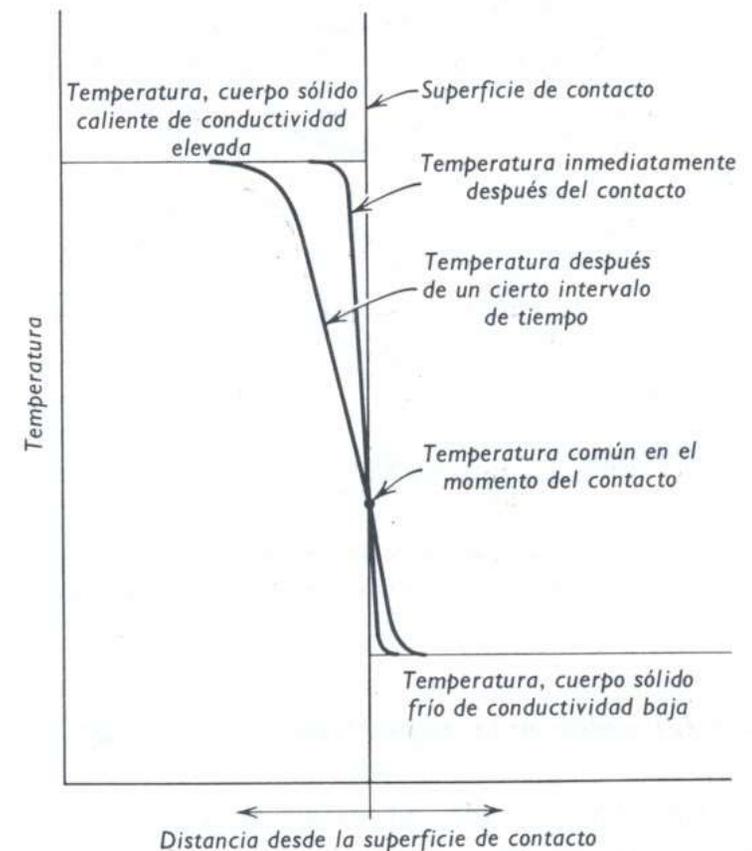
TRANSMISIÓN DEL CALOR A LA SUPERFICIE DE LA CARGA



Teórica: transmisión por conducción, convección y radiación.

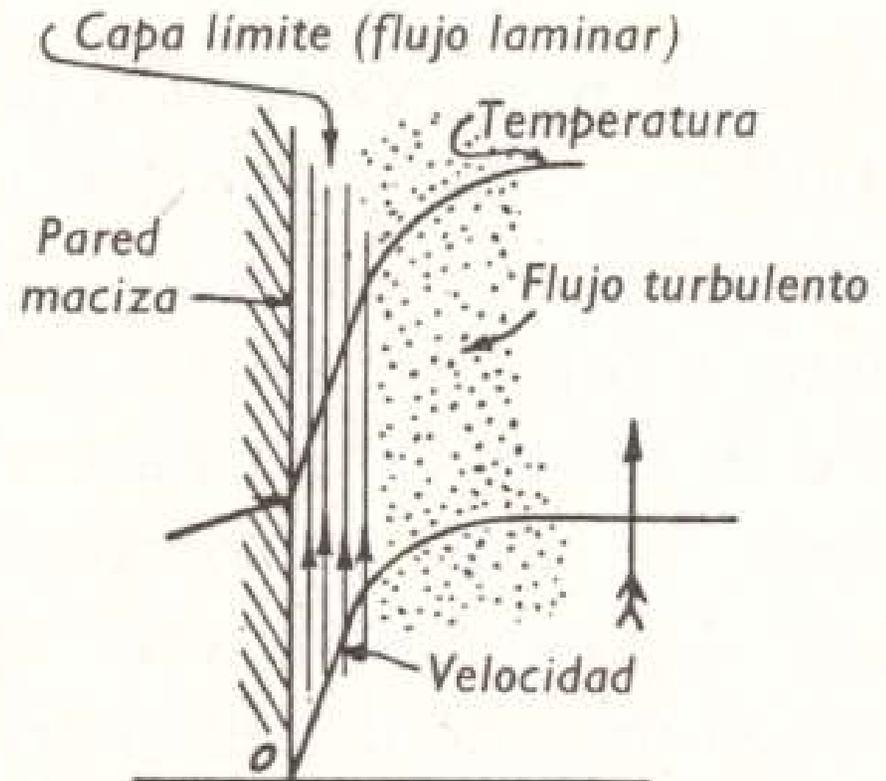
Práctica: transmisión por una combinación de las tres formas.-

■ **Por conducción:** Se produce al dejar un material frío sobre una solera caliente. La cantidad de calor transmitido en la unidad de tiempo depende no solamente de las temperaturas de los dos cuerpos, sino también de la difusibilidad térmica y de las formas de los cuerpos.-





- **Por convección:** Por atracción molecular y de masas se mantiene una capa de fluido en la superficie de cada sólido. El calor se transmite por conducción a través de esta capa estacionaria. Si una corriente de un fluido gaseoso fluye paralelamente a la superficie del sólido, las moléculas vibrantes de ambos gases se mezclan. La película de la capa quieta se acelera y la de la corriente móvil se frena. El espesor de la capa limite quieta (que conduce mal el calor) se reduce y la transmisión del calor aumenta.





