

# UT – N°3

## Hornos y Calderas

# CALDERAS

# FACULTAD DE INGENIERÍA

# UNIVERSIDAD NACIONAL

# DE CUYO

# EQUIPO DOCENTE

Héctor Armando Perez

Ing. Industrial

hector.perez@ingenieria.uncuyo.edu.ar

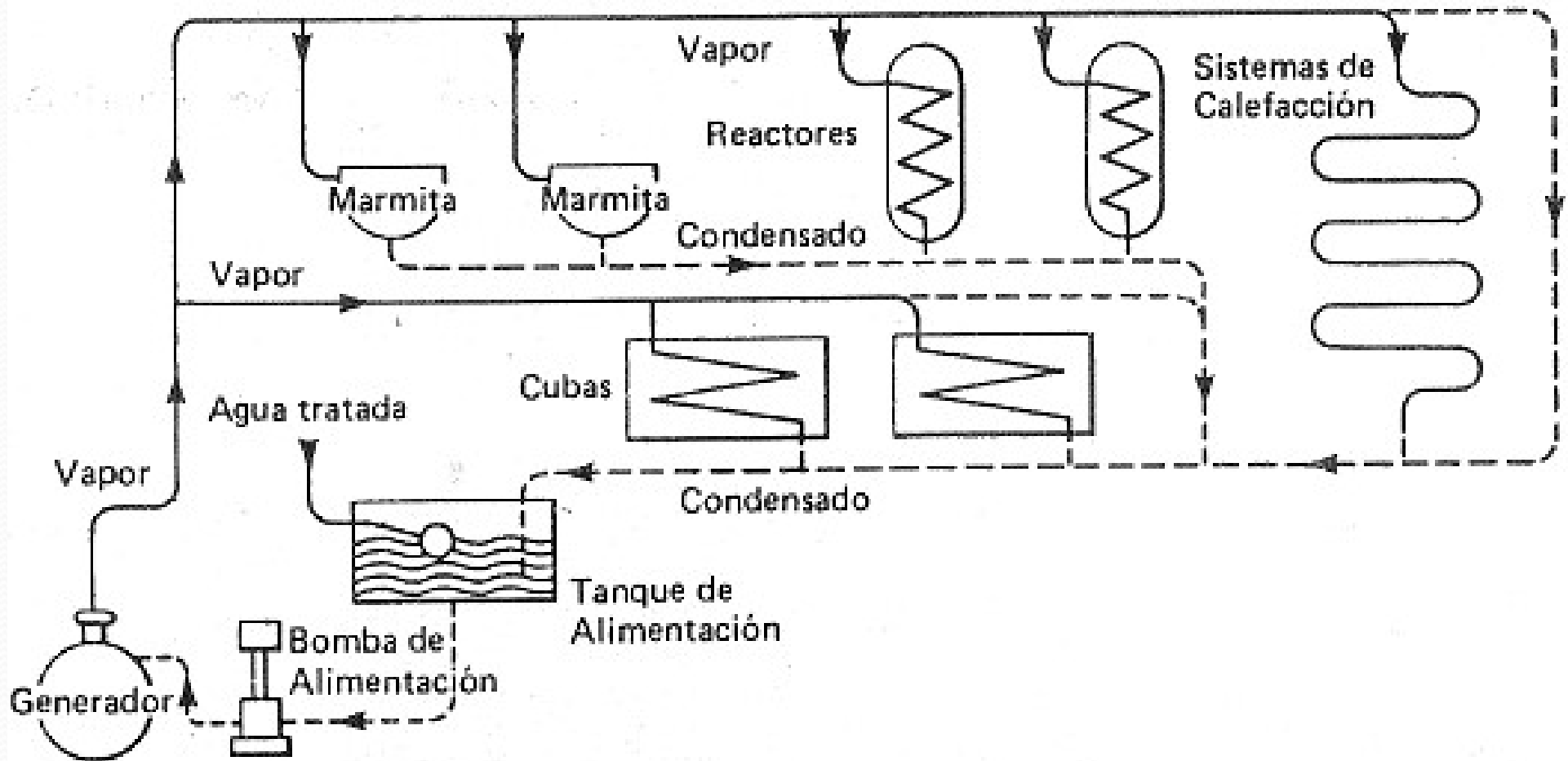
# ¿ Qué es una Caldera?

- Las calderas o generadores de vapor son equipos industriales que, aplicando el calor generado por la combustión de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan o calientan el agua para aplicaciones industriales.

# Usos del Vapor de Calderas

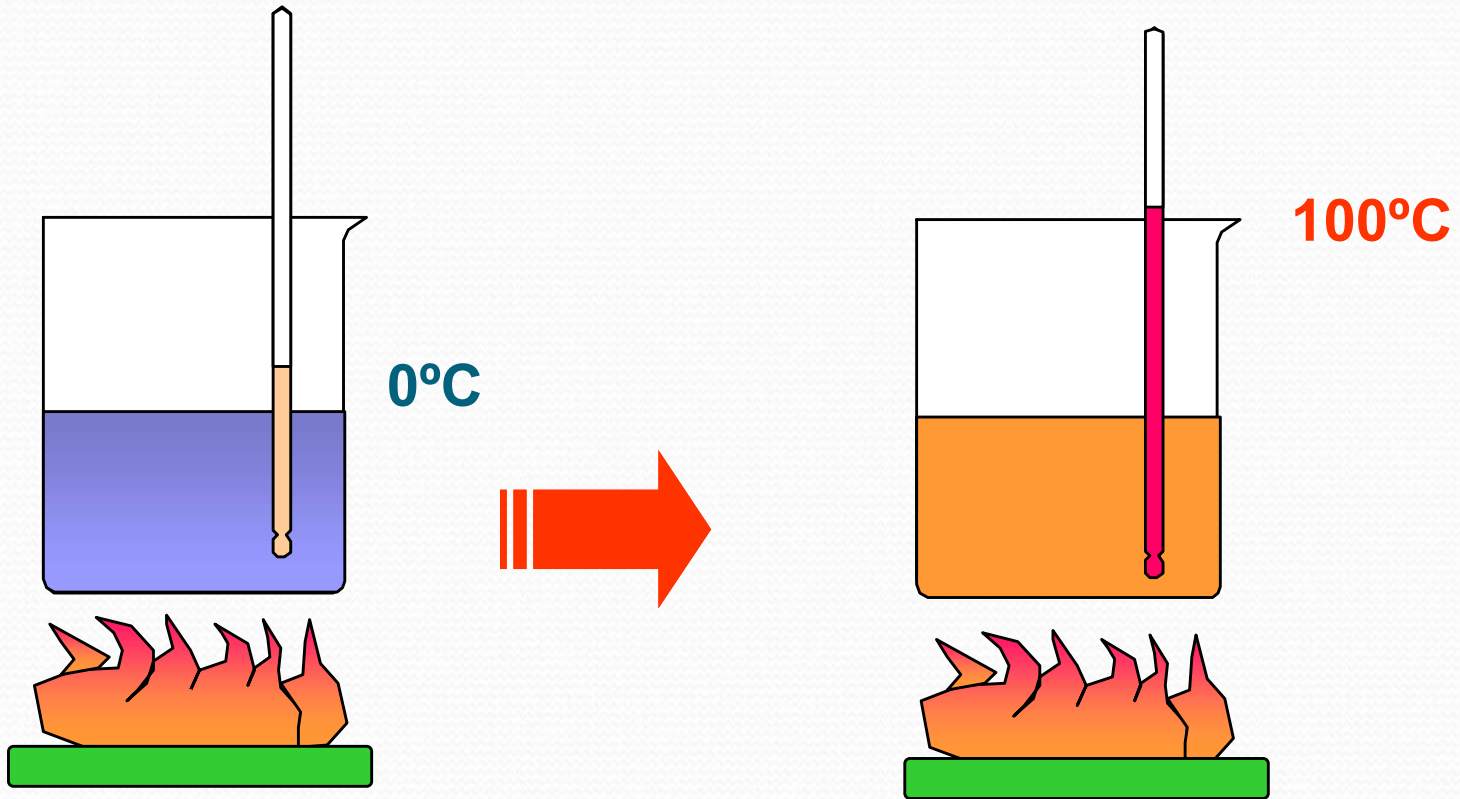
Heavy users	Medium users	Light users
Food and drinks	Heating and ventilating	Electronics
Pharmaceuticals	Cooking	Horticulture
Oil refining	Curing	Air conditioning
Chemicals	Chilling	Humidifying
Plastics	Fermenting	
Pulp and paper	Treating	
Sugar refining	Cleaning	
Textiles	Melting	
Metal processing	Baking	
Rubber and tyres	Drying	
Shipbuilding		
Power generation		

# PRODUCCIÓN, DISTRIBUCIÓN Y CONSUMO DE VAPOR





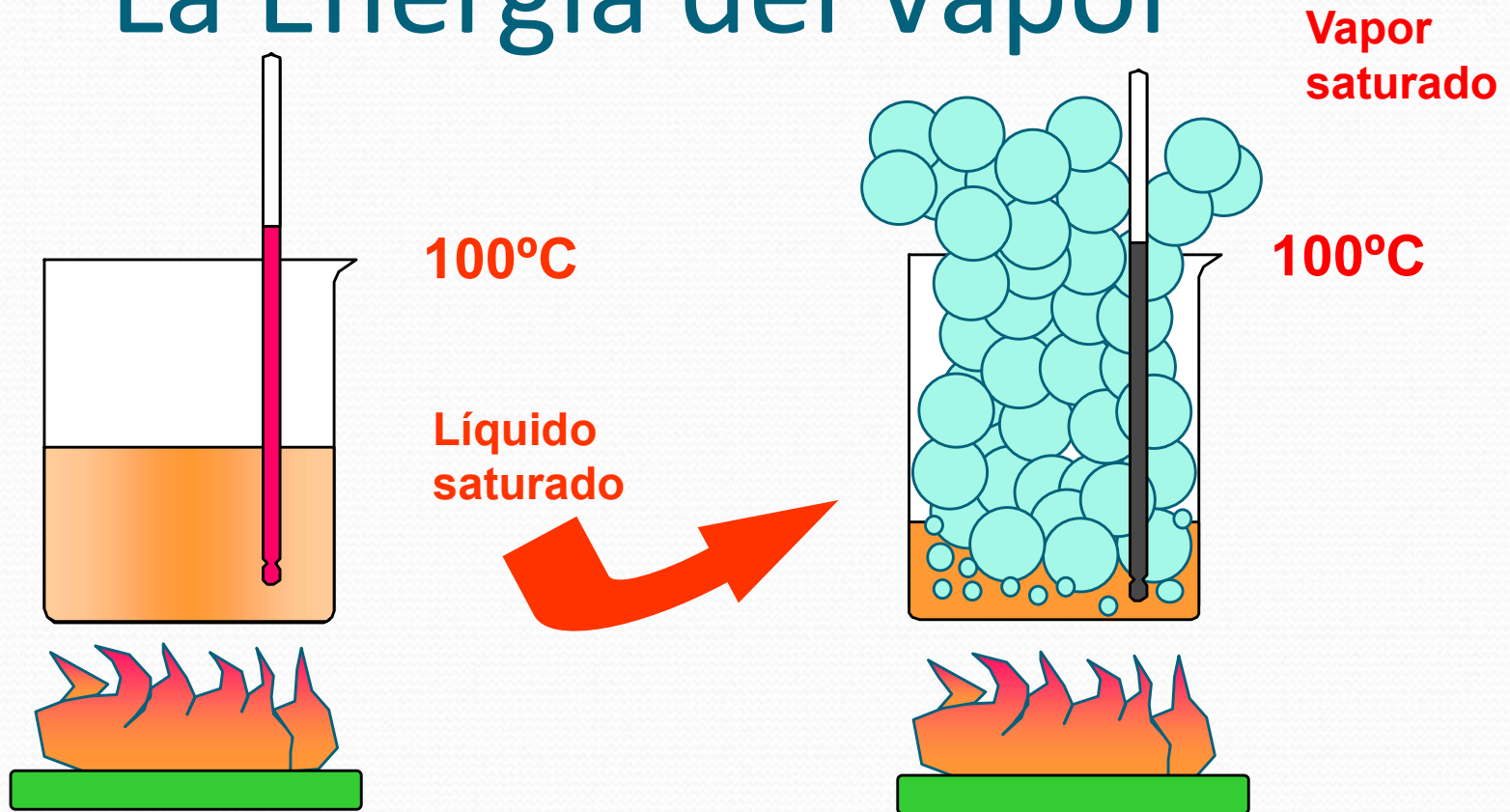
# La Energía del Vapor



El agua absorbe calor observándose un cambio en la temperatura.



# La Energía del Vapor



La temperatura se mantiene igual.  
El calor es utilizado en el cambio de estado físico.

Temperatura (°C)	$h_f$ (kJ/kg)	$h_{fg}$ (kJ/kg)	$h_g$ (kJ/kg)	Vol. esp. (m <sup>3</sup> /kg)
100.00	419.0	2257.0	2676	1.673

# Tablas de Vapor

<b>Presión (bar m)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>hf (kJ/kg)</b>	<b>hfg(kJ/kg)</b>	<b>hg(kJ/kg)</b>	<b>Vol. esp. (m3/kg)</b>
<b>0.0</b>	<b>100.00</b>	<b>419.0</b>	<b>2257.0</b>	<b>2676</b>	<b>1.673</b>
<b>1.0</b>	<b>120.42</b>	<b>505.6</b>	<b>2201.1</b>	<b>2706.7</b>	<b>0.881</b>
<b>2.0</b>	<b>133.69</b>	<b>562.2</b>	<b>2163.3</b>	<b>2725.5</b>	<b>0.603</b>
<b>5.0</b>	<b>158.92</b>	<b>670.9</b>	<b>2086.0</b>	<b>2756.9</b>	<b>0.315</b>
<b>10.0</b>	<b>184.13</b>	<b>781.6</b>	<b>2000.1</b>	<b>2781.7</b>	<b>0.177</b>
<b>15.0</b>	<b>201.45</b>	<b>859.0</b>	<b>1935.0</b>	<b>2794.0</b>	<b>0.124</b>
<b>21.0</b>	<b>217.35</b>	<b>931.3</b>	<b>1870.1</b>	<b>2801.4</b>	<b>0.0906</b>

# Tablas de Vapor

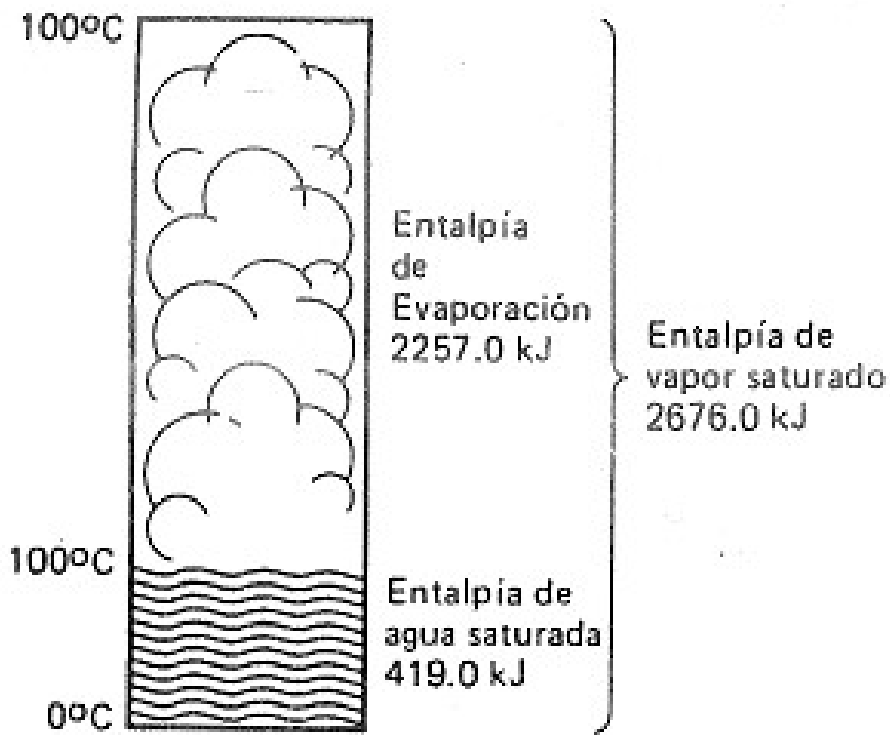


Fig. 3 Entalpía de 1 kg de vapor a presión atmosférica.

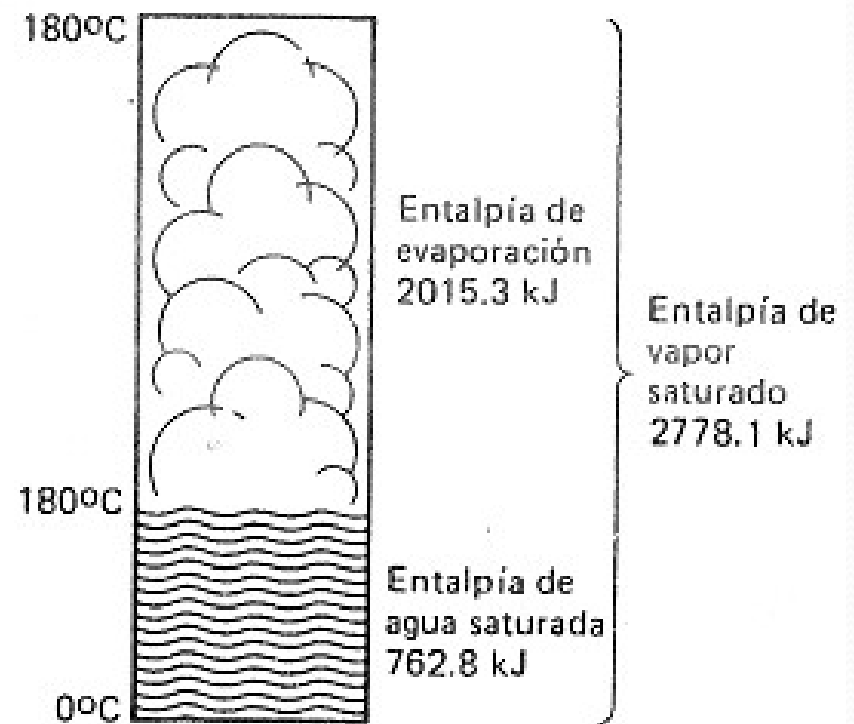
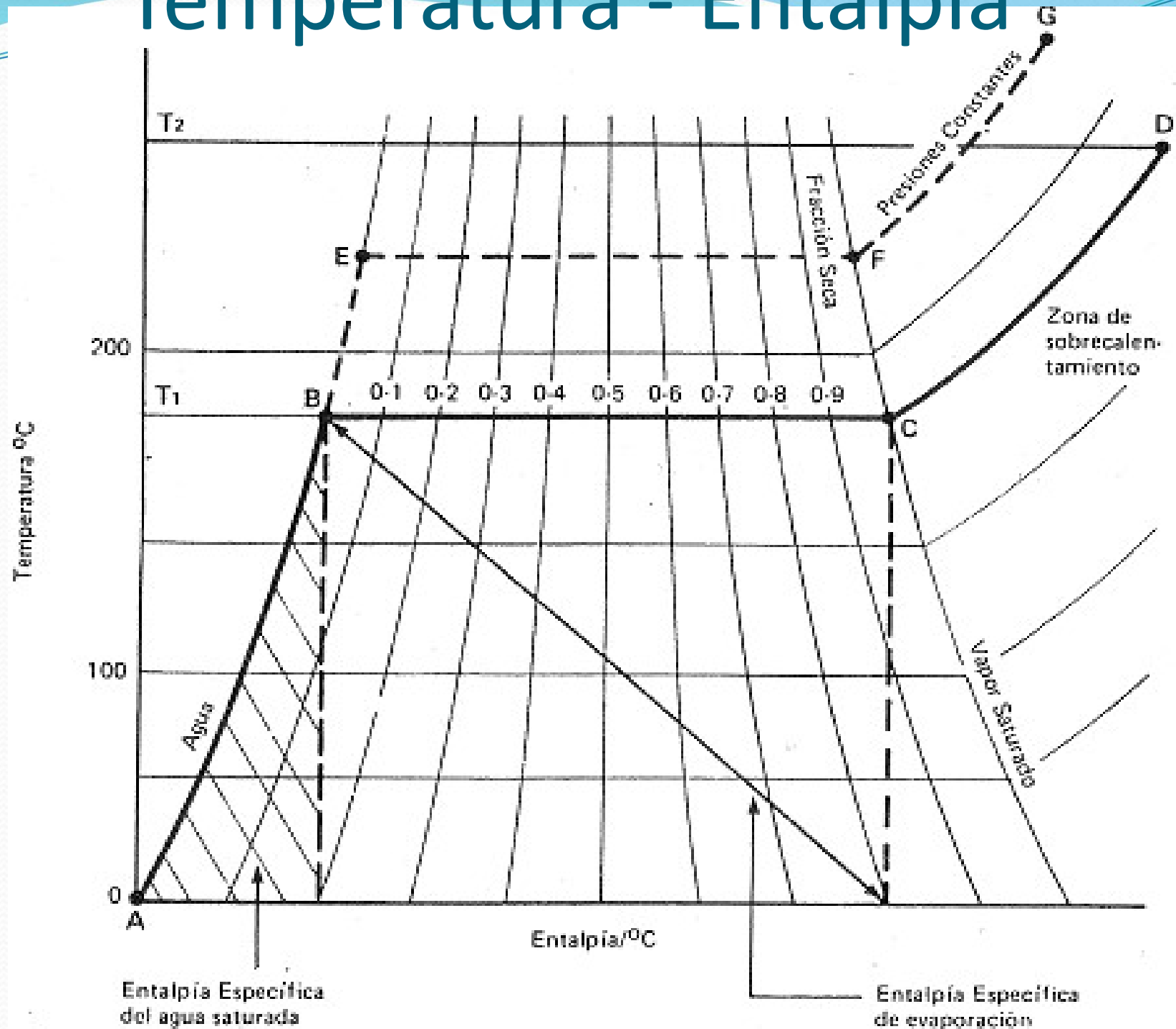
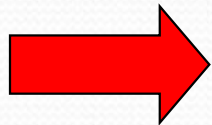


Fig. 4 Entalpía de 1 kg de vapor a 10 bar absolutos.

