

# Generadores de vapor

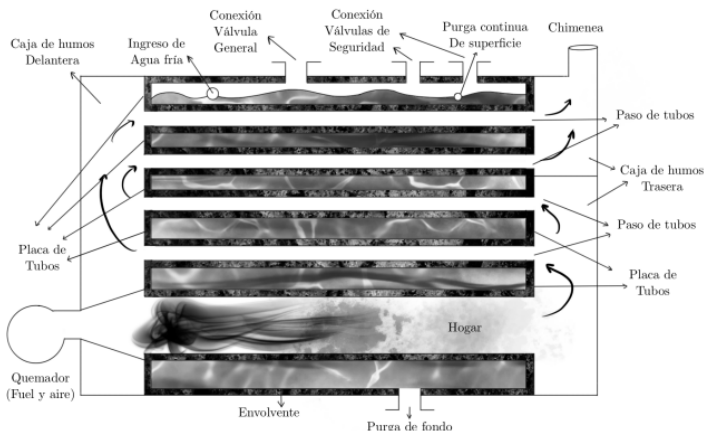
Calderas acuotubulares

Natalia Wener, Federico Licandro

TECNÓLOGO INDUSTRIAL MECÁNICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

2024

# Calderas humotubulares



- La envolvente es el cuerpo a presión
- El hogar puede ser liso, corrugado o parcialmente corrugado

# Purgas

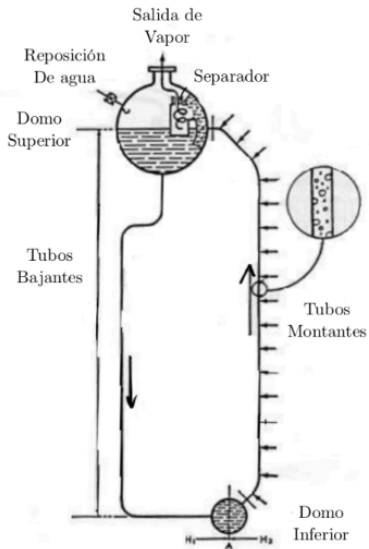
- El agua de reposición es tratada pero igual se concentran sales de Ca y Mg
- Se agregan aditivos para ablandar las sales y que éstas formen decanten como barros (lodos)
- Los barros se eliminan con la **purga de fondo** mediante dos válvulas (una de hermeticidad y una de apertura rápida)
  - Los lodos entorpecen la circulación del agua
  - Las purgas se realizan cada vez que un foguista comienza su turno laboral (no es un régimen estricto)
- En la interfase líquido-vapor se forma espuma y esta se retira con una **purga continua de superficie**
  - La espuma se forma por grasa, aceite o cualquier agente que aumente la tensión superficial (aumenta la permanencia de las burbujas). Puede falsear la lectura de nivel y hacer que el vapor arrastre espuma
  - La purga se realiza de forma continua mediante una válvula de aguja

# Capacidad de una caldera humotubular

- Para cualquier tipo de caldera es la cantidad de vapor que es capaz de producir la caldera por unidad de tiempo ( $kg/h$ )  $\rightarrow \dot{m}_v$
- Calor útil  $\dot{Q}_U$ 
  - Calor aprovechado por el agua
  - Condición de entrada según  $T_e \rightarrow h_e = h_f$
  - Condición de vapor generado según  $p \rightarrow h_s = h_g$

$$\dot{Q}_U = \dot{m}_v(h_s - h_e) = \dot{m}_v h_{fg}$$

# Calderas acuotubulares



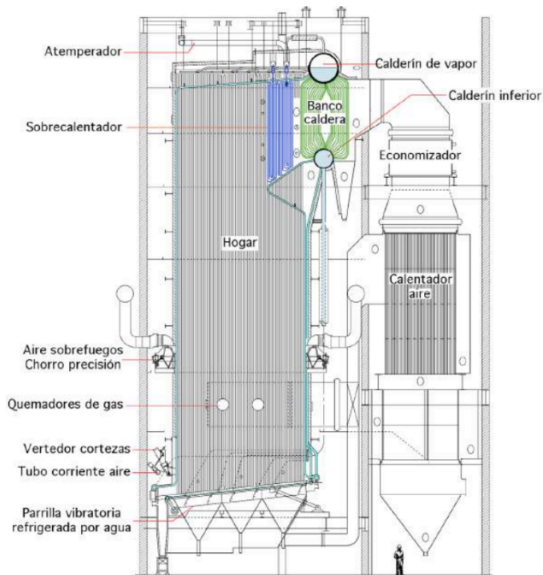
# Componentes

- **Tubos montantes:** se produce el vapor. Son superficies de intercambio de calor
- **Tubos bajantes:** su única función es cerrar el circuito de agua. Suelen estar aislados y no tienen función de intercambio de calor
- **Domos:** cilindros horizontales de los que entran y salen varios tubos
  - *Domo superior:* recibe el vapor y el agua de reposición. Lleno de agua líquida saturada hasta aproximadamente 2/3 de su volumen. Tiene un separador para evitar el arrastre de agua líquida junto al vapor
  - *Domo inferior (colector de barro):* uno, varios o ninguno. Recoge el agua que desciende por los bajantes
- **Hogar:** paredes de tubos montantes de agua. Tiene una pared con una "nariz" (curvatura) para que salgan los humos. Intercambio radiativo con la llama y los humos calientes de la combustión