▪ ***Por radiación entre sólidos:*** Los cuerpos sólidos calientes irradian calor. El calor transmitido por radiación de un sólido caliente a un sólido más frío es igual a la diferencia entre el calor radiado por el cuerpo caliente al cuerpo mas frío y el calor radiado desde el cuerpo más frío al mas caliente.

$$Q/A = \text{Coeficiente} \times (T/100)^4$$

Para cualquier cuerpo sólido, el coeficiente es igual a $4,92 \times 10^{-8}$ multiplicado por la emisividad. La emisividad es igual a la absorbencia. Se entiende por absorbencia el calor que es absorbido por un cuerpo como fracción de la absorción máxima posible de calor en la unidad de tiempo y por unidad de superficie, pero el calor transmitido realmente es la diferencia entre el calor emitido y el calor recibido por radiación.

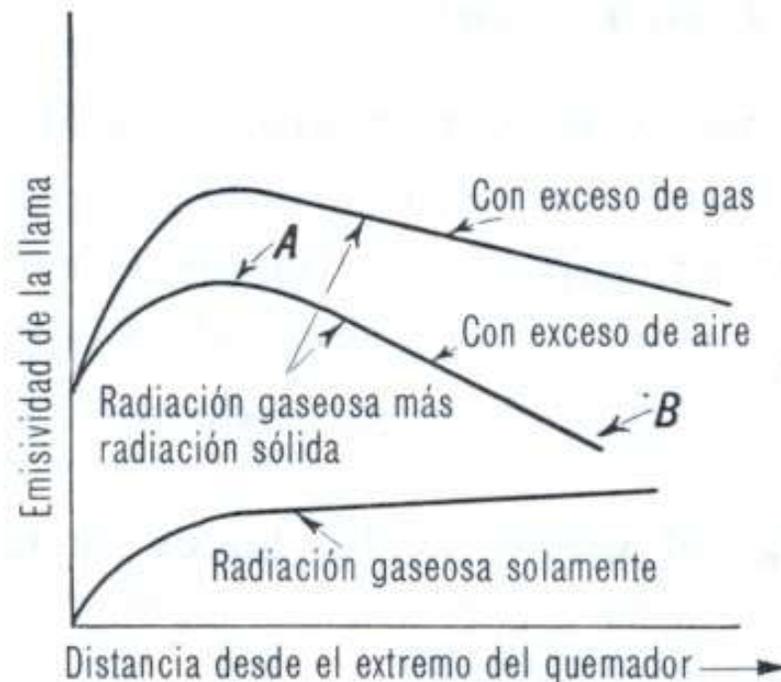


- ***Radiación entre gases puros y sólidos:*** La radiación de los gases puros no sigue la ley de la cuarta potencia de la temperatura ni ninguna otra ley exponencial. Los únicos gases puros que radian calor de forma apreciable son los que poseen tres o más átomos por molécula, como CO_2 , H_2O , SO_2 ; el monóxido de carbono, aunque diatómico también da algo de radiación. Los cálculos de la transmisión del calor se basan únicamente en la observación.



▪ **Radiación de llamas luminosas:** La transmisión del calor de una llama es mayor que la de un gas puro que tiene la misma temperatura. La diferencia es tanto mas pronunciada cuanto más elevada es la temperatura. En cambio, la radiación de los gases puros no puede crecer tan rápidamente como la radiación de sólidos.

La radiación de la llama es una función de muchas variables, siendo las más importantes: composición del combustible, relación combustible – aire , espesor de la llama, distancia del quemador.



DISTRIBUCIÓN DEL CALOR EN UN HORNO

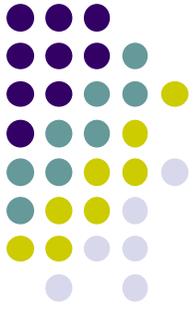


La mayor parte del calor se libera en la zona de combustión.

- 1- Paso de calor a la carga.
- 2- Pérdidas en el ambiente por radiación y convección desde la superficie exterior de las paredes o por conducción al suelo.
- 3- Paredes del horno y a través de la solera incrementando la temperatura de estas partes.
- 4- Radiación a través de grietas u otras aberturas.
- 5- Gases del horno que salen por la puerta.

Existen, además, perdidas especiales que son características de diversos tipos de hornos .

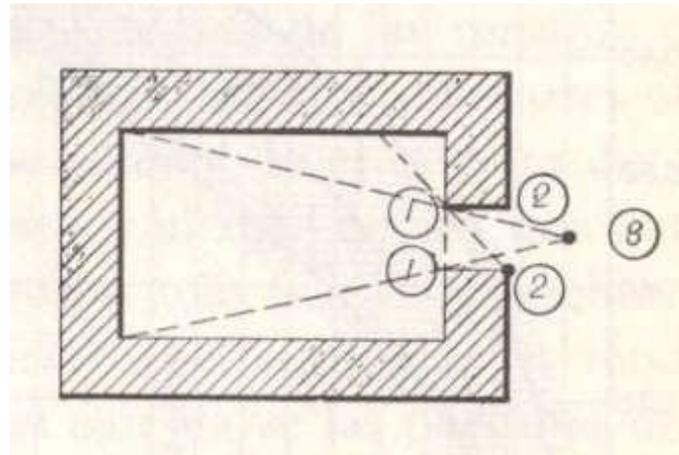
PÉRDIDAS



- ***Pérdidas por las paredes:*** son las que más afectan a la economía del horno. Estas dependen del tipo de funcionamiento del horno:

- funcionamiento continuo
- funcionamiento intermitente

- ***Pérdidas de calor por radiación a través de las aberturas***



- ***Pérdidas de calor por los gases que escapan por las puertas***

PÉRDIDAS ESPECIALES

- *Pérdidas de calor debidas a que la carga sobresale fuera del horno*
- *Pérdidas de calor en las tenazas y máquinas de cargar*
- *Pérdidas de calor en las bateas, cadenas transportadoras y rodillos*

OTRAS PÉRDIDAS

- *Calor sensible sacado del horno por los productos de combustión*
- *Pérdidas de calor por combustión incompleta*