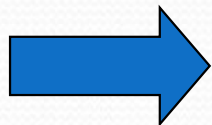
# Temperatura - Entalpía



# Temperatura - Entalpía



- i) Cuando la presión del vapor aumenta:  
La entalpía del vapor saturado aumenta ligeramente  
La entalpía del agua saturada aumenta  
La entalpía de evaporación disminuye



- ii) Cuando la presión del vapor disminuye:  
La entalpía del vapor saturado disminuye ligeramente  
La entalpía del agua saturada disminuye  
La entalpía de evaporación aumenta.

# Tablas de vapor

Presión		Temperatura °C	Entalpía Específica			Volumen específico vapor m <sup>3</sup> /kg
bar	kPa		Agua (hf) kJ/kg	Evaporación (hfg) kJ/kg	Vapor (hg) kJ/kg	
0,30	30	69,113	289,331	2 335,28	2 624,61	5,229 76
0,50	50	81,338	340,578	2 304,77	2 645,35	3,240 85
0,75	75	91,782	384,469	2 278,10	2 662,57	2,217 51
0,95	95	98,204	411,524	2 261,39	2 672,91	1,777 59
1,00	100	99,632	417,547	2 257,63	2 675,18	1,694 32
1,013 25	101,325	100,001	419,101	2 256,66	2 675,76	1,673 59
0	0	100,001	419,101	2 256,66	2 675,76	1,673 59
0,1	10	102,660	430,327	2 249,62	2 679,95	1,532 56
0,2	20	105,128	440,758	2 243,05	2 683,81	1,414 08
0,3	30	107,434	450,510	2 236,86	2 687,37	1,313 11
0,4	40	109,600	459,676	2 231,02	2 690,69	1,225 99
0,5	50	111,642	468,331	2 225,47	2 693,80	1,150 03
0,6	60	113,577	476,534	2 220,19	2 696,72	1,083 20
0,7	70	115,416	484,336	2 215,13	2 699,47	1,023 92
0,8	80	117,169	491,779	2 210,29	2 702,07	0,970 98
0,9	90	118,844	498,898	2 205,64	2 704,54	0,923 40
1,0	100	120,449	505,725	2 201,16	2 706,88	0,880 39
1,1	110	121,991	512,284	2 196,83	2 709,12	0,841 33
1,2	120	123,474	518,599	2 192,65	2 711,25	0,805 68
1,3	130	124,903	524,690	2 188,60	2 713,29	0,773 01
1,4	140	126,283	530,574	2 184,67	2 715,25	0,742 97
1,5	150	127,617	536,266	2 180,86	2 717,13	0,715 23
1,6	160	128,909	541,781	2 177,15	2 718,93	0,689 56
1,7	170	130,161	547,130	2 173,54	2 720,67	0,665 71
1,8	180	131,378	552,324	2 170,02	2 722,34	0,643 50
1,9	190	132,557	557,374	2 166,58	2 723,96	0,622 78
2,0	200	133,705	562,289	2 163,23	2 725,52	0,603 36
2,2	220	135,913	571,742	2 156,74	2 728,48	0,568 06
2,4	240	138,011	580,741	2 150,53	2 731,27	0,536 76
2,6	260	140,013	589,333	2 144,55	2 733,89	0,508 82
2,8	280	141,927	597,559	2 138,80	2 736,36	0,483 71
3,0	300	143,762	605,453	2 133,24	2 738,70	0,461 02
3,2	320	145,525	613,044	2 127,87	2 740,92	0,440 41
3,4	340	147,221	620,357	2 122,67	2 743,02	0,421 61
3,6	360	148,858	627,417	2 117,61	2 745,03	0,404 38
3,8	380	150,438	634,242	2 112,70	2 746,94	0,388 54
4,0	400	151,966	640,849	2 107,92	2 748,77	0,373 92
4,5	450	155,584	656,515	2 096,49	2 753,00	0,341 86
5,0	500	158,949	671,117	2 085,70	2 756,82	0,314 96
5,5	550	162,098	684,811	2 075,47	2 760,28	0,292 06

# Factores Determinantes para la Selección de Calderas

- Aplicaciones relacionadas con la Presión de Trabajo y el Caudal de Vapor a utilizar.
  - ✓ Calefacción
  - ✓ Utilización en Procesos Industriales
  - ✓ Generación de energía Eléctrica .

# Clasificación de las Calderas

- **Uso**
  - Móviles
  - Estacionarias
- **Presión**
  - De Mínima Presión
  - De Baja Presión
  - De Generación de Fuerza
- **Materiales de que están construidas**
- **Contenido de los tubos**
  - Calderas de tubos de humo o pirotubulares
  - Calderas acuotubulares



# Clasificación de las Calderas

## Por el Contenido de los tubos

### Calderas de tubos de humo o pirotubulares

- De hogar Exterior (calderas de diseño antiguo)
- De hogar Interior
  - Tipo Común
  - Tipo Escocesa
    - De Fondo seco
    - De Fondo Húmedo

### Calderas acuotubulares

- De circulación Natural
- De circulación Forzada

# Calderas Humotubulares

## Igneo tubulares o Pirotubulares:

Son aquellas en que los gases y humos provenientes de la combustión pasan por tubos que se encuentran sumergidos y refrigerados por agua dentro de un cuerpo cilíndrico.

### **Ventajas:**

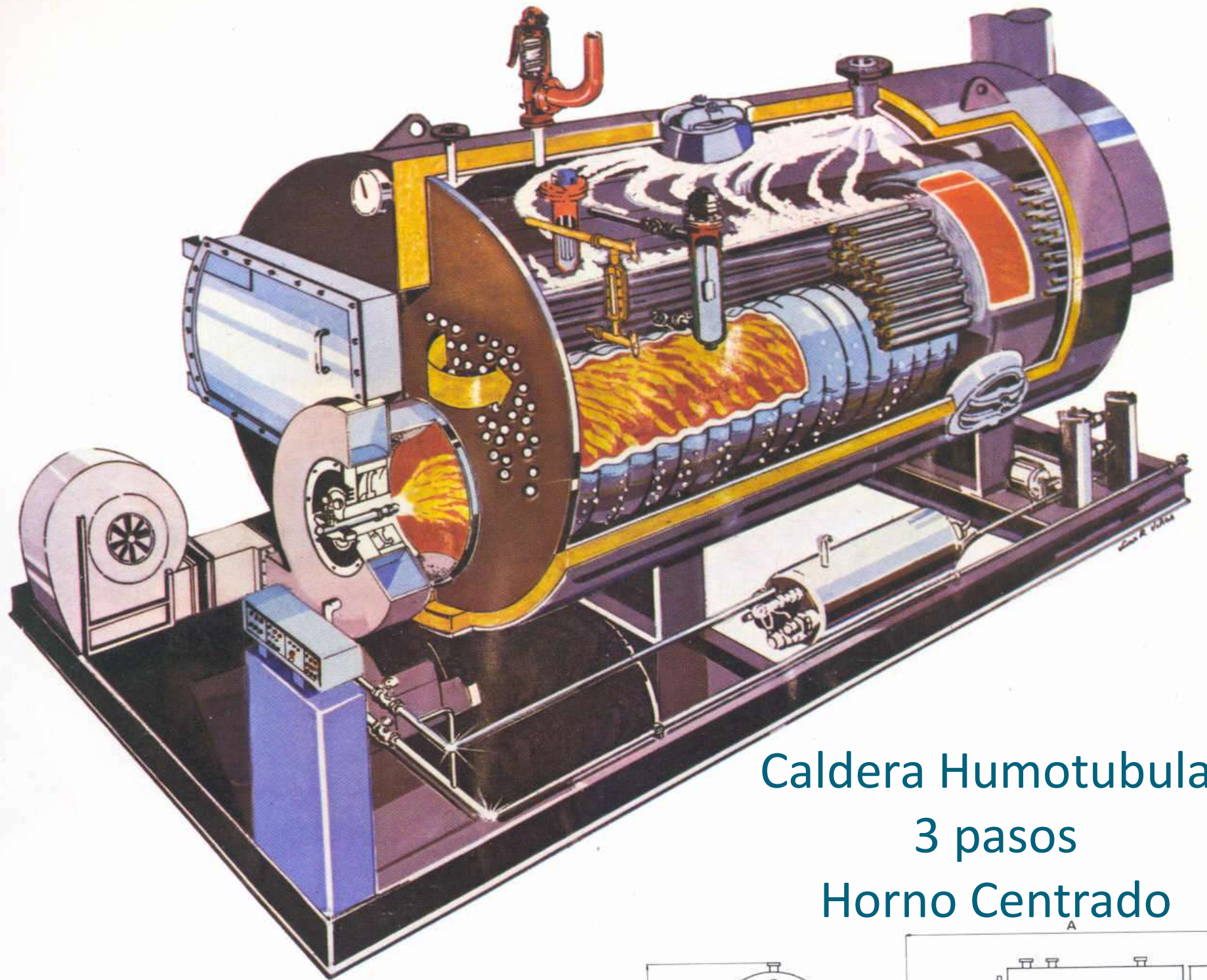
- ⇒ Menor costo inicial debido a su simplicidad de diseño.
- ⇒ Mayor flexibilidad de operación
- ⇒ Menores exigencias de pureza en el agua de alimentación.

### **Inconvenientes:**

- ⇒ Mayor tamaño y peso (Kg vapor/ m<sup>2</sup> sup. Calefacción).
- ⇒ Mayor tiempo para subir presión y entrar en funcionamiento.
- ⇒ No son empleables para altas presiones ( $P < 12 \text{ Kg/cm}^2$ )

# Calderas Igneotubulares o Pirotubulares:

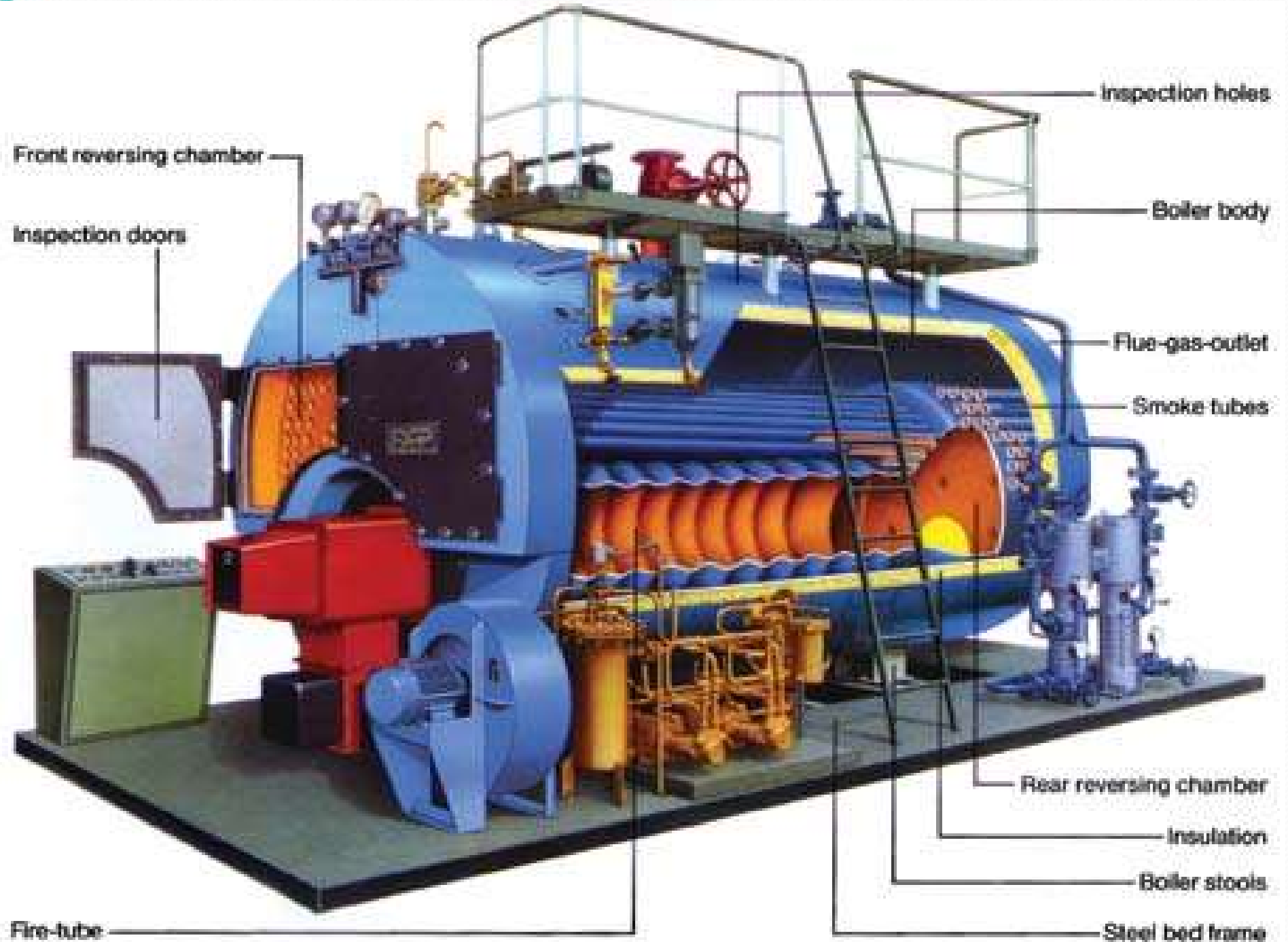




Caldera Humotubular  
3 pasos  
Horno Centrado



# Partes Componentes



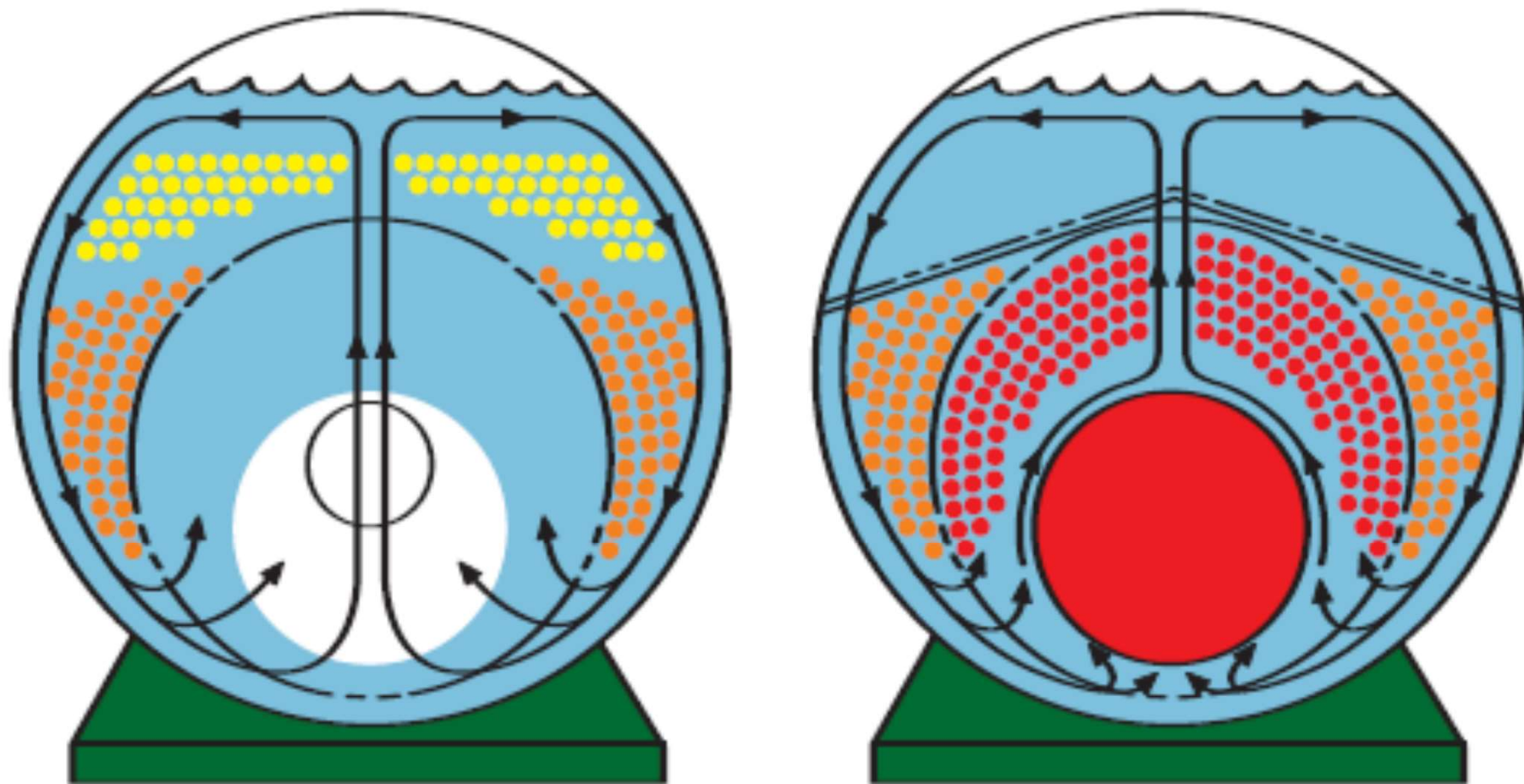
# Caldera Humotubular 3 pasos Horno Descentrado