# Componentes

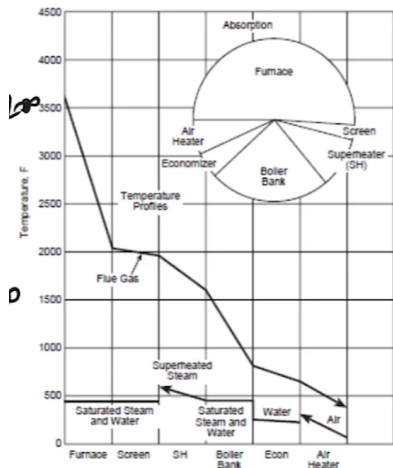
- **Banco de convección:** formado por los domos y los tubos bajantes y montantes (que no pertenecen al hogar). Intercambio principalmente convectivo con flujo cruzado
- **Sobrecalentador:** sobrecalienta el vapor saturado. Se intercala entre el hogar y el banco de convección. Convectivo o radiativo (si ve la llama). Carecen del efecto refrigerante del agua
- **Economizador:** aprovecha la energía remanente de los humos que salen del banco convectivo. Su función es precalentar el agua que ingresa a la caldera desde el tanque de alimentación
- **Precalentador de aire:** última superficie de intercambio antes de la chimenea. Su función es precalentar el aire que entra al hogar

# Esquema de caldera Stirling





# Perfiles de temperatura



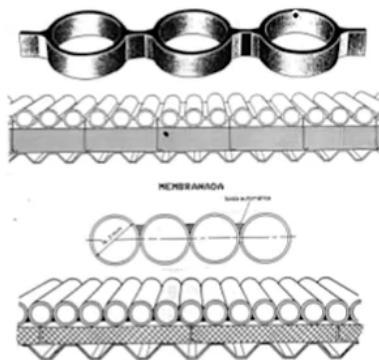
# Superficies de vaporización y de recuperación

- **Superficies de vaporización:** superficies de intercambio a través de las cuales el agua recibe calor para vaporizarse
  - Hogar
  - Banco de convección
- **Superficies de recuperación:** superficies de intercambio que no son vaporizantes
  - Sobrecalentador
  - Economizador
  - Precalentador de aire

# Hogar

- Gran volumen donde se da la combustión
- Primer enfriamiento de los humos
- Seis paredes de tubos montantes
- Disposición de tubos en las paredes
  - Pared membranada con aletas entre los tubos
  - Pared de tubos contiguos soldados longitudinalmente
- El piso puede estar cubierto por material refractario para proteger los tubos del combustible o para compatibilizar áreas de intercambio (el volumen y el área del hogar se calculan de maneras distintas)
- De adentro de la caldera hacia afuera hay tres capas
  - 1 Pared de tubos
  - 2 Aislante
  - 3 Chapa acanalada para sujetar el aislante

# Paredes de tubos del hogar



# Paredes de tubos del hogar



# Colocación de quemadores en el hogar



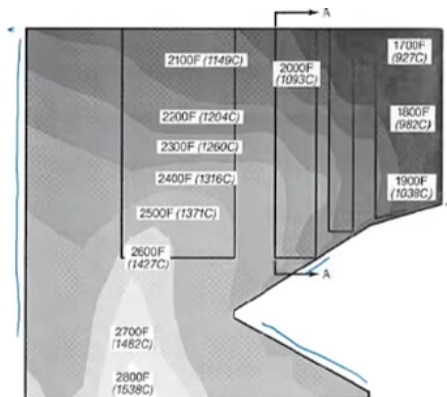
Los tubos no se pueden cortar! Se curvan generando una forma cónica (también se usa para tapillas de inspección)

# Sobrecalentadores

- **Dos tipos**

- *Radiantes*: ven directamente la llama del hogar
- *Convectivos*: se encuentran detrás de la nariz, de una pantalla de tubos montantes o de otro sobrecalentador. Puede tener que considerarse la radiación si los humos son muy calientes
- De las **superficies más exigidas** porque los refrigera el vapor (enfriamiento sensible)
- Son tubos que **se cuelgan** en posición vertical o horizontal
- Formados por **varias parrillas** de tubos cuyas entradas y salidas van a colectores
- No pueden quedar sin vapor (**no se pueden secar**)
- **No** tienen **aletas** y están espaciados para facilitar la limpieza por adherencia de cenizas
- Hay mayor temperatura, por lo que el área de intercambio puede ser menor (disminuye costos ya que **son de materiales especiales**)