# Caldera Humotubular 3 pasos Horno Descentrado

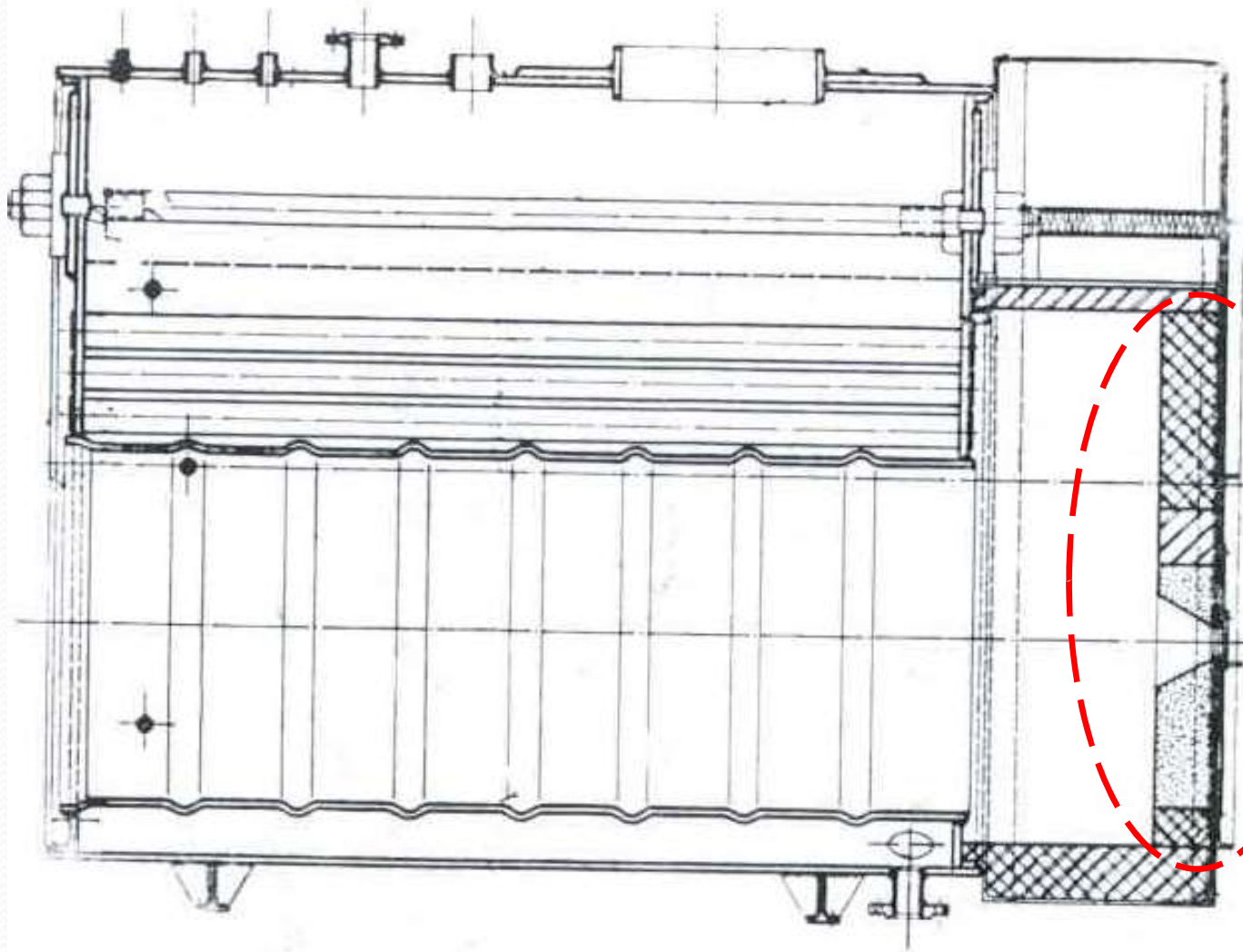


# Caldera Humotubular – Circulación de Agua

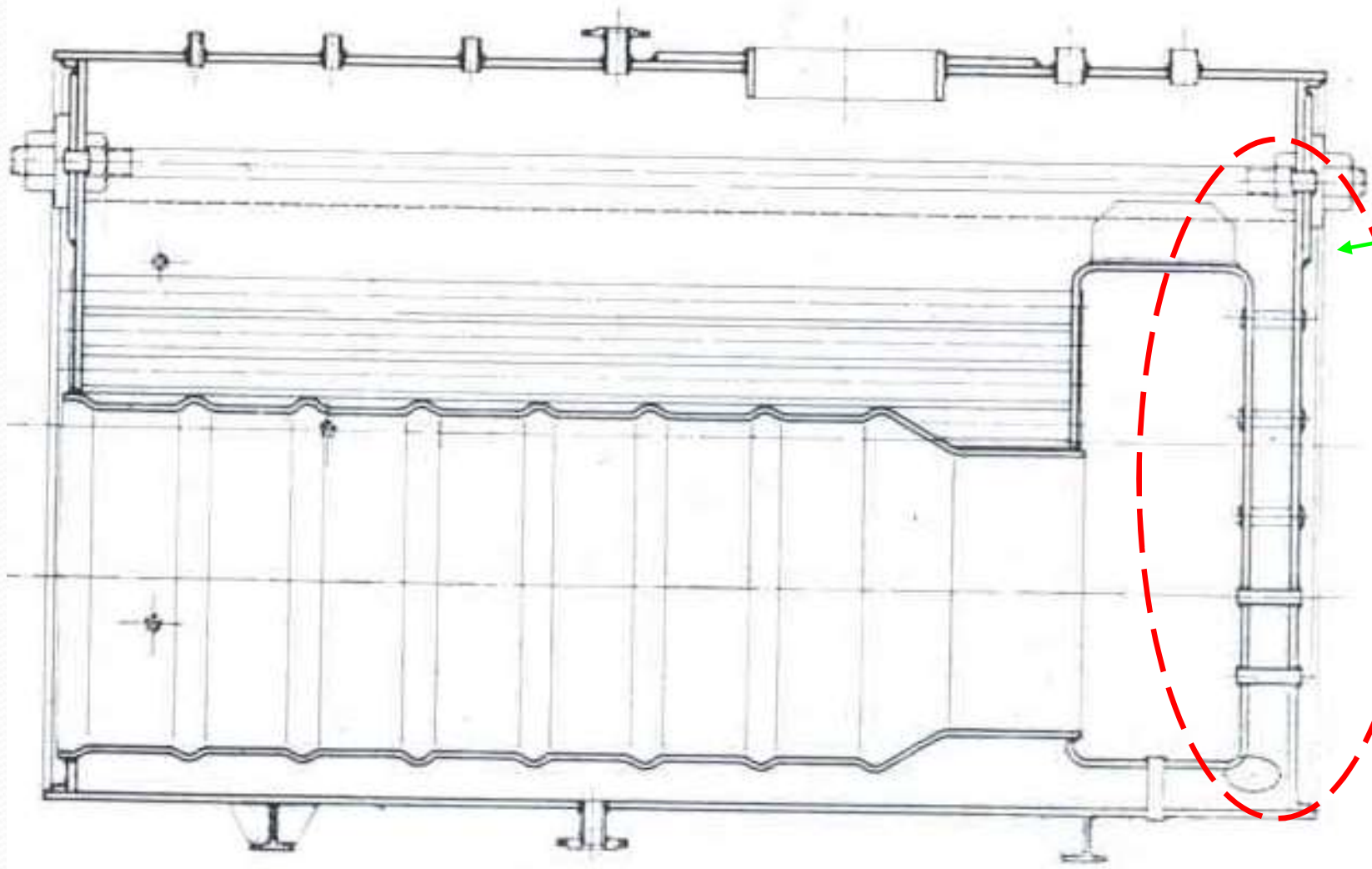




# CALDERA HUMOTUBULAR DE FONDO SECO



# CALDERA HUMOTUBULAR DE FONDO HUMEDO



## **Calderas Acuotubulares:**

Son aquellas en que los gases y humos provenientes de la combustión rodean tubos por cuyo interior circula agua.

### **Ventajas:**

Pueden ser puestas en marcha rápidamente.

Son pequeñas y eficientes con relación a la producción de vapor por unidad de superficie.

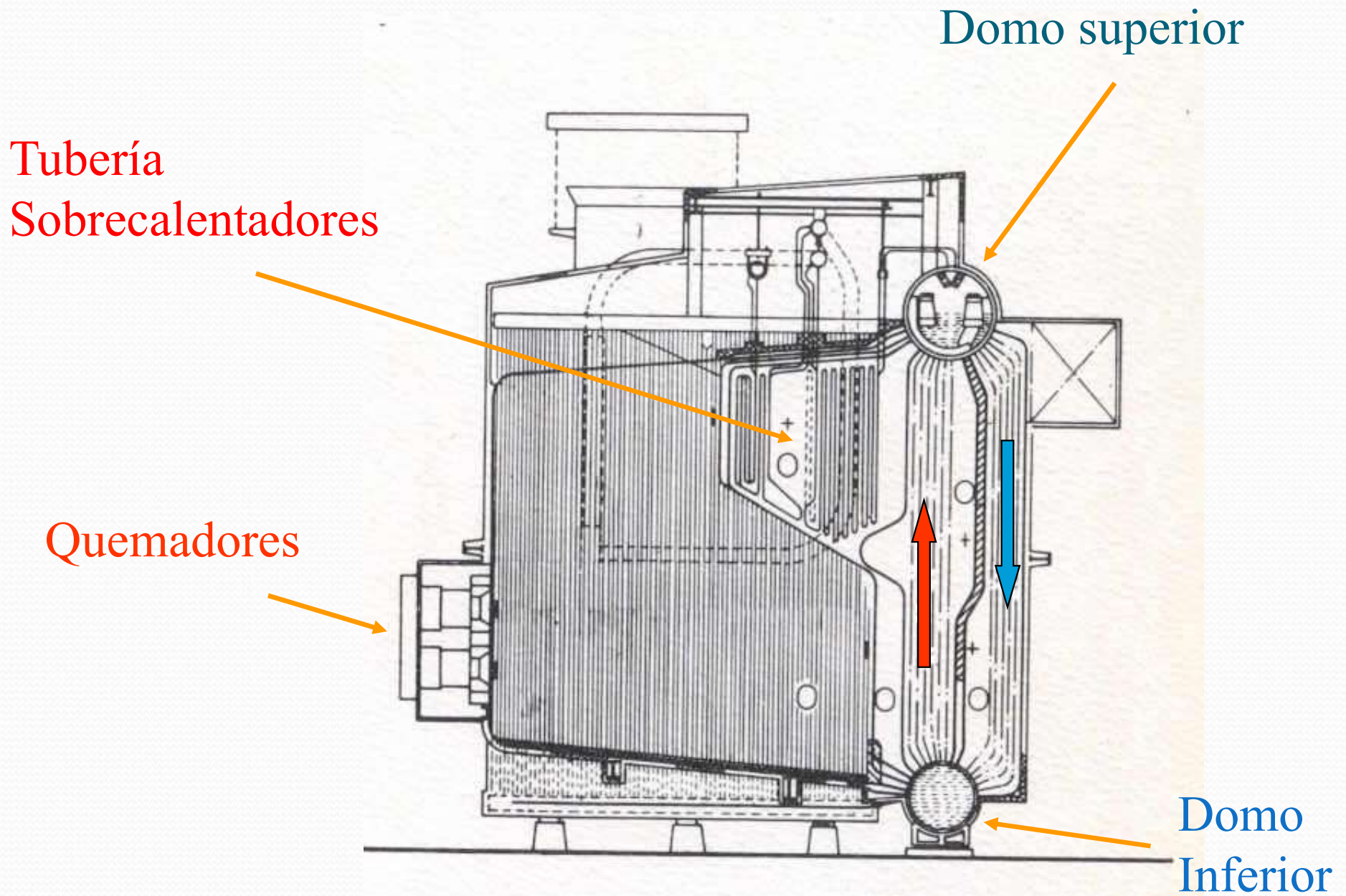
Trabajan a 30 o mas atm.

### **Inconvenientes:**

Mayor costo de inversión

Deben alimentarse con agua de gran pureza (calidad del Agua).

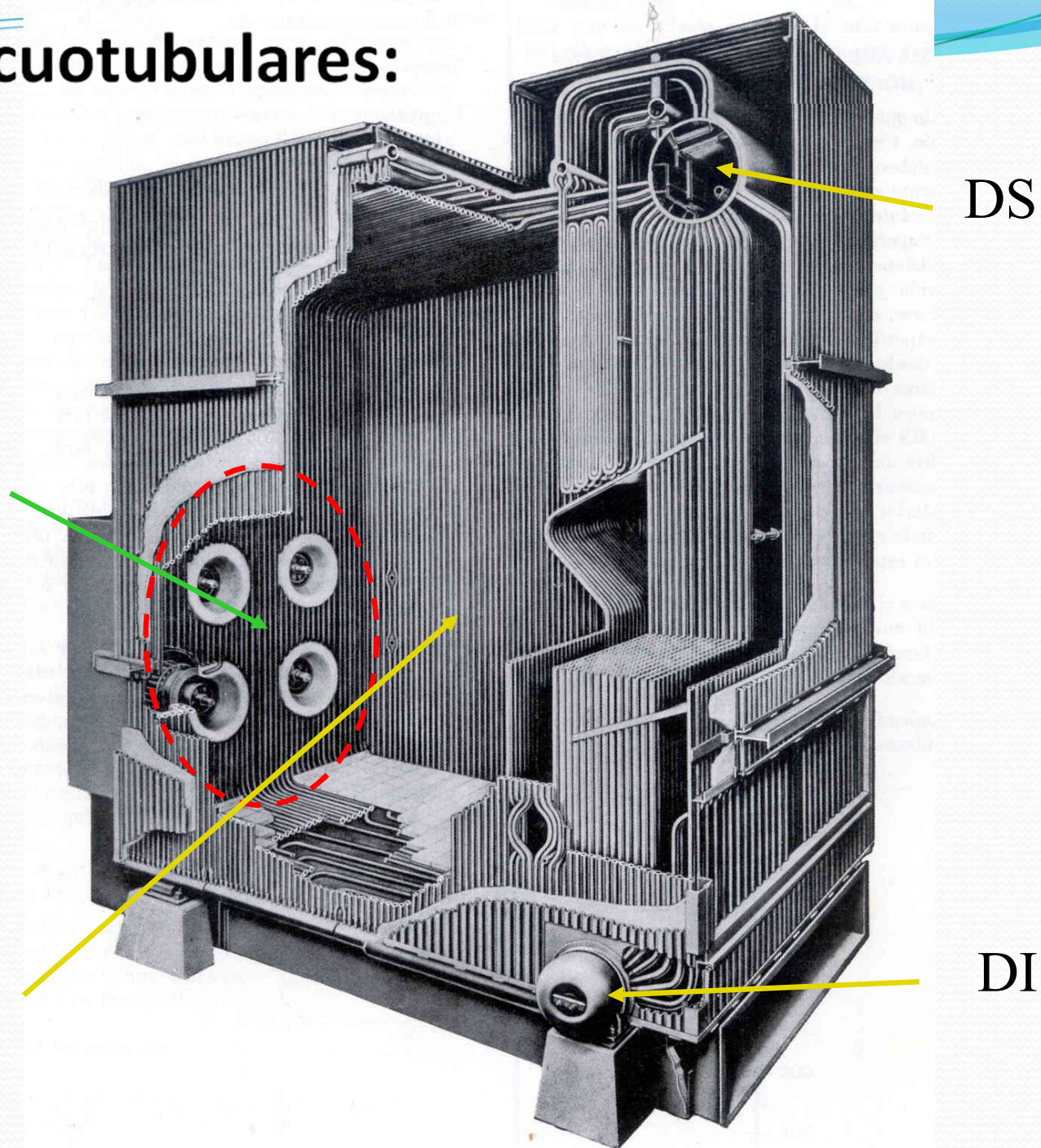
# Calderas Acuotubulares:



# Calderas Acuotubulares:

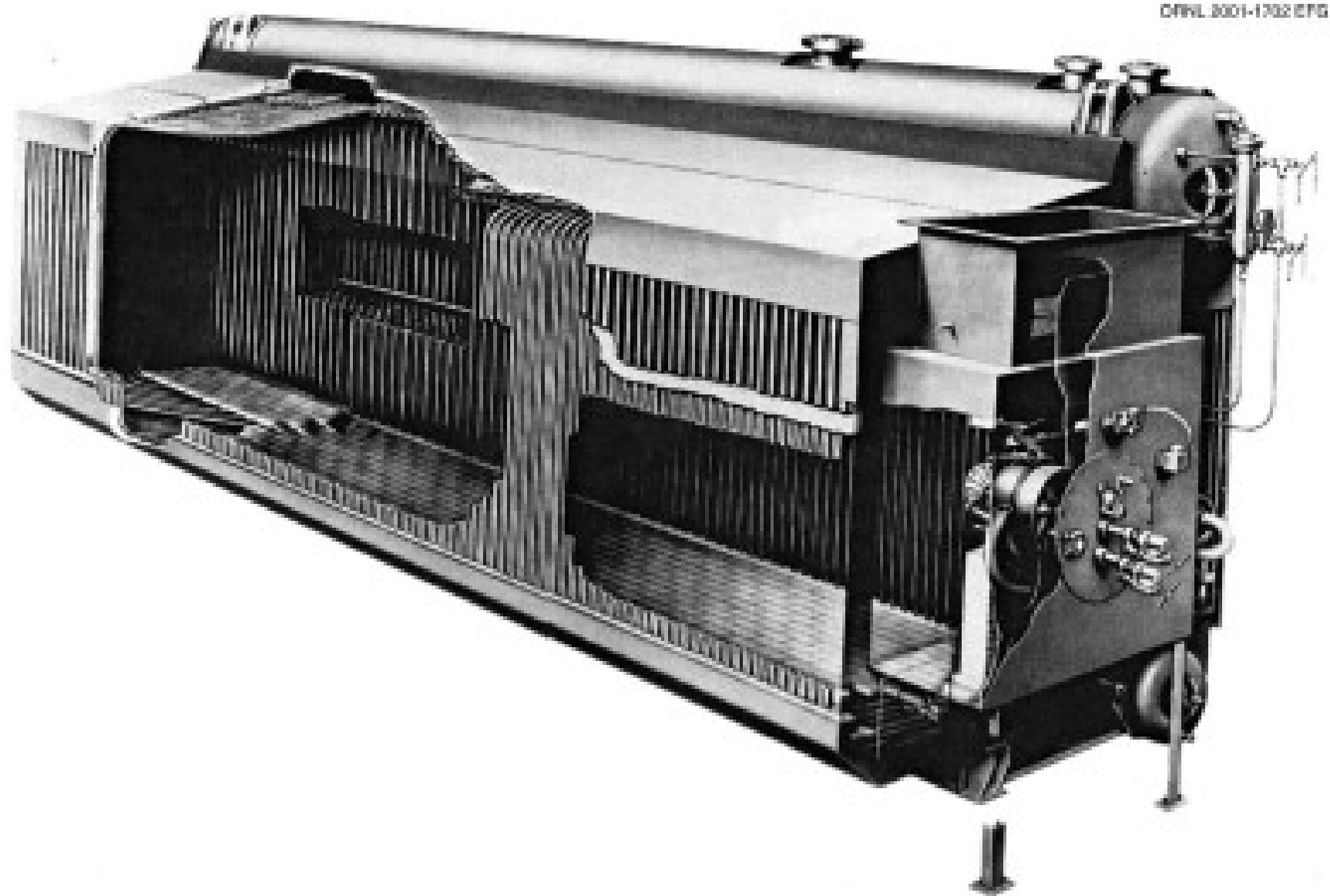
Quemadores

Cámara de  
Combustión



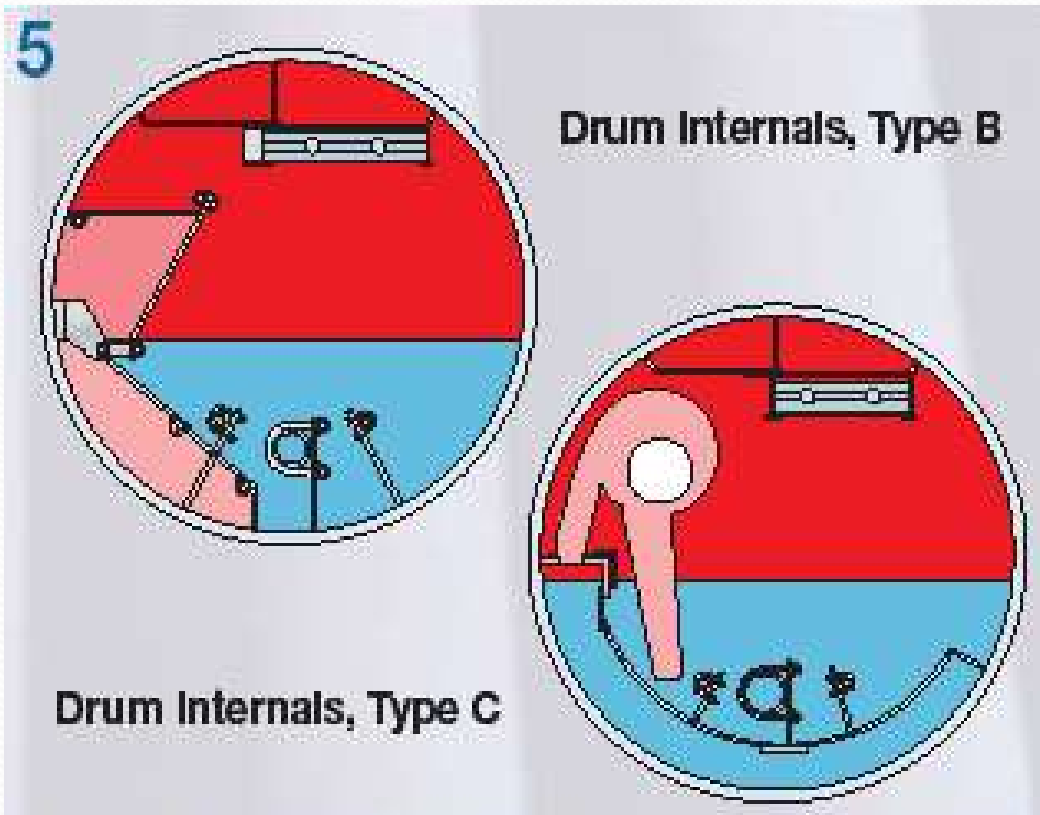
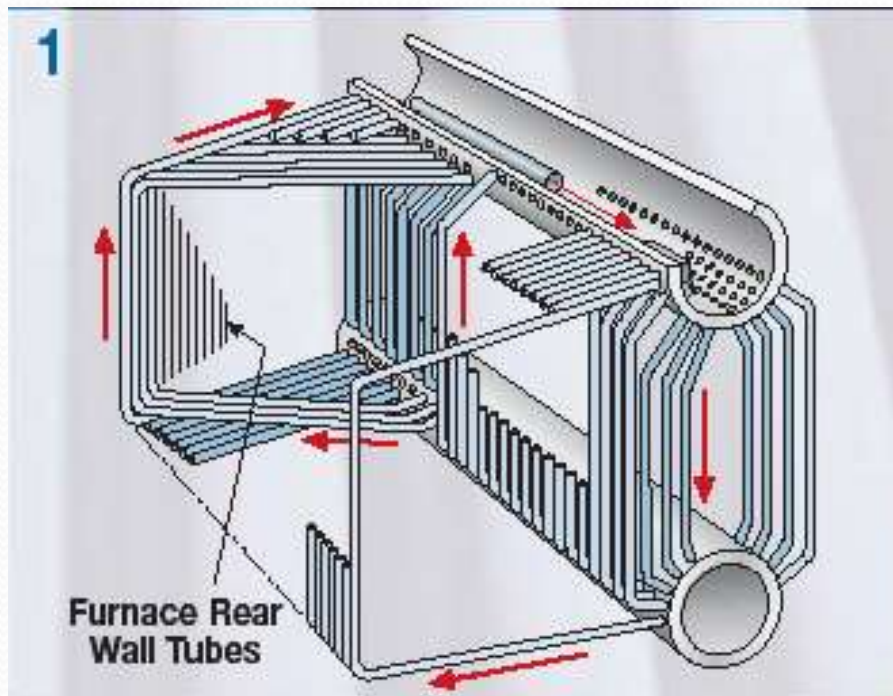
Corte en perspectiva de un generador de vapor VU-60.