# Sobrecalentadores





# Tubos de un sobrecalentador

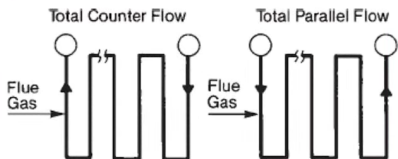
- Diámetros de los tubos
  - Mayor diámetro → menor pérdida de presión pero requiere mayor espesor
  - Menor diámetro → permite aumentar el área de transferencia pero hay mayor pérdida de presión



# Configuración del flujo en un sobrecalentador

- Tres tipos principales de flujo
  - Contracorriente
  - Concorrente
  - Flujo combinado

# Contracorriente y concorriente

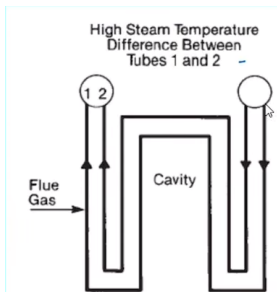


- **Localmente el flujo es cruzado**, pero globalmente es contracorriente o paralelo
- **Desventajas**
  - *Contracorriente*: pared de los tubos a mayor temperatura que en flujo paralelo
  - *Concorriente*: se necesita mayor área de transferencia que en contracorriente

# Contracorriente y concorriente



# Contracorriente y concorriente multipasos



# Contracorriente y concorriente multipasos







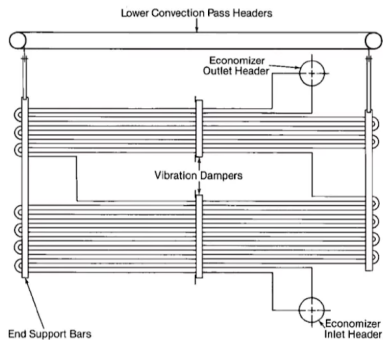
# Flujo combinado



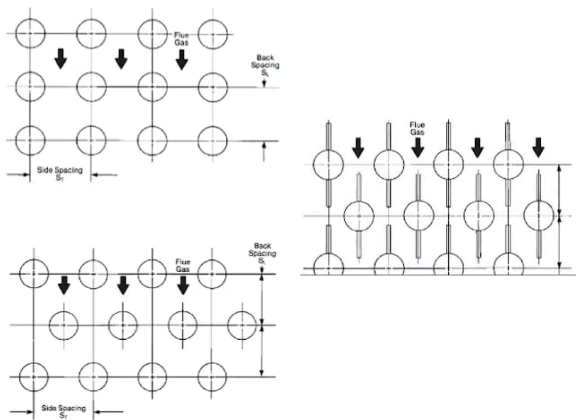
# Economizador

- Su objetivo es precalentar el agua que sale del tanque de alimentación antes de que ingrese al domo superior
- No es una superficie pensada para que ser vaporizante, se estima llegar a  $T_{s,ECO} \approx T_{sat} - 20^{\circ}\text{C}$
- Son bancos de tubos aletados en disposición tresbolillo o en línea con agua por dentro de tubos (el agua está a presión!)

# Disposición de tubos en economizador



# Disposición de tubos en economizador

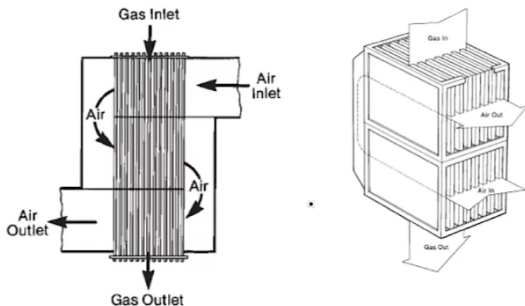


# Precalentador de aire

- Dos tipos principales
  - **Recuperativos**
    - Banco de tubos con flujo cruzado con humos por dentro para facilitar la limpieza
    - Intercambiadores de placas gas-gas compactos pero limpieza complicada
  - **Regenerativos**
    - Tipo Ljungström

# Recuperativos

- Se tiene una superficie en estado estacionario que separa dos flujos (la superficie no almacena y transmite calor)



# Regenerativo: Ljungström

- Se transfiere calor a través de un medio de acumulación que es expuesto a los fluidos calientes y fríos de manera periódica
- Su principal ventaja es su gran área de transferencia (permite trabajar con pequeñas diferencias de temperatura)
- Constituidos por un gran rotor separado en gajos rellenos de placas corrugadas que giran muy lentamente (entre 1 y 2 RPM) pasando de la zona caliente a la fría periódicamente
- Tiene en cuenta una fuga intencional de aire hacia la corriente de gases, pequeña pero significativa, para no retornar humos al hogar
- El motor no se puede quedar quieto. Tiene que haber un respaldo de energía, por ejemplo, una palanca manual

# Regenerativo: Ljungström