# Calderas Acuotubulares:



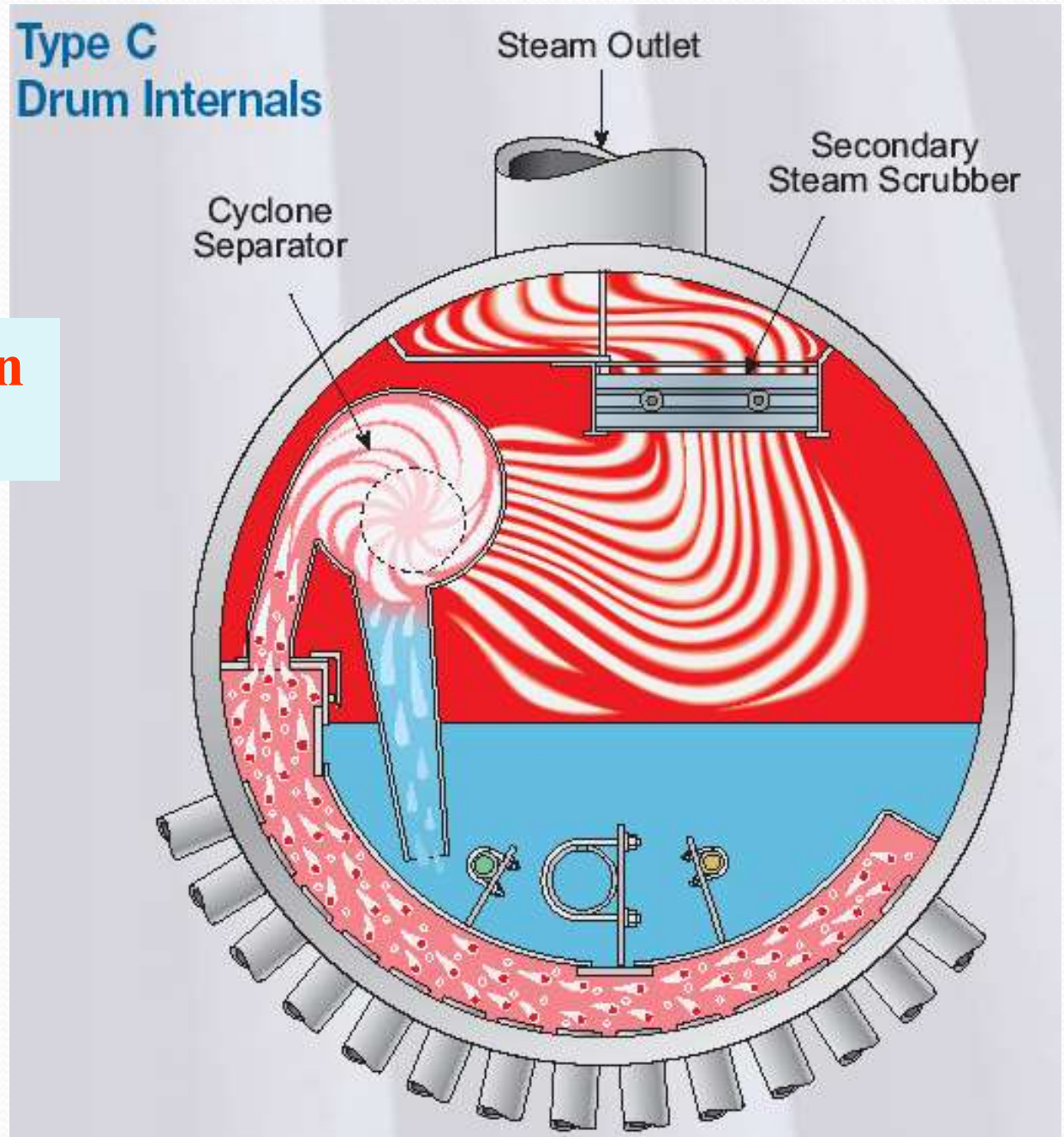
# Calderas Acuotubulares:

## Separadores de Vapor en Domo Superior



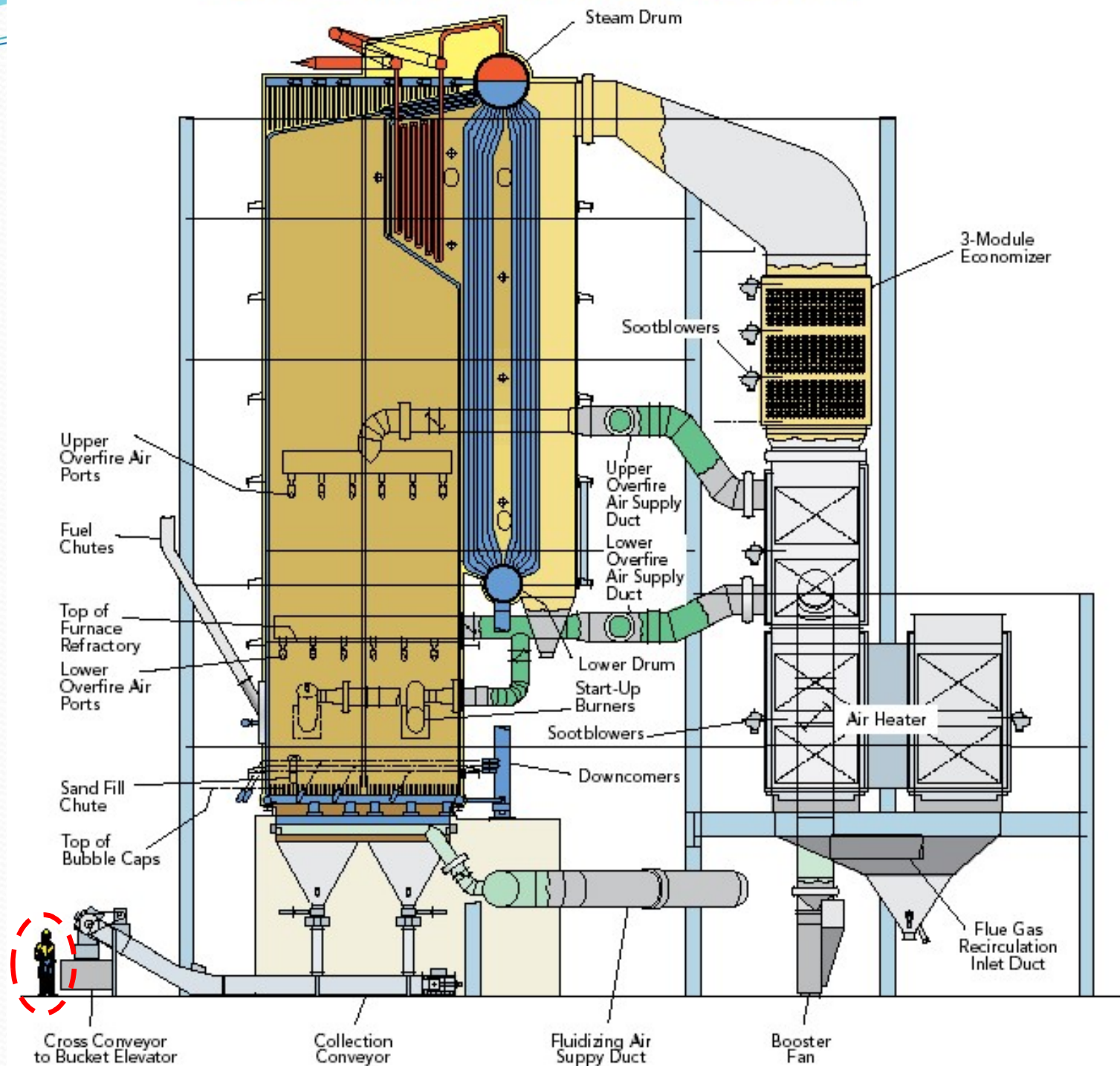
# Calderas Acuotubulares:

## Separadores de Vapor en Domo Superior





# Bottom-Supported Towerpak® BFB Boiler



# Ventajas y Desventajas

Criteria	Shell Boilers	Water Tube Boilers
Water quality	lower requirements, saline operation possible	high requirements, low salt operation required
Maintenance	easy cleaning	more costly
Repeated testing	simple, inspection following hydrostatic testing, extensive non-destructive testing such as ultra-sonic testing only rarely required and only to a low extent	ultra-sonic testing required in addition to hydrostatic test, i.e. time-consuming and costly
Costs at comparable level of manufacturing costs and quality	lower	higher
Efficiency	higher, easy to maintain	lower, more difficult to maintain during operation
Partial load characteristics	Burner control ratio can be Exploited when falling-short of min. load burner can be shut-down without any problems	In case of certain designs, partial load must be limited, burner cannot be switched off-hand
Water contents	higher due to design principle	lower
Accumulation capacity	due to the high water volume, not susceptible to pressure and load fluctuations	susceptible to load and pressure fluctuations resulting from the process
Delivery time	shorter	longer
Space requirement	low	high
Period required for assembly, initial start-up	short	longer

# Tiro

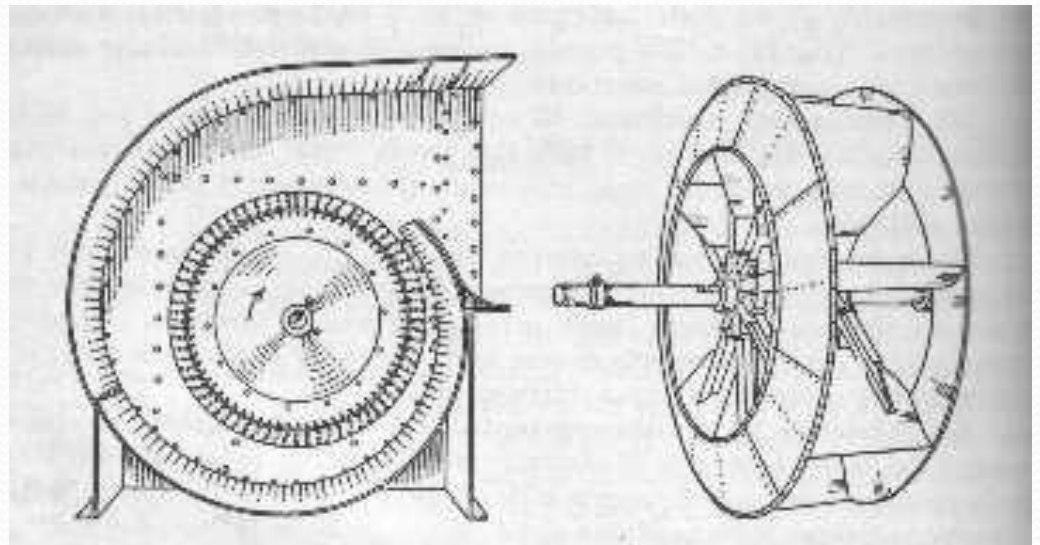
- Es la diferencia entre la presión de la caldera y la presión atmosférica.
- El tiro es necesario para el funcionamiento del hogar de una caldera, con el fin de poderle suministrar el aire necesario para la combustión del combustible y arrasar los gases quemados hacia el exterior a través de la chimenea





# Tiro Mecánico

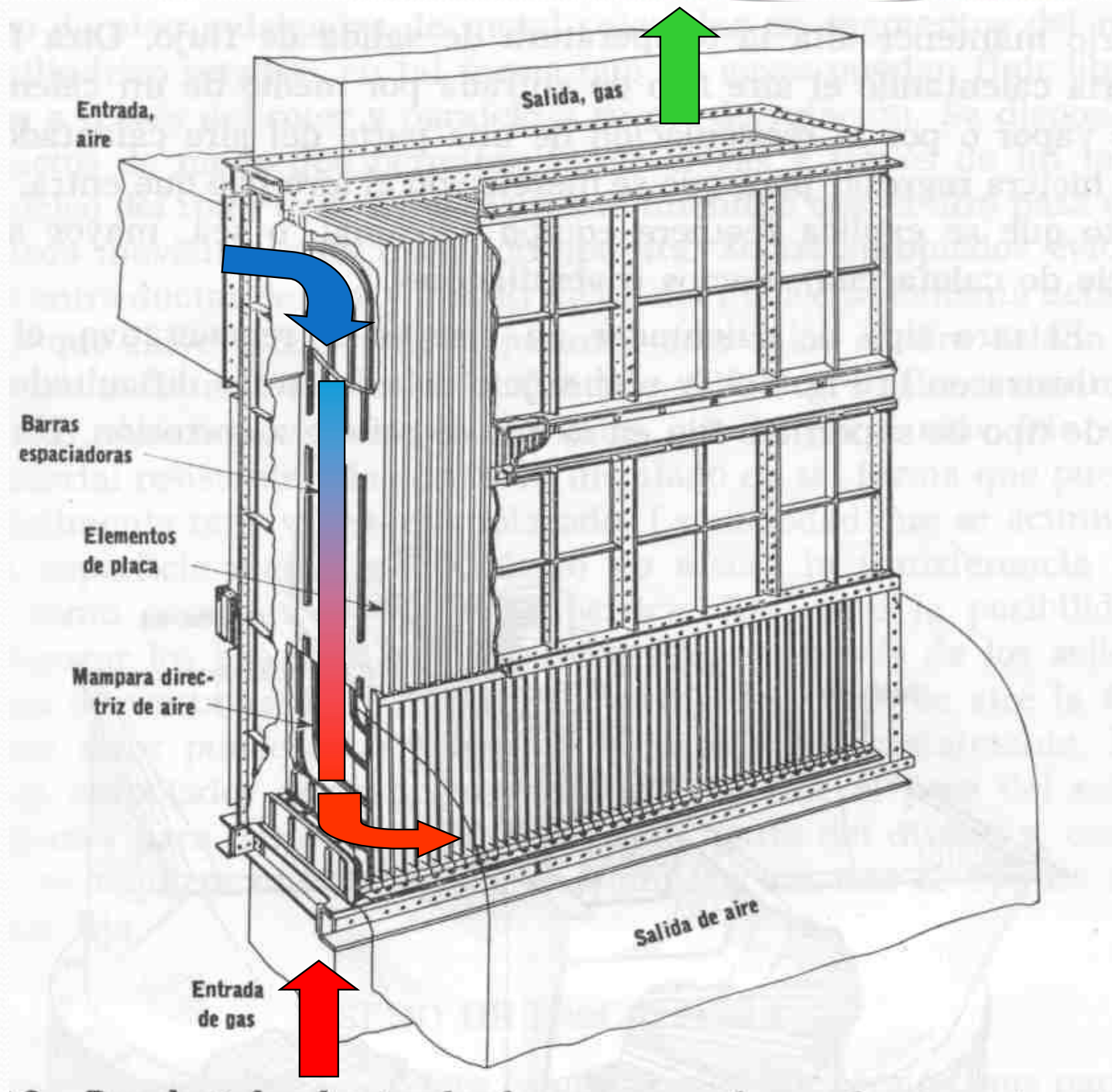
- Es el tiro creado por la acción de inyectores de aire, vapor o mediante ventiladores, el cual se requiere cuando deba mantenerse un determinado tiro con independencia de las condiciones atmosféricas y del régimen de funcionamiento de la caldera



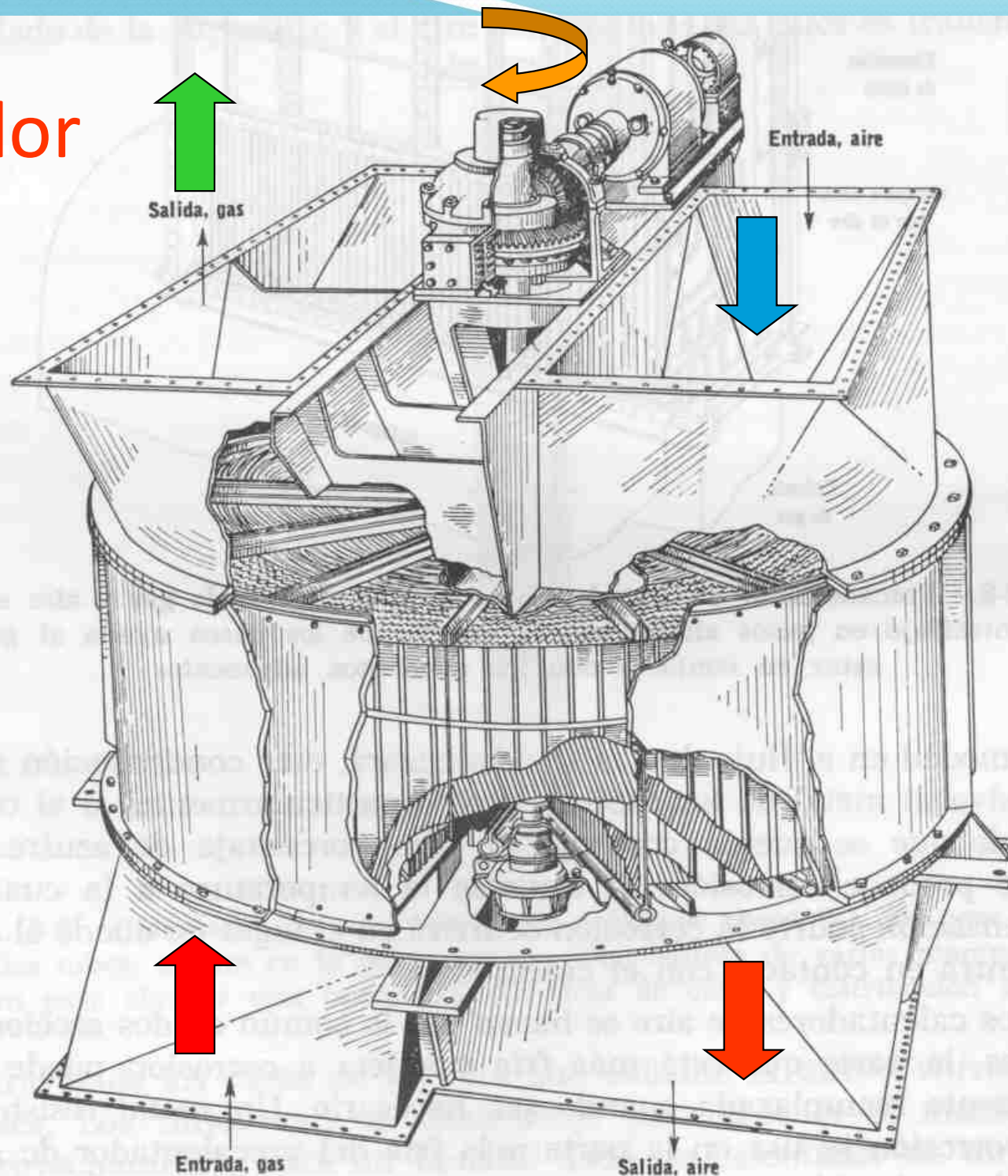
# Sopladores



# Precalentador de Placas



# Precalentador de Placas Giratorio





# Combustión - Quemador

- ✓ La función de un quemador, es transformar la energía almacenada en un combustible, en energía térmica aprovechable, y con la máxima eficiencia.
- ✓ *Un quemador se define como un dispositivo que ubica la llama en el lugar deseado, entregando combustible y comburente con suficiente energía de mezcla, que asegure ignición continua y combustión completa*

# Combustión - Quemador

## **Función de un quemador**

Es transformar la energía almacenada en un combustible, en energía térmica aprovechable, con máxima eficiencia

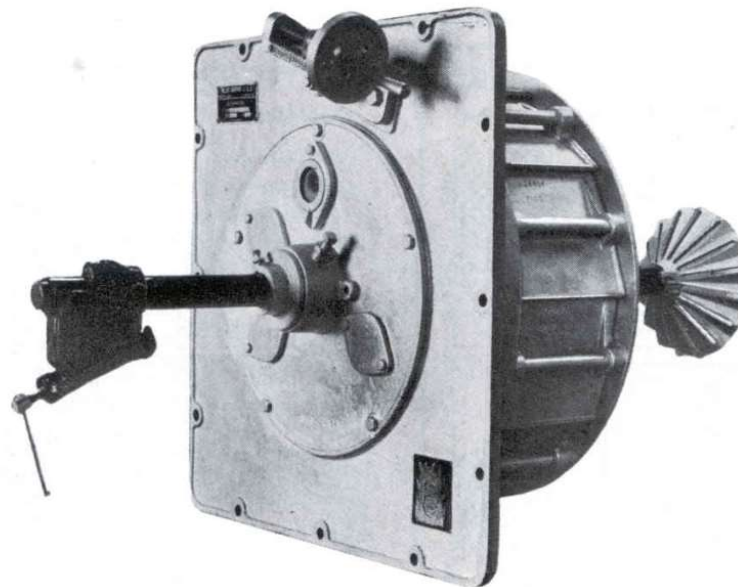
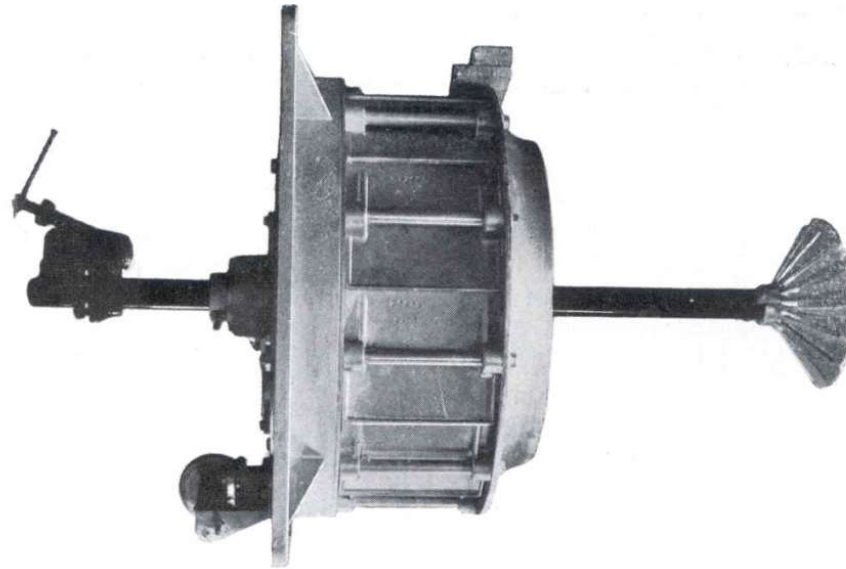
En general un buen diseño de un quemador debe proveer:

- A) Ser operable dentro de un rango amplio de caudal, sin que se produzca soplado ni retroceso de llama.
- B) Proveer distribución uniforme de calor sobre el área a calefaccionar.
- C) Que la combustión sea completa.
- D) Operar igualmente bien, tanto en el encendido, como en operación normal.
- E) Resistencia y durabilidad para un servicio prolongado en condiciones extremas de calentamiento y enfriamiento.

# Quemadores

FIGURA N° 39

QUEMADOR DE PETROLEO CON ATOMIZACION MIXTA



# Quemadores

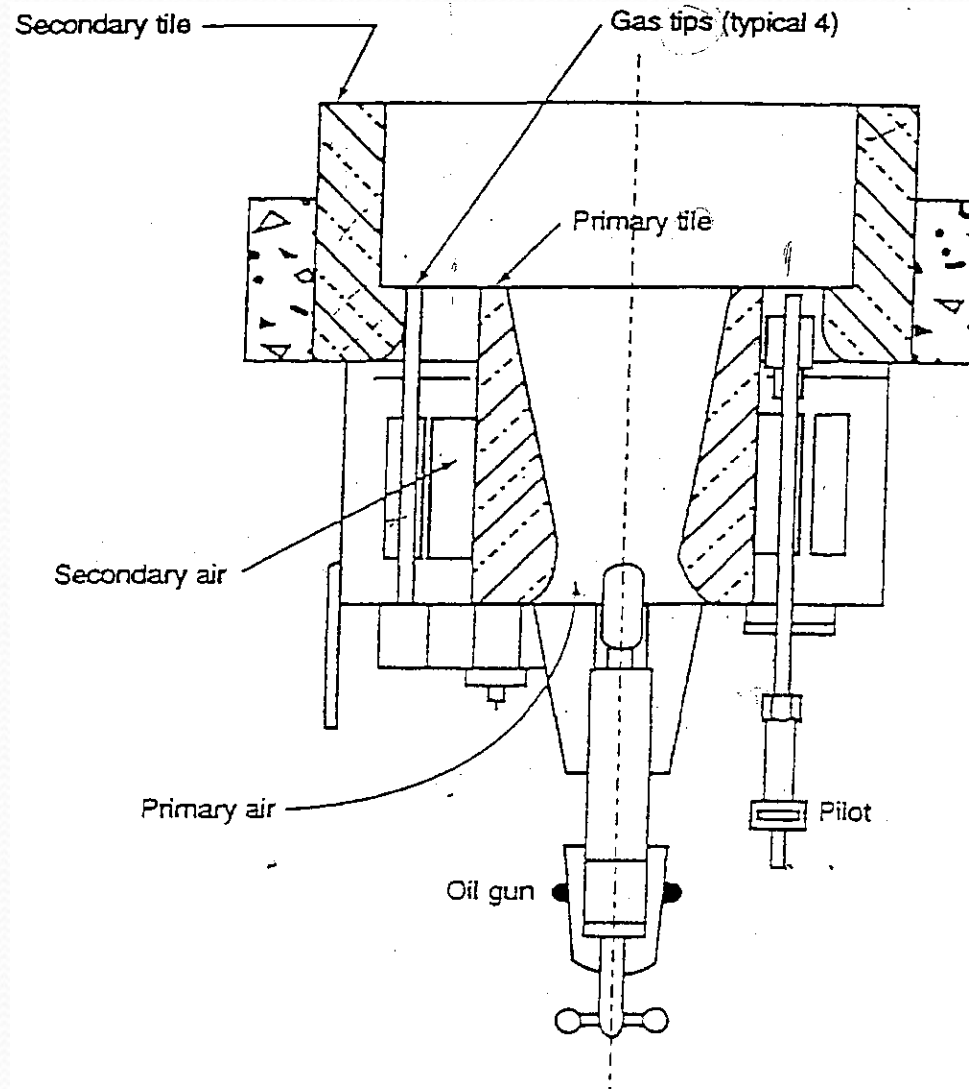


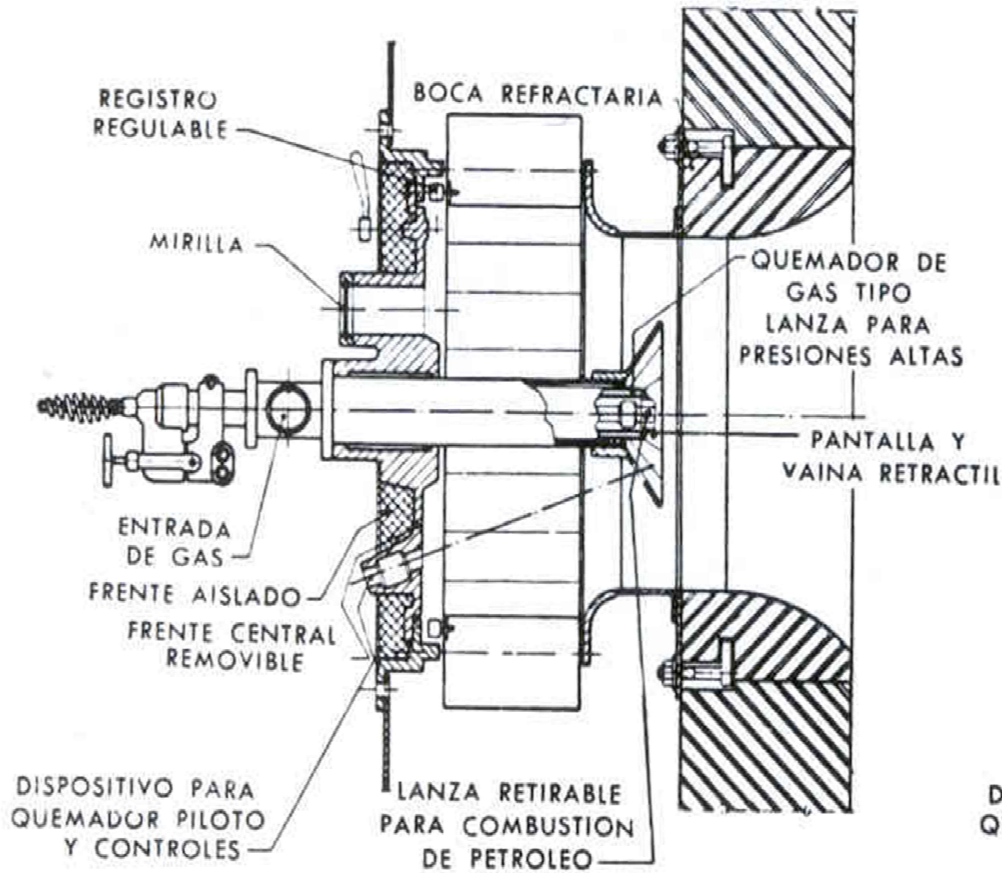
Figure 4—Typical Combination Oil and Gas Burner

# Quemadores

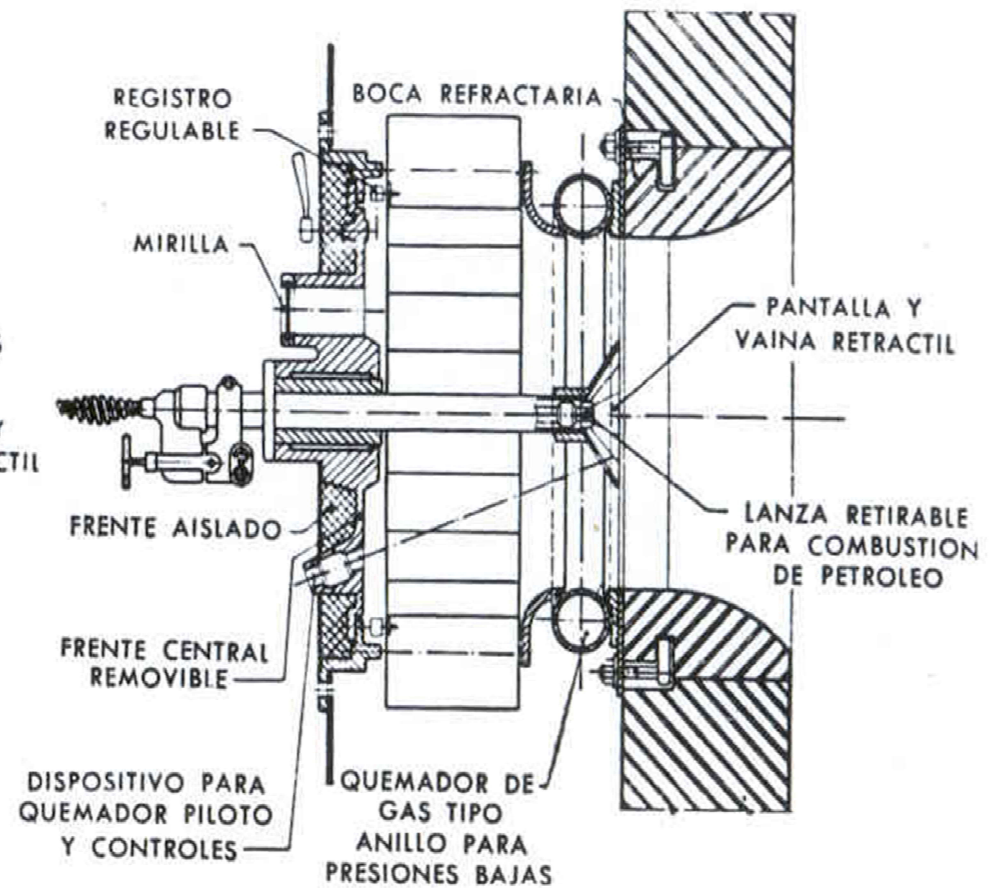
FIGURA N° 40

## REGISTROS PARA QUEMADORES DE PETROLEO Y GAS

### QUEMADOR DE GAS TIPO "LANZA"



### QUEMADOR DE GAS TIPO "ANILLO"



# Quemadores



# Combustión

- ✓ La combustión se produce cuando se tiene un combustible, un comburente (oxígeno) y una fuente de ignición.
- ✓ Cuando la combustión se produce en forma completa encontramos en los gases de combustión  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$  y  $\text{N}_2$ .
- ✓ El  $\text{O}_2$  se obtiene del aire y por lo tanto es necesario controlar la cantidad de aire que se ingresa para la combustión puesto que el contenido de  $\text{O}_2$  en el aire es del 21 %, el resto es básicamente  $\text{N}_2$  que no interviene en la combustión.
- ✓ Para asegurar una combustión completa es necesario trabajar con un cierto valor de exceso de aire, de manera general 15% cuando se quema Fuel Gas y 30% cuando se quema Fuel Oil.

# Combustión - Comburente

60°F (15.6°C)

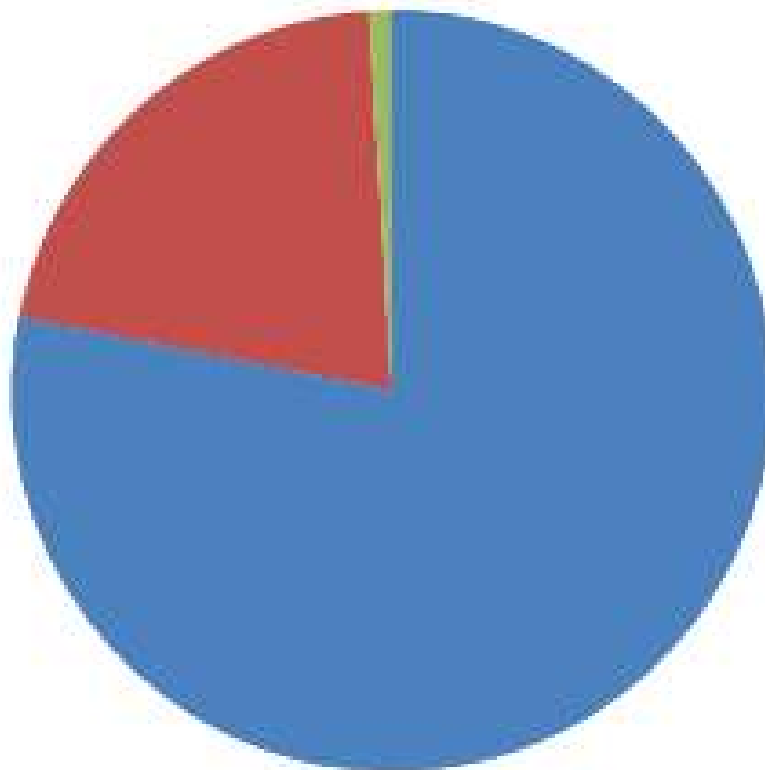
Air @ 14.7 psia (1 atm) at 60°F

Density: 0.075 lb/ft<sup>3</sup> (1.201 kg/m<sup>3</sup>)

32°F (0°C)

Air @ 14.7 psia (1 atm) at 32°F (0°C)

Density: 0.080 lb/ft<sup>3</sup> (1.281 kg/m<sup>3</sup>)



■	Nitrogen 78.084%
■	Oxygen 20.948%
■	Argon 0.934%
■	Carbon dioxide 0.031%
■	Neon, helium, methane, sulfur dioxide, hydrogen, and other minor gases 0.003%



# Combustión

- ⌘ Reacción [combustible – comburente]
- ⌘ Calor a un nivel térmico aprovechable.
- ⌘ El quemadores el encargado de que la mezcla sea la apropiada.
- ⌘ La cantidad de calor por unidad de masa que desprende un combustible al quemarse es el Poder Calorífico(kJ/kg).
  - ⌘ PCI(el vapor de agua de los humos no condensa)
  - ⌘ PCS(se condensa el vapor de agua de los humos)

$$P_{ci} = P_{cs} - 597 P$$

$$P_{ci} = P_{cs} - 597 (9H + H_2O)$$

# Combustión

Los *elementos básicos que reaccionan son:*

- ❖ El oxígeno del aire como comburente (aprox. 1 m<sup>3</sup> por kWh)
- ❖ El carbono y el hidrógeno del combustible
- ❖ Otros elementos (azufre), e inertes (cenizas).

• Reacciones del *Carbono* :



• La reacción del *Hidrógeno es:*



Si el agua se condensa:



• La reacción de *Azufre es:*



# Combustión

En todos los casos para el diseño de la caldera utilizamos, para combustibles líquidos, el poder calorífico inferior y no el poder calorífico superior porque el primero supone que el agua que contiene el combustible se encuentra en estado de vapor.

Los valores típicos de Poder calorífico para los distintos combustibles utilizados en una refinería son:

## Valores típicos de LHV (Kcal/Kg)

✓ Fuel oil	9400-10000
✓ Gas residual	9500
✓ Gas natural	8600

# Color de la Llama

Dependerá del tipo de combustible, las llamas producidas por los combustibles líquidos son mas luminosas que las producidas por los combustibles gaseosos, debido a que hay una gran cantidad de carbonos que se quemán en la parte superior de la llama, también se pueden encontrar llamas amarillas cuando usamos combustibles gaseosos, esto se debe a un alto valor de densidad originada por componentes pesados (butano y superiores) además de un bajo exceso de aire.

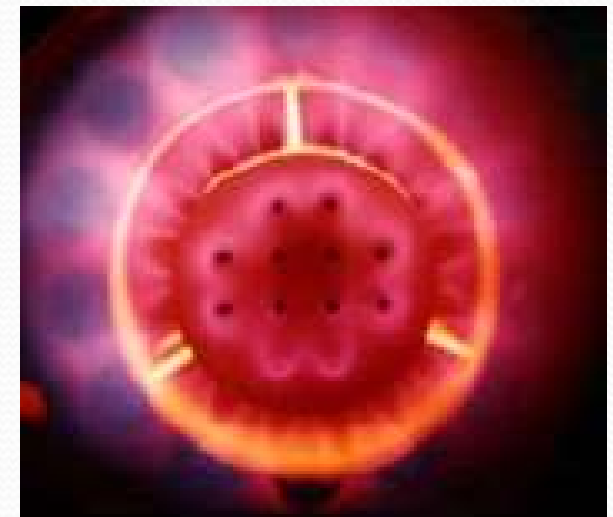
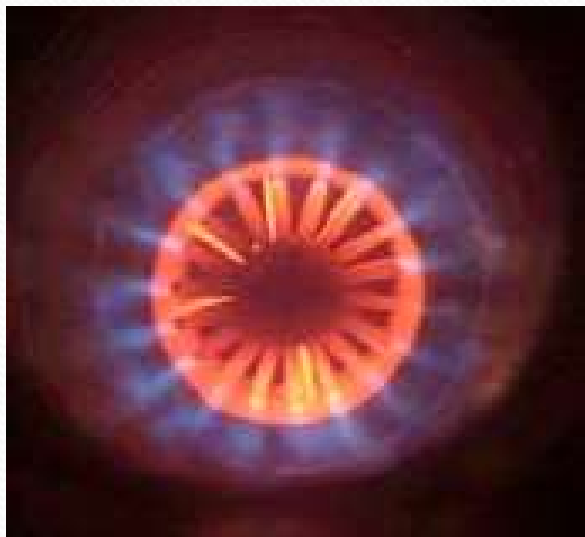
# Color de la Llama

La coloración típica de la llama en función del tipo de combustible utilizado es:

**Gas Natural:** Llama corta con cono azul sobre la base

**Gas Residual:** Llama corta con color azul a amarillo en función del incremento de densidad.

**Fuel oil:** Llama amarilla/naranja



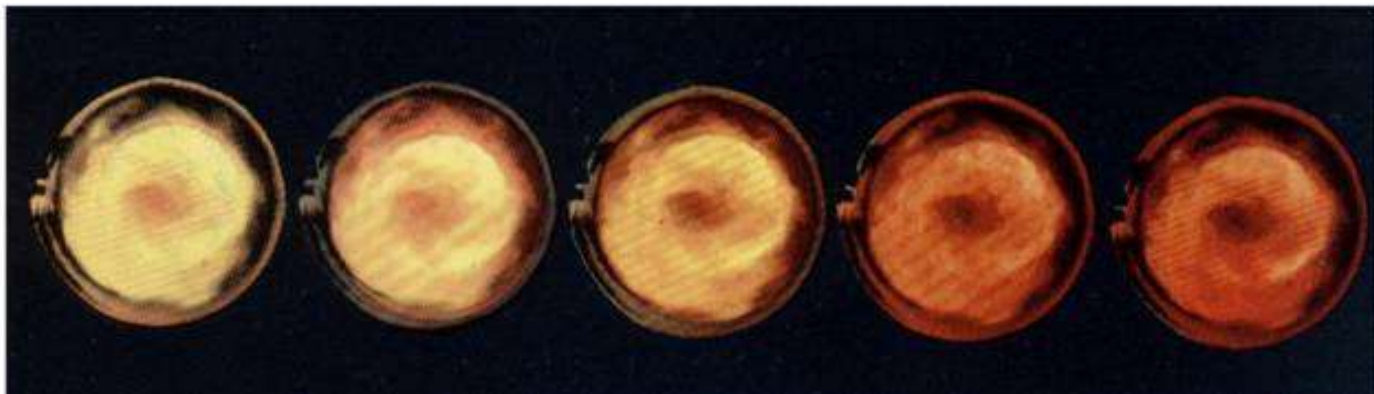
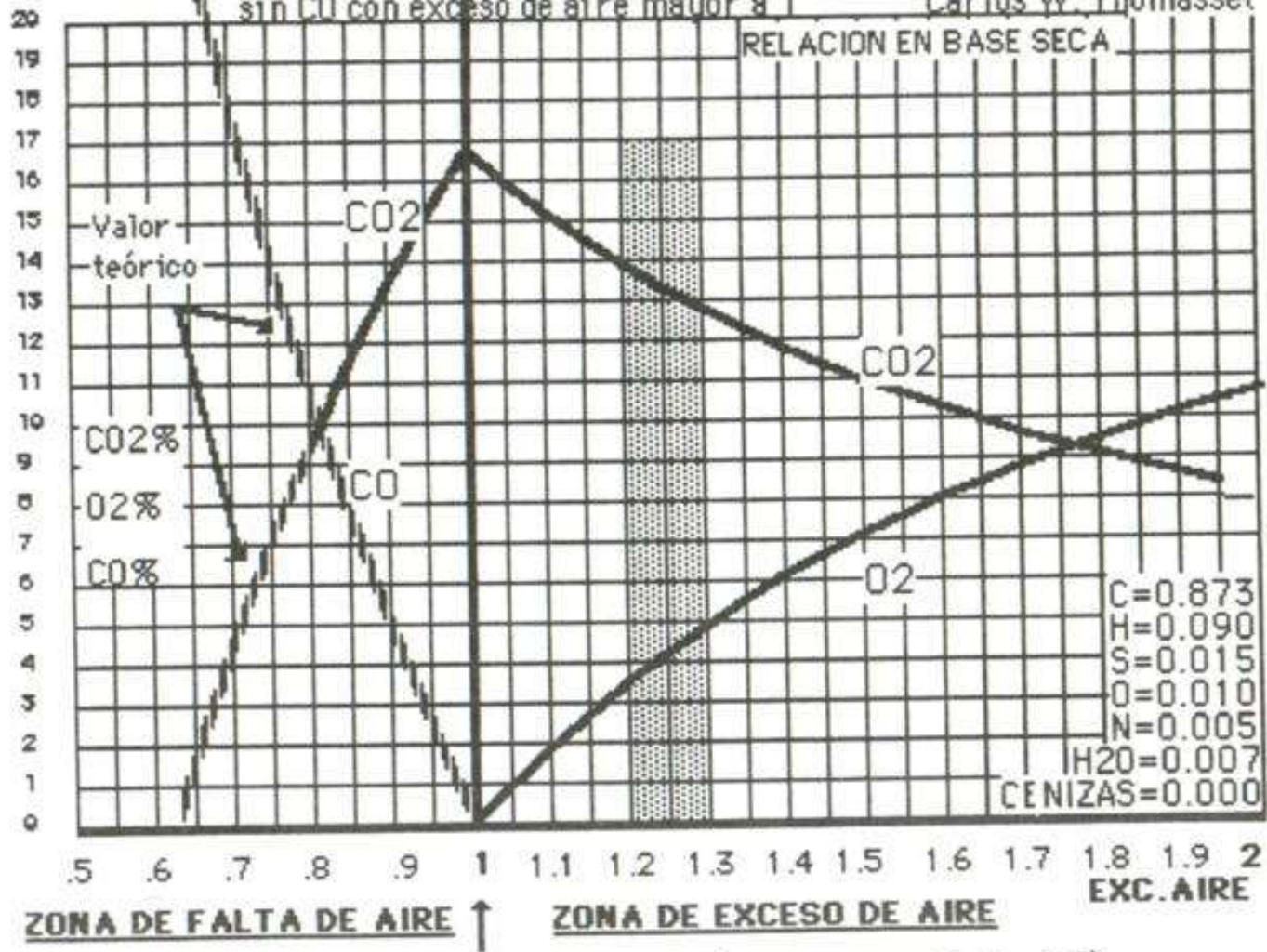
# Variables a controlar en la combustión

- **Atomización**
- Influye en la viscosidad del liquido, descomponiéndolo en gotas muy finas.
- Sistemas . - Aire - Vapor - Mecánica.
- Tamaño de partícula varia por:
  - - Diámetro de la boquilla.
  - - Angulo de dispersión.
  - - Relación agente atomizador - combustible.
  - - Temperatura del combustible.

# Variables a controlar en la combustión

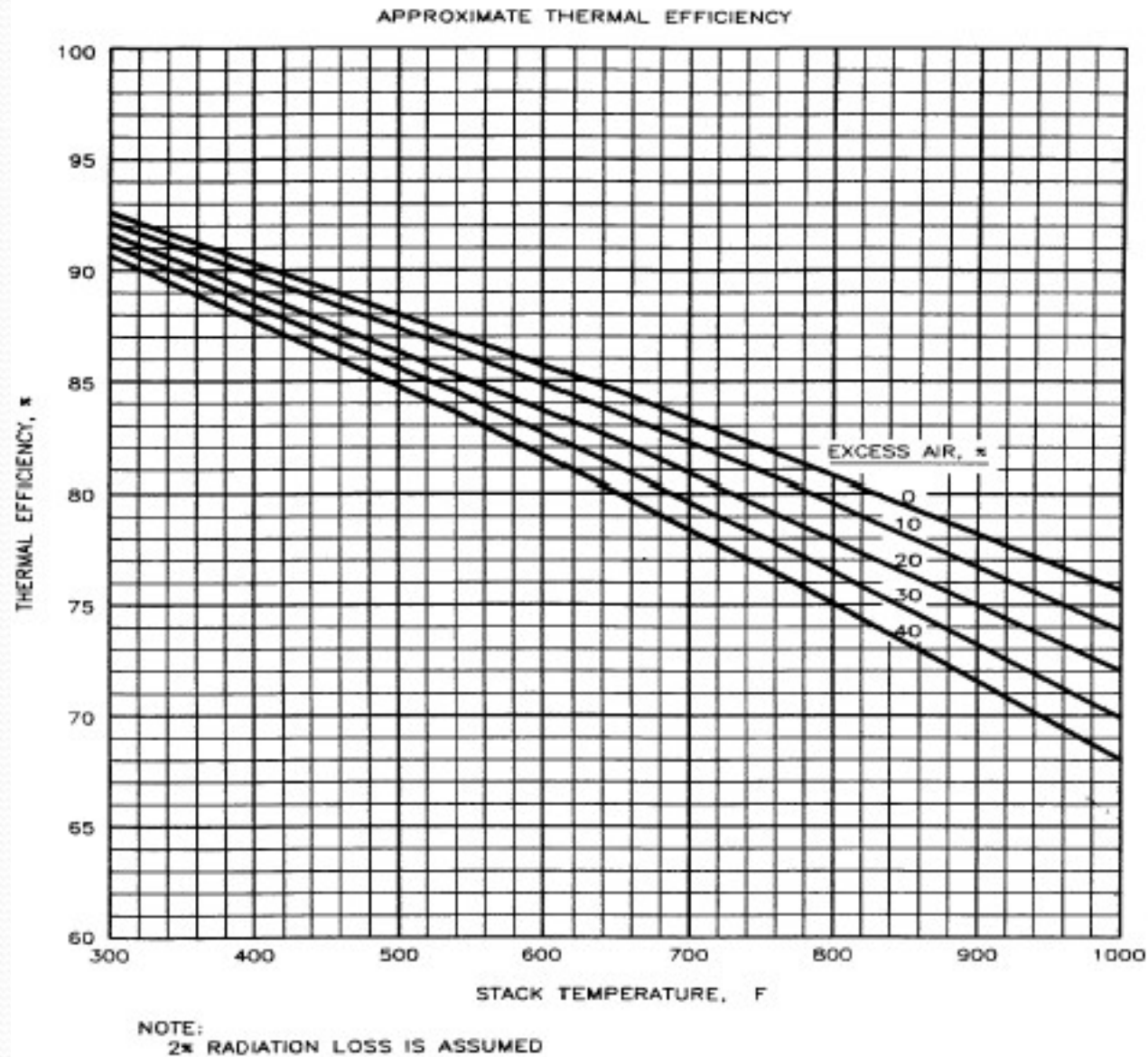
- **Vaporización**
  - Se facilita si es :
    - - Menor tamaño de la partícula.
    - - Mayor turbulencia de los gases en el hogar.
    - - Mayor temperatura en el hogar.
    - - Es mayor el poder calorífico del combustible.
- **Zona de llama es mas corta si :**
  - - Es mayor la temperatura en el hogar.
  - - Si se aumenta la relación aire - combustible.

RELACION ENTRE EXCESO DE AIRE ,CO<sub>2</sub>,O<sub>2</sub> Y CO : F.OIL PESADO  
 sin CO con exceso de aire mayor a 1 Carlos W. Thomasset

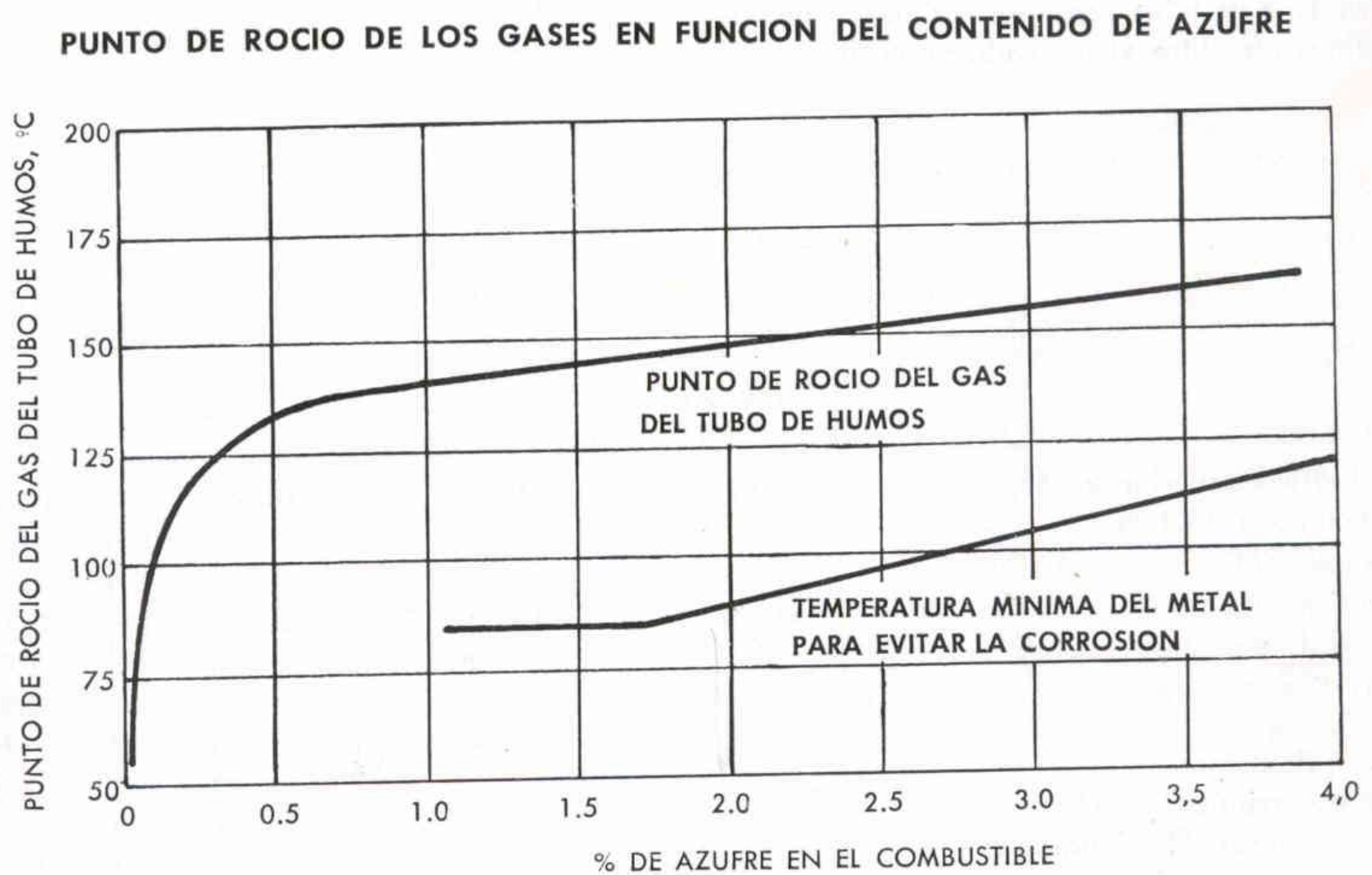




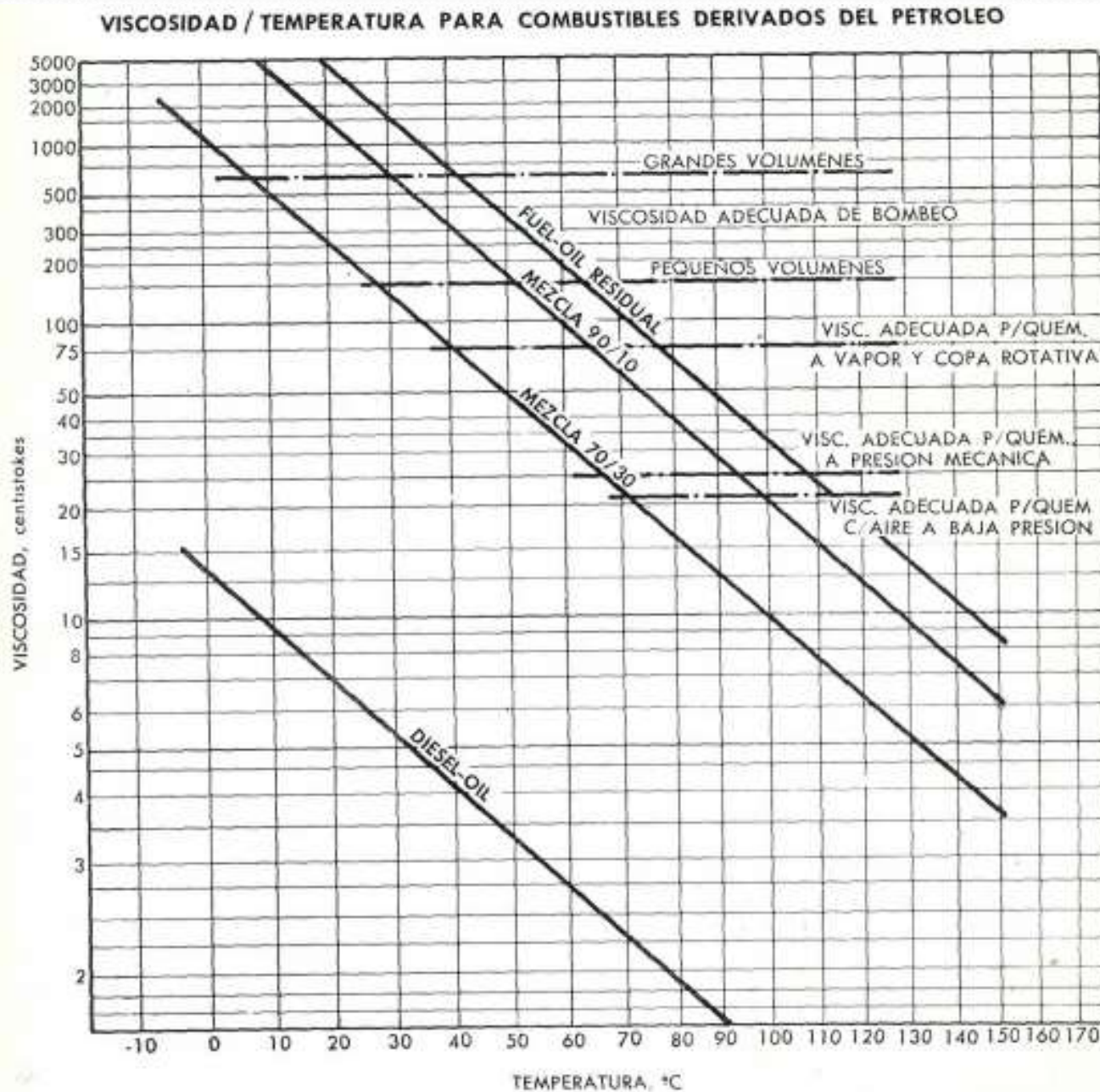
# Influencia del Exceso de Aire



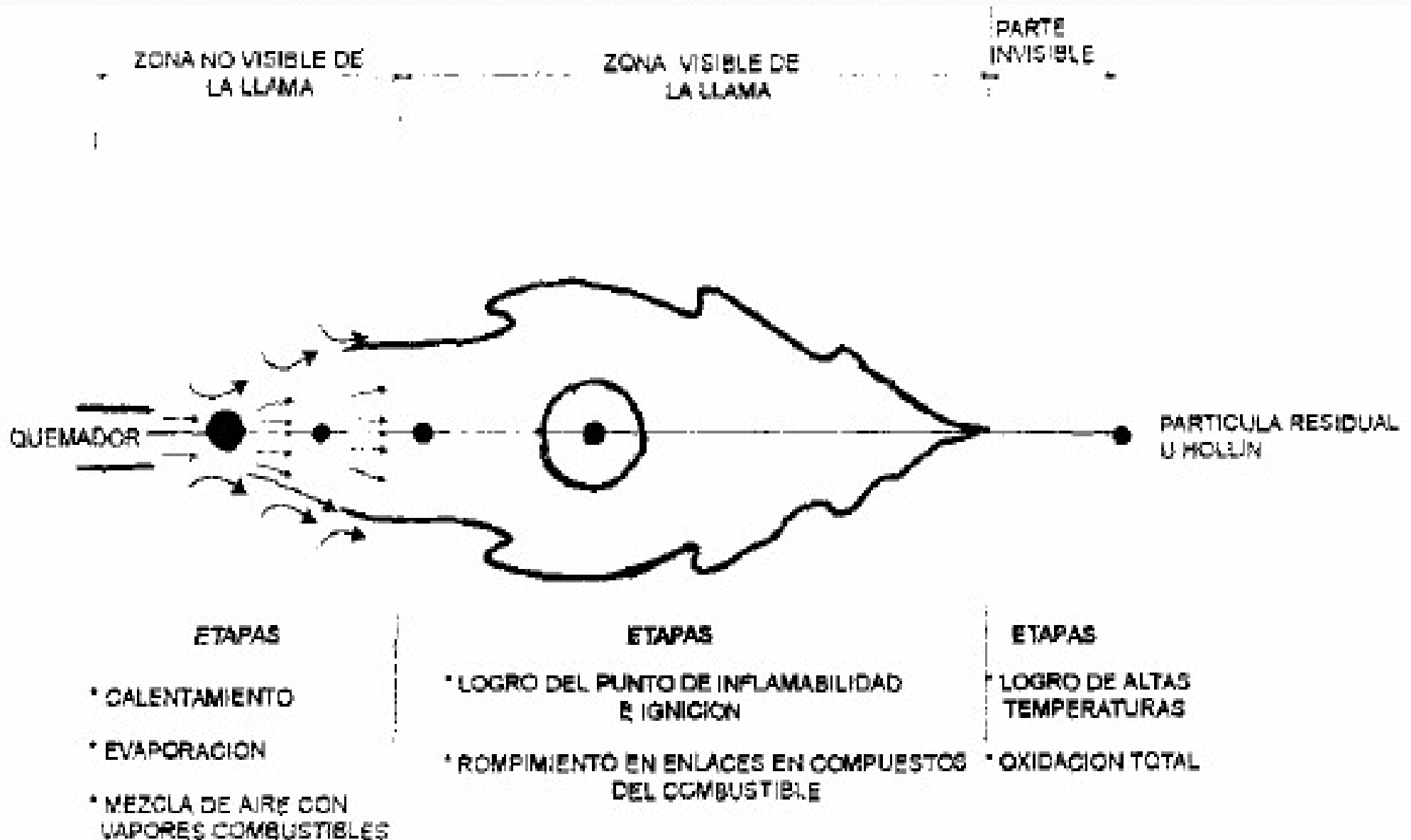
# Influencia del Contenido de Azufre



# IFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE LA VISCOSIDAD DEL COMBUSTIBLE



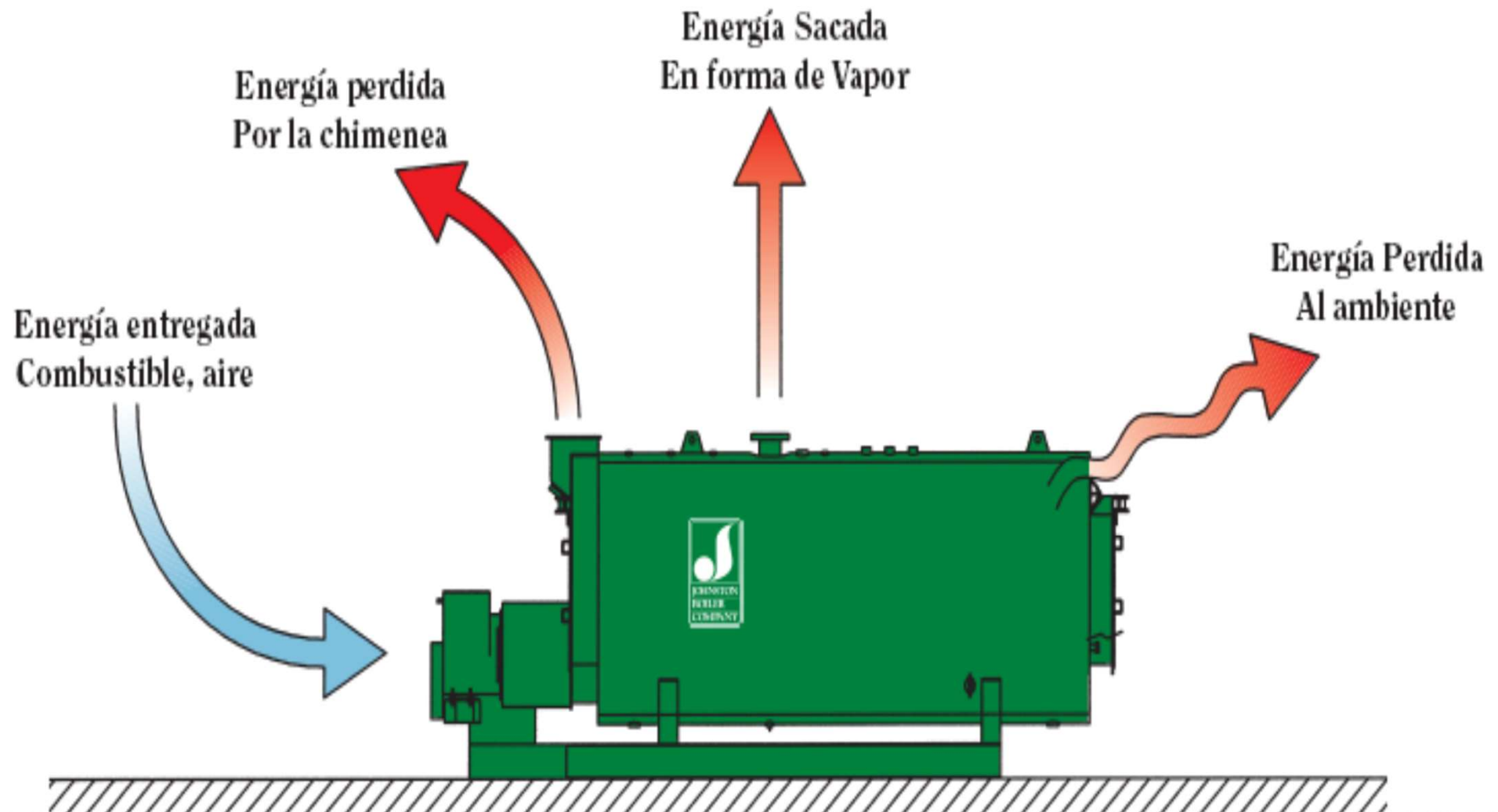
# Conformación de la Llama



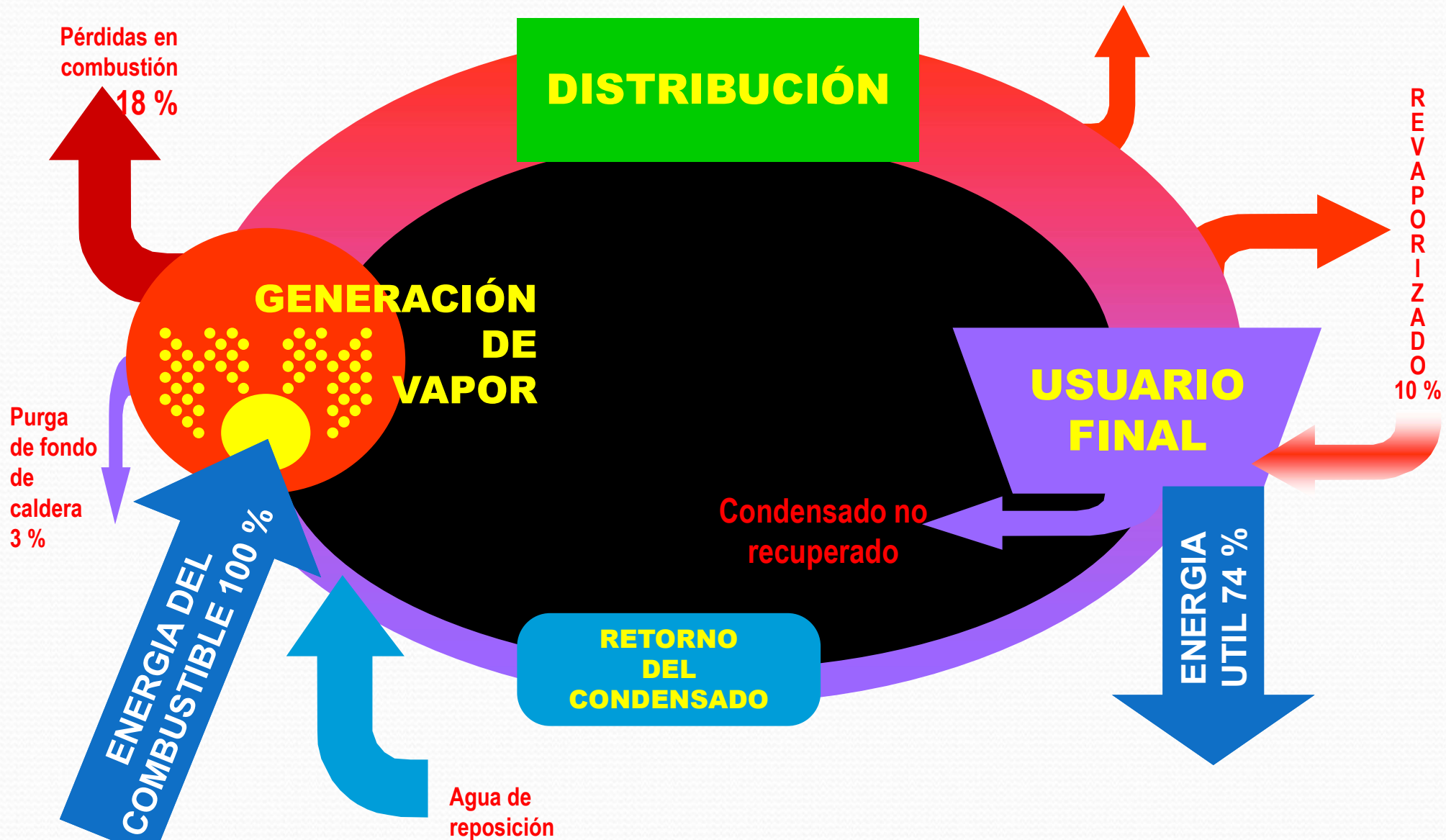
# EFICIENCIA

**ES EL PORCENTAJE DE LA ENERGIA TERMICA  
DEL COMBUSTIBLE QUE SE CONVIERTE EN  
ENERGIA DEL VAPOR DE AGUA**

# PERDIDAS DE EFICIENCIA



# EFICIENCIA



# PERDIDAS DE EFICIENCIA

**ES LA SUMATORIA DE LAS PERDIDAS :**

- 1 ) - POR COMBUSTION Y TRANSFERENCIA  
( PERDIDAS POR LOS GASES DE CHIMENEA Y EL ESTADO DE LIMPIEZA DE LAS SUPERFICIES DE TRANSFERENCIA TERMICA )
  
- 2 ) - COMO EQUIPO TERMICO  
( PERDIDAS POR FUGAS ; PERDIDAS POR AISLACION TERMICA ; POR LAS PURGAS CONTINUA Y DE FONDO )



# ESTRATEGIAS PARA MINIMIZAR LAS PERDIDAS POR COMBUSTION Y TRANSFERENCIA

- 1 )- REDUCIR EXCESO DE AIRE DE COMBUSTION  
( AJUSTAR RELACION AIRE-COMBUSTIBLE )**
- 2 )- SUPERFICIES DE TRANSFERENCIA , LIMPIAS  
( CENIZAS ; HOLLIN ; INCRUSTACIONES )**
- 3 )- CONTROL OPERATIVO DE SISTEMA DE COMBUS -  
TION**
- 4 )- DISEÑO ADECUADO DE LA CALDERA  
( ECONOMIZADOR;TORBELLINOS;BAFFLES;ETC.)**
- 5 )- SALA DE CALDERAS Y SUS ABERTURAS**

# ESTRATEGIAS PARA MINIMIZAR LAS PERDIDAS EN CALDERAS COMO EQUIPO TERMICO

- 1 ) - MANTENER EN CONDICIONES , LA AISLACION TERMICA DE LA CALDERA Y LAS SUPERFICIES RADIANTES .**
- 2 ) - ELIMINAR LAS PERDIDAS DE VAPOR Y DE AGUA .**
- 3 ) - RECUPERAR EL MAXIMO DE CONDENSADO Y RACIONALIZAR LAS PURGAS CONTINUA Y DE FONDO**

# LINEAS DE VAPOR Y CONDENSADO

- 1 ) - HACER LOS CALCULOS Y EL DISEÑO ADECUADOS PARA CADA INSTALACION.**
- 2 ) - SELECCIONAR LOS MATERIALES, SEGÚN 1).**
- 3 ) - INSTALAR LOS ACCESORIOS Y ELEMENTOS DE CONTROL , SEGÚN NECESIDADES .**

## TIPOS DE TRAMPAS



**Ball float type**



**Thermodynamic type**

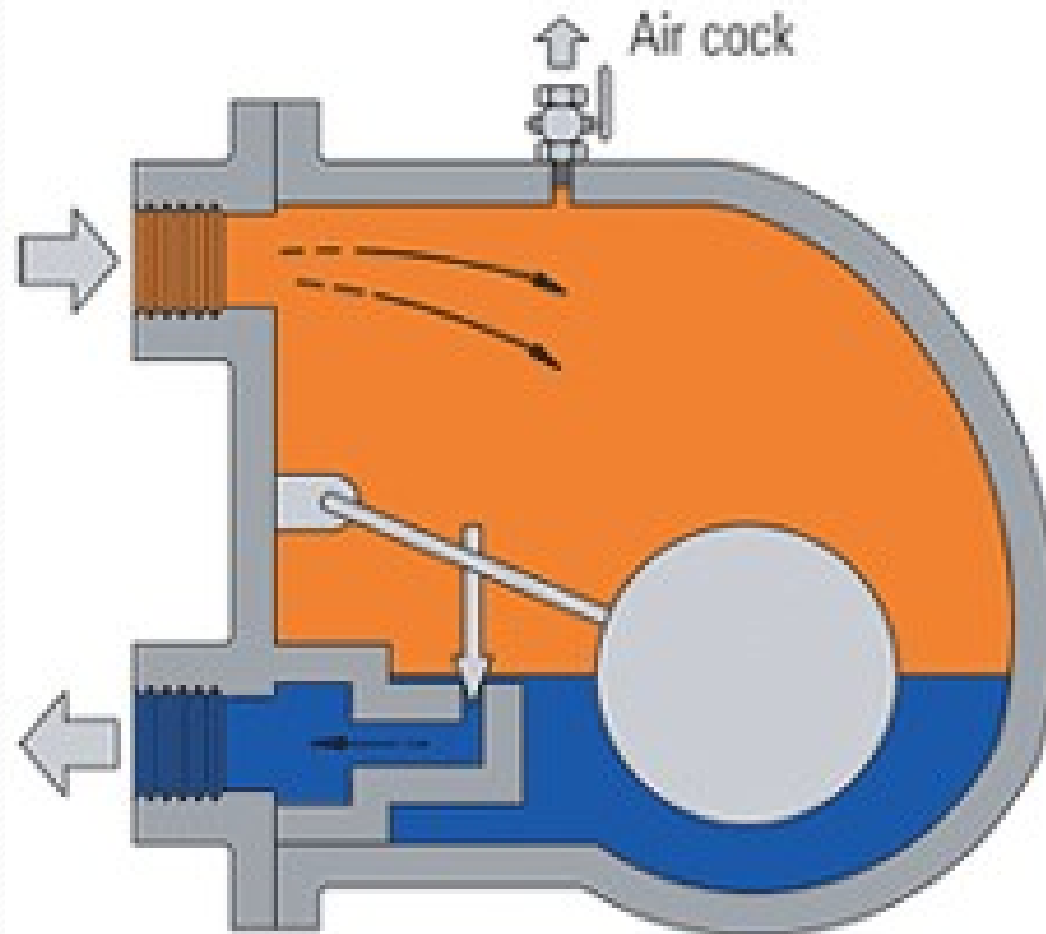


**Thermostatic type**

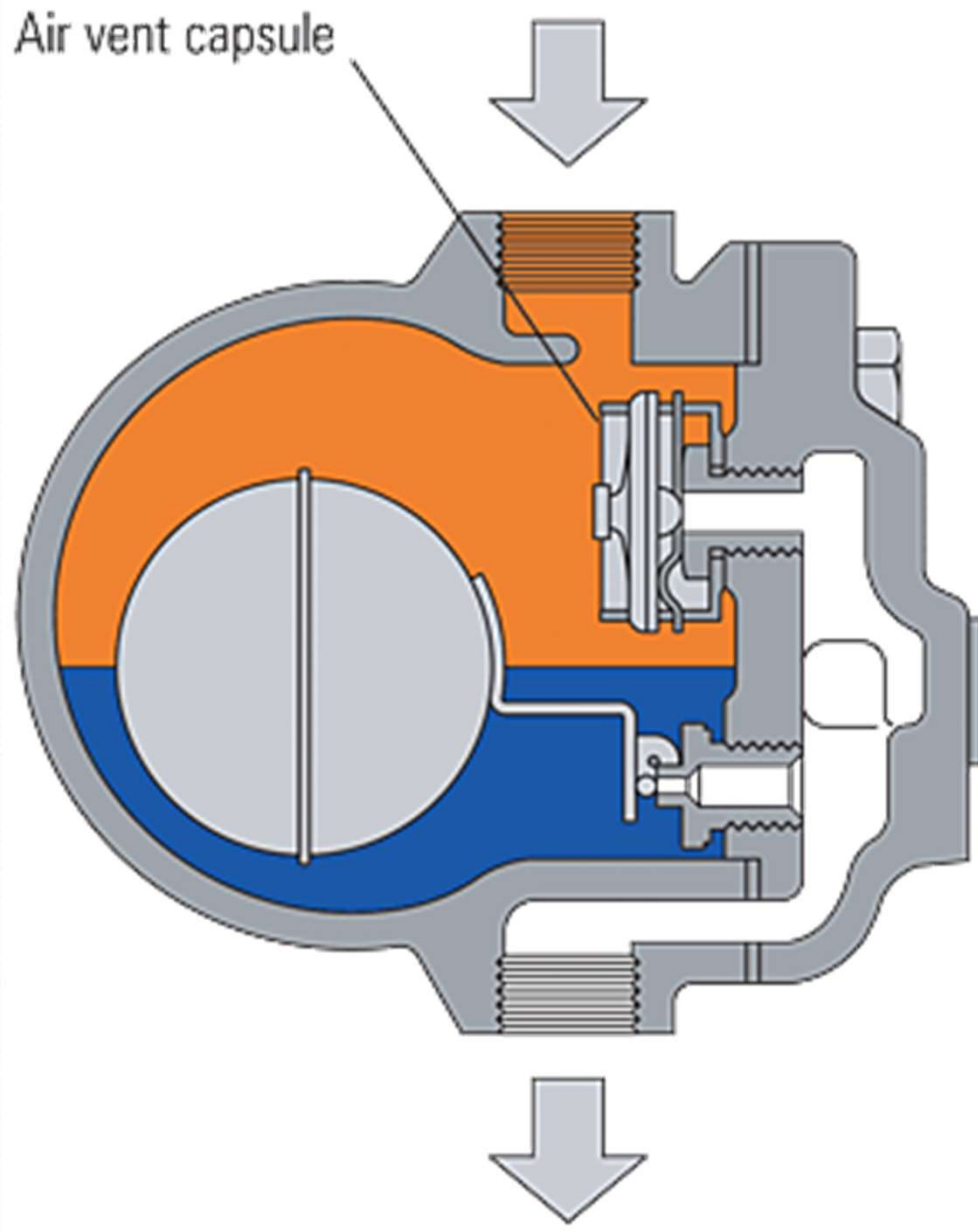


**Inverted bucket type**

# ***Trampa de Vapor de Flotante***



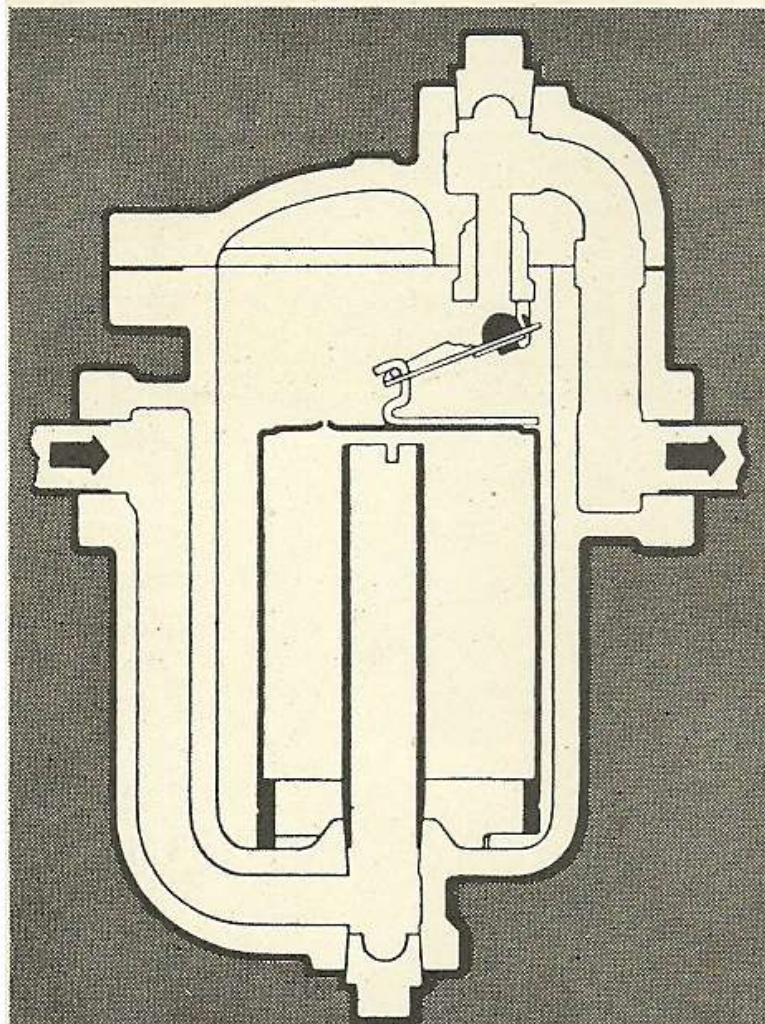
# ***Trampa de Vapor de Flotante***



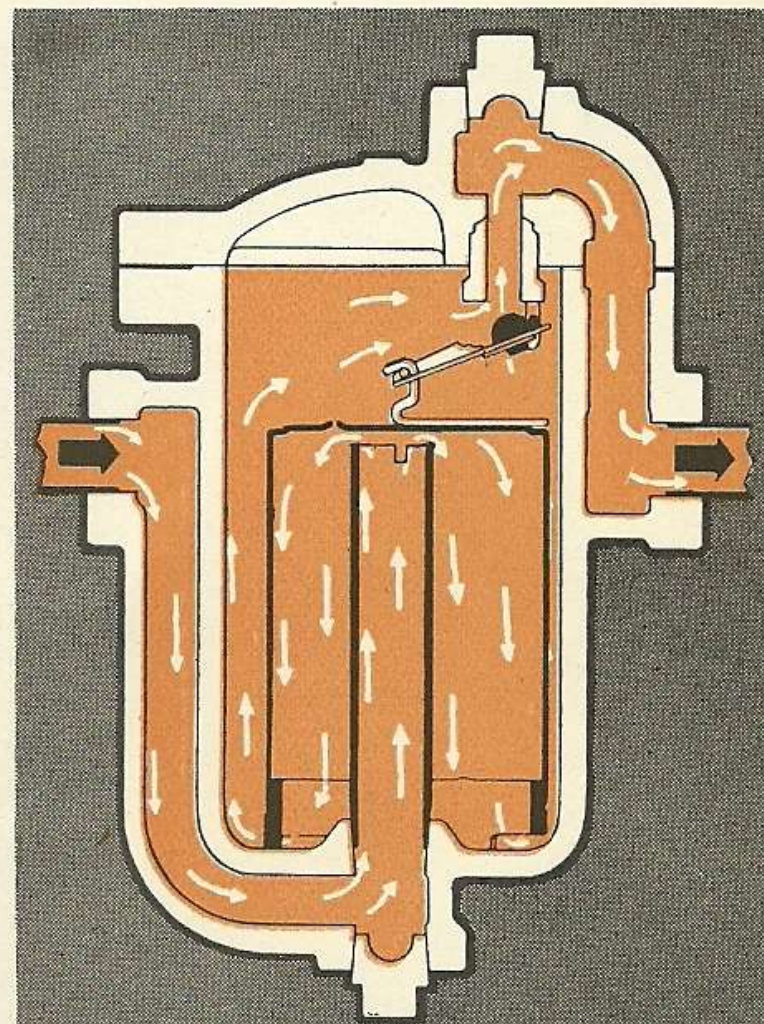
# TRAMPA DE VAPOR de CUBO INVERTIDO

## Ventajas:

- Sencillez del diseño*
- Eliminación de aire*
- Autolimpieza*

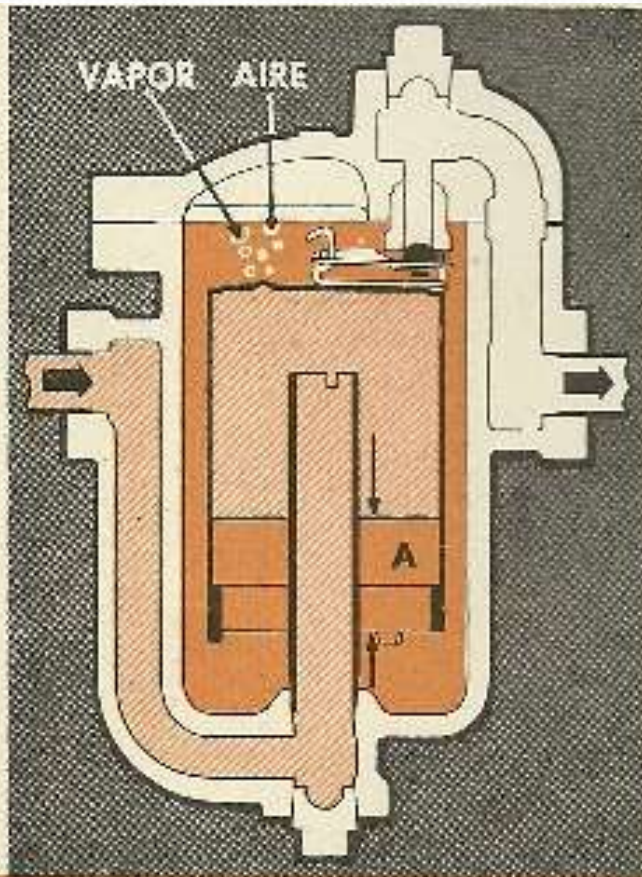


**Etapa I**



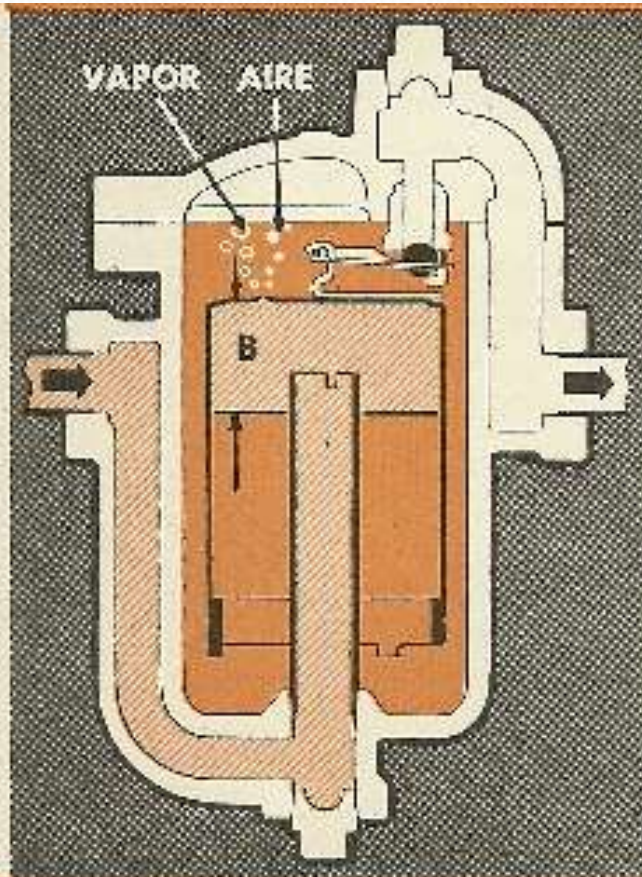
**Etapa II**





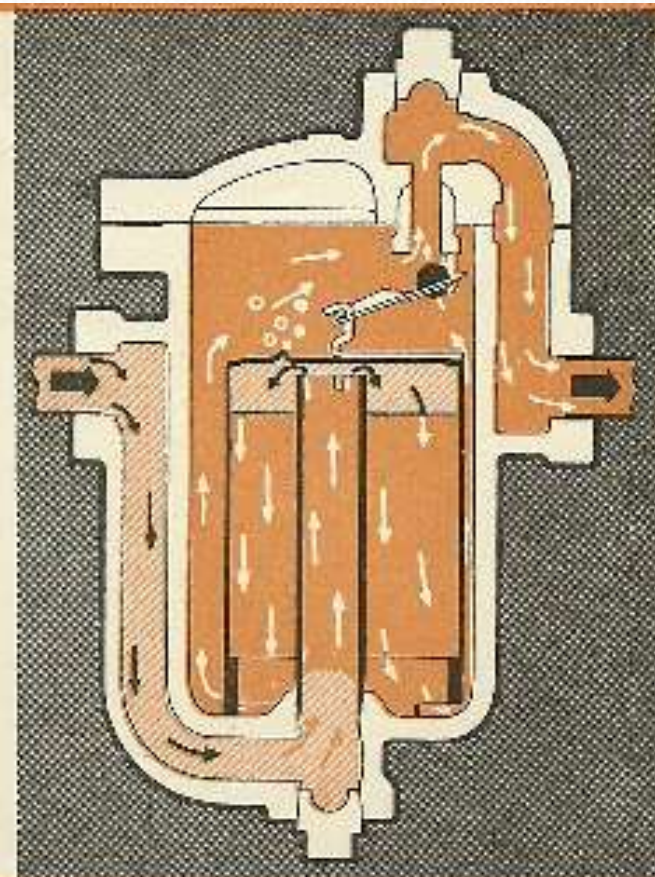
**3** el vapor (color clara) que entra en la trampa hace flotar el cubo invertido y se cierra la válvula.

**Etapa III**



**4** Al entrar más condensado en la trampa, el cubo pierde flotabilidad y acciona la palanca de la válvula.

**Etapa IV**

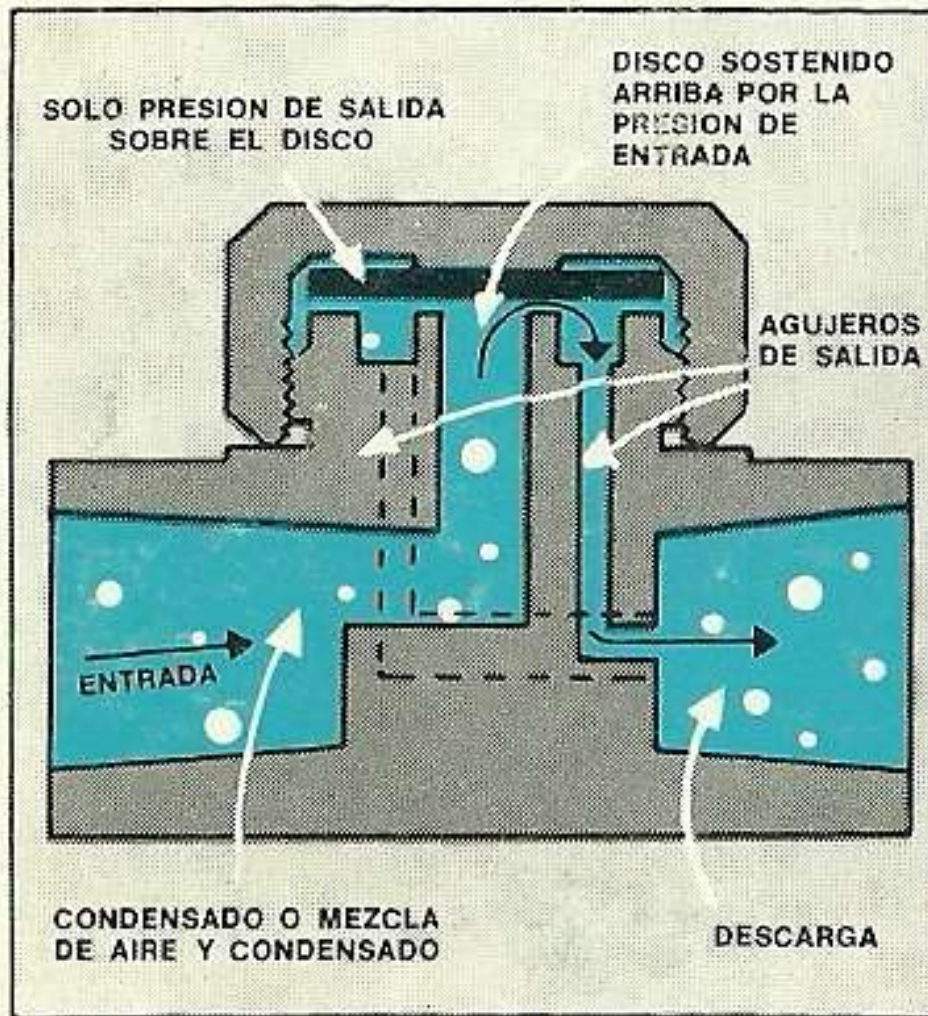


**5** Cuando el peso del cubo, multiplicado por la fuerza de palanca, supera la presión sobre la válvula, desciende el cubo y se abre aquélla.

**Etapa V**



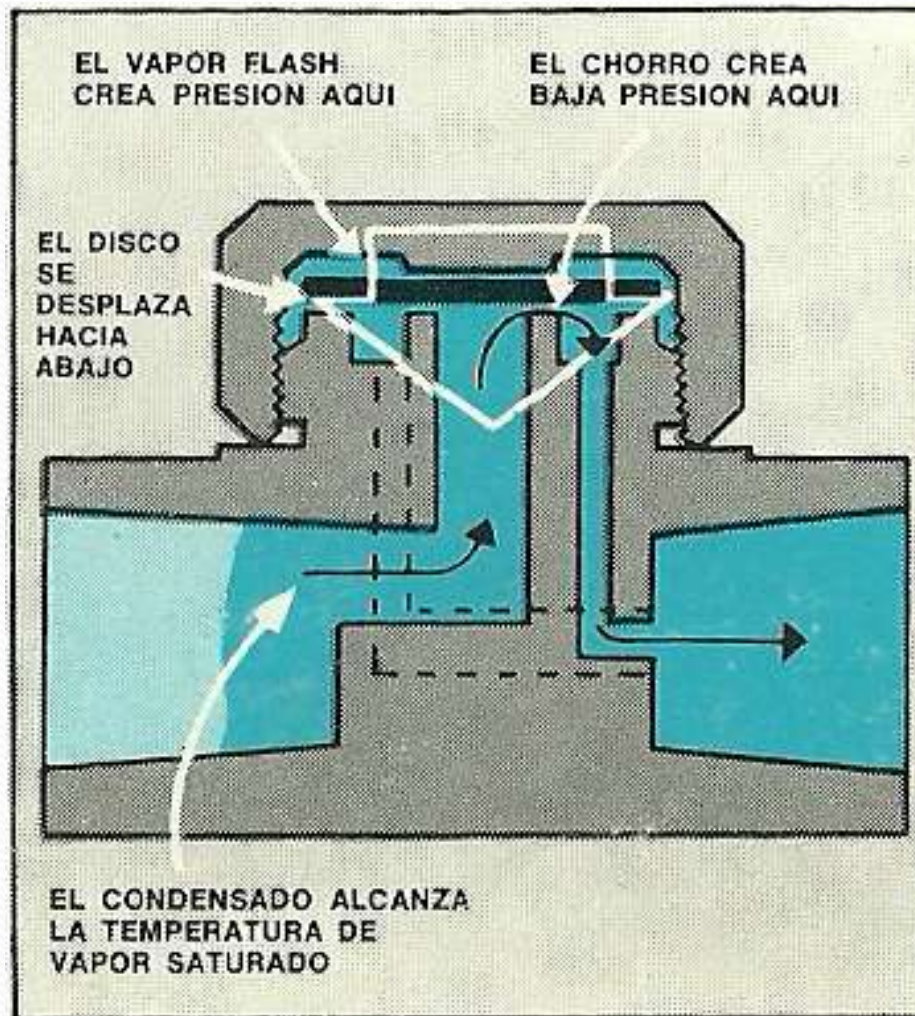
# **Trampa de Vapor Termodinámica**



## **COMIENZO**

La presión del condensado y/o aire levanta el disco de su asiento. El flujo es radial debajo del disco, hacia las salidas. La descarga prosigue hasta que el condensado se acerca a temperatura de vapor.

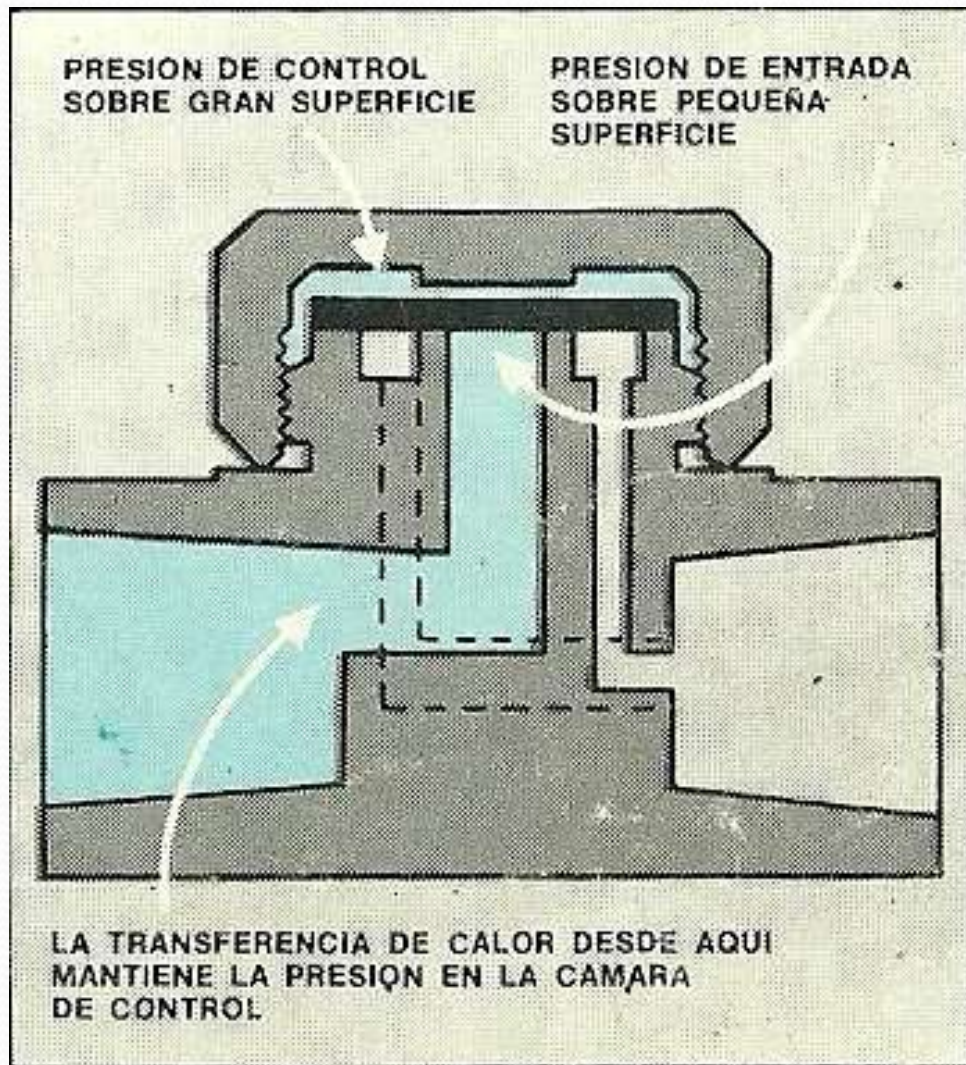
# **Trampa de Vapor Termodinámica**



## **CERRANDO**

Un chorro de vapor flash reduce la presión debajo del disco y al mismo tiempo, por recompresión, origina presión en la cámara de control encima del disco, esto empuja a este último contra su asiento, asegurando un cierre perfecto sin pérdida de vapor.

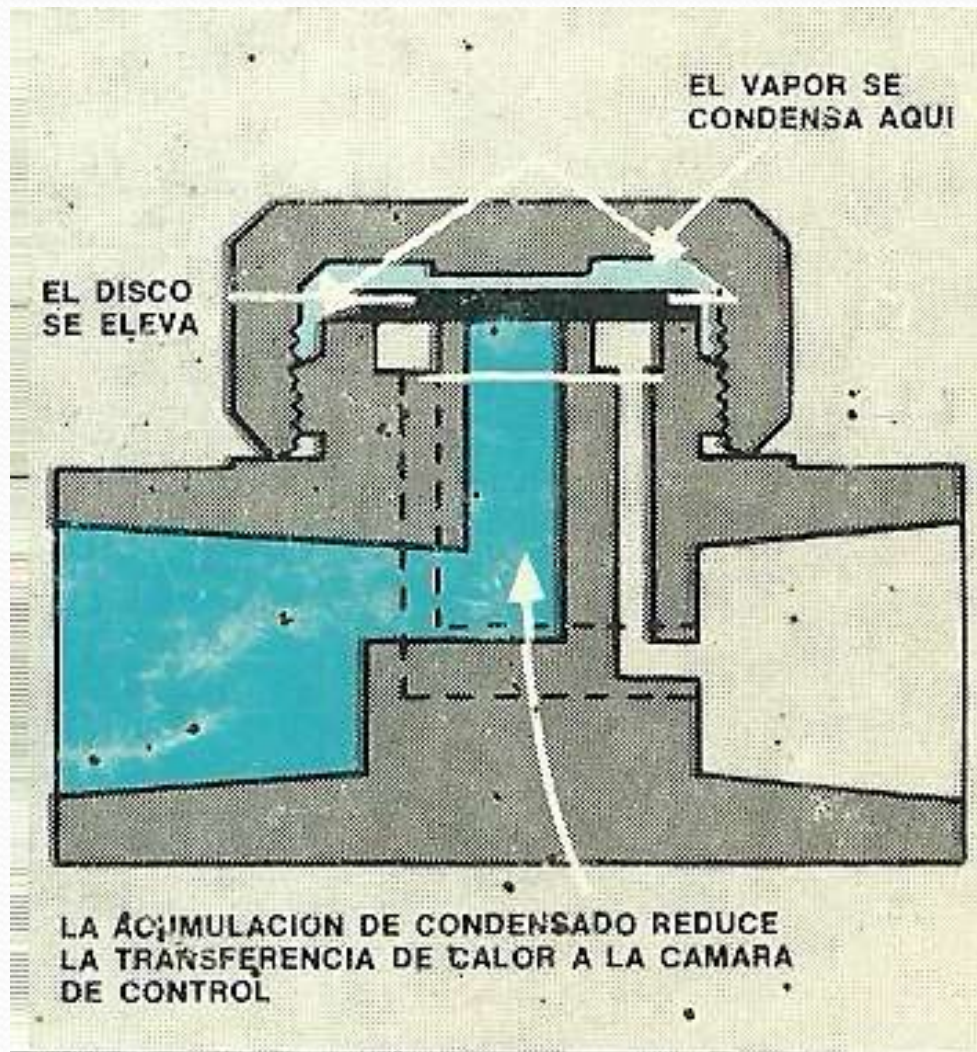
# **Trampa de Vapor Termodinámica**



## **CERRADA**

La presión del vapor en la cámara de control, actuando sobre toda la superficie del disco, lo mantiene cerrado contra la presión de entrada que actúa sobre un área menor.

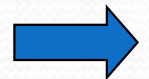
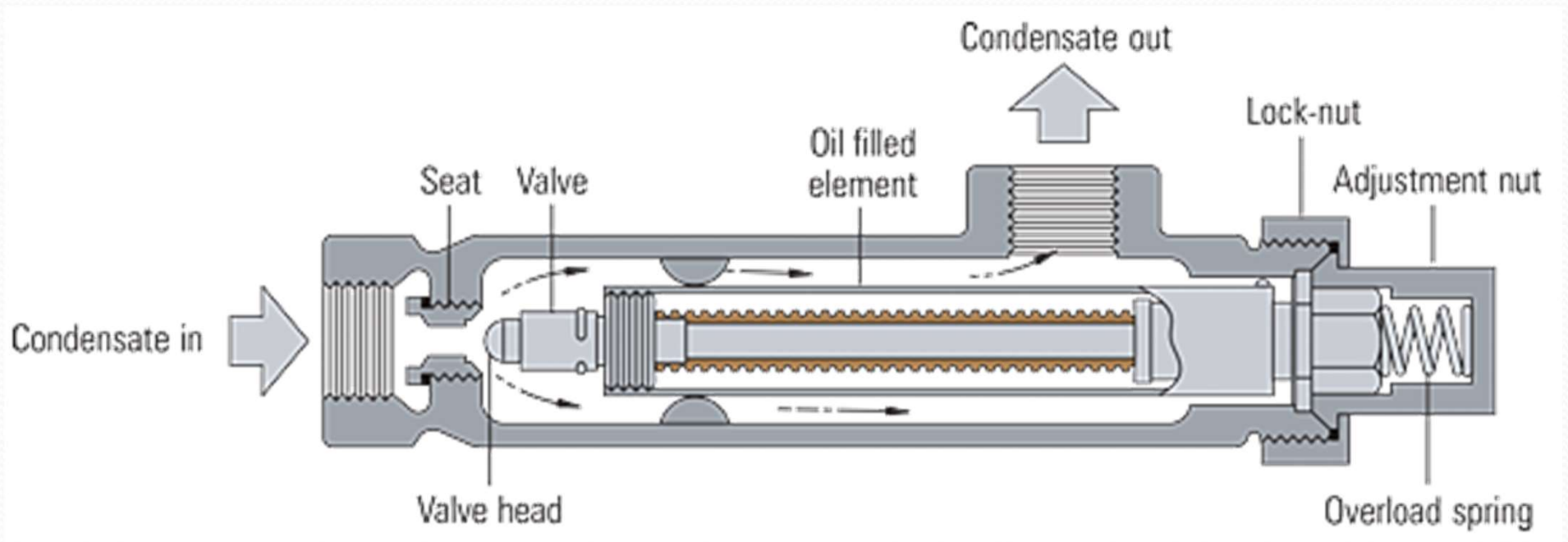
# **Trampa de Vapor Termodinámica**



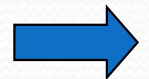
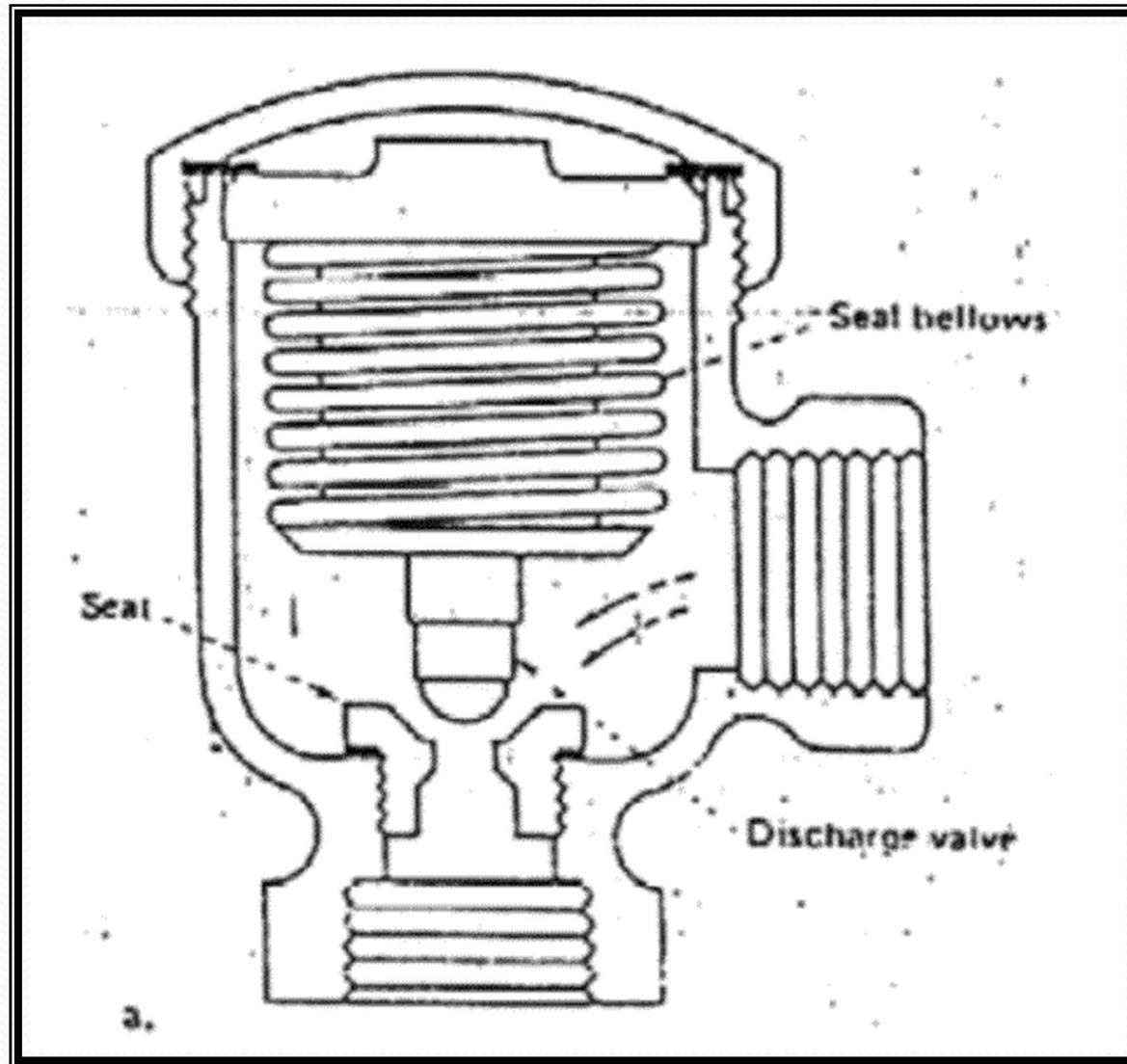
## **ABRIENDO**

Al acumularse condensado, se reduce el calor en la cámara de control, conforme se va condensando el vapor bloqueado en la cámara, la presión se reduce. El disco es levantado por la presión de entrada y se descarga el condensado.

# ***Trampa de Vapor Termostática***



# ***Trampa de Vapor Termostática***



# ***Trampa de Vapor Termostática (Bimetálica)***

