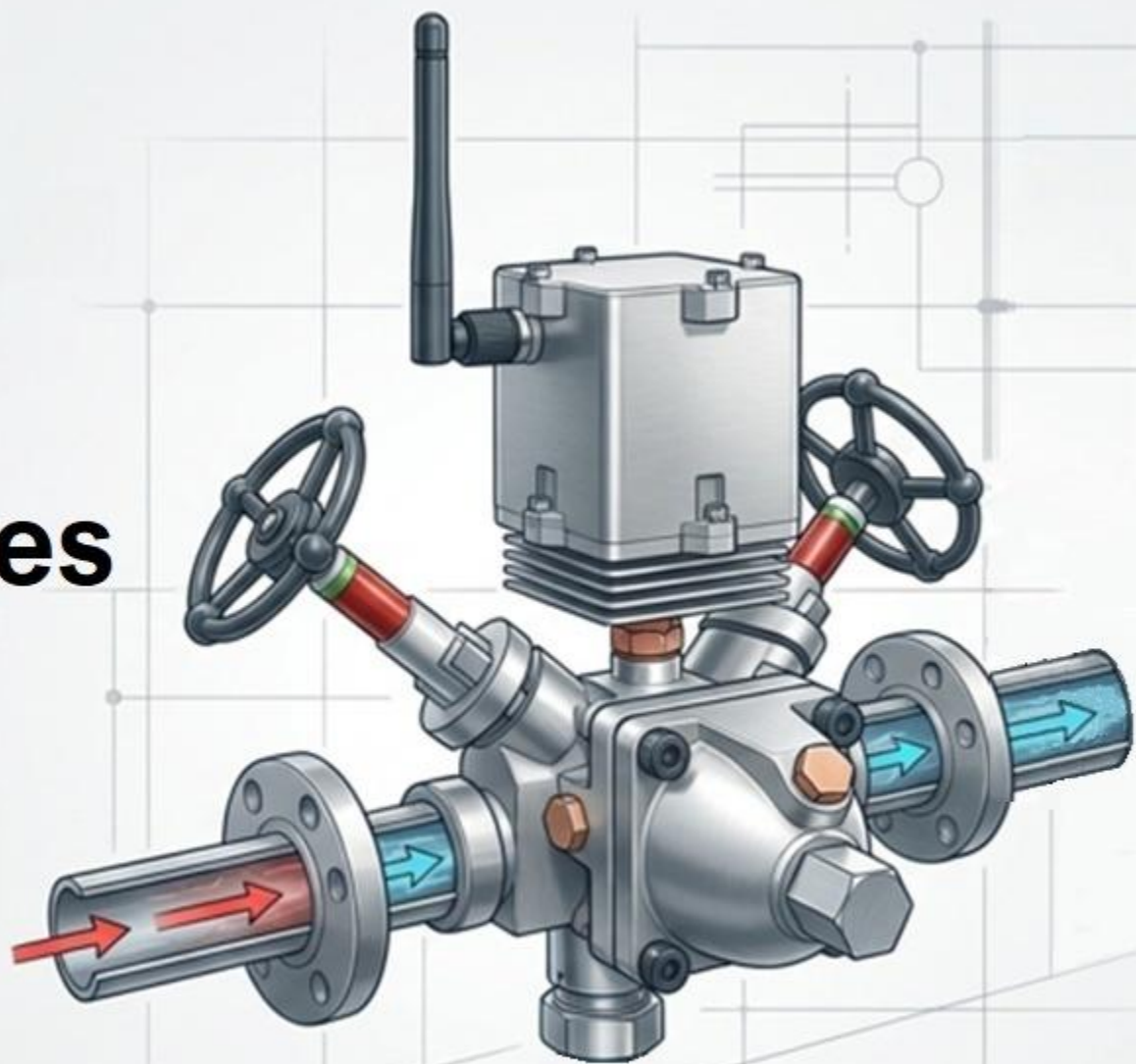


# Manual de Vapor: Eficiencia Energética y Purgadores Inteligentes

Optimizando el uso del vapor en la industria moderna para reducir costos operacionales y emisiones de CO<sub>2</sub>

Basado en la obra técnica de Vicente Blázquez Navarro  
(Ingeniero Aeronáutico y Fundador de BiTherm).



# El Triple Desafío del Vapor Industrial



## Eficiencia

El vapor transfiere cantidades masivas de energía, pero los sistemas tradicionales operan con pérdidas sistémicas ocultas.



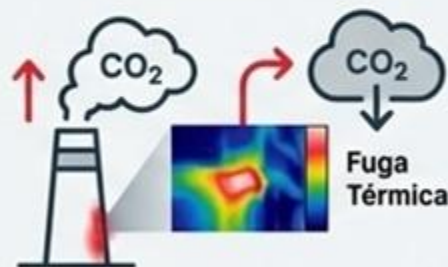
## Costos

La pérdida de vapor vivo y el manejo ineficiente del condensado incrementan exponencialmente el consumo de combustible en las calderas.



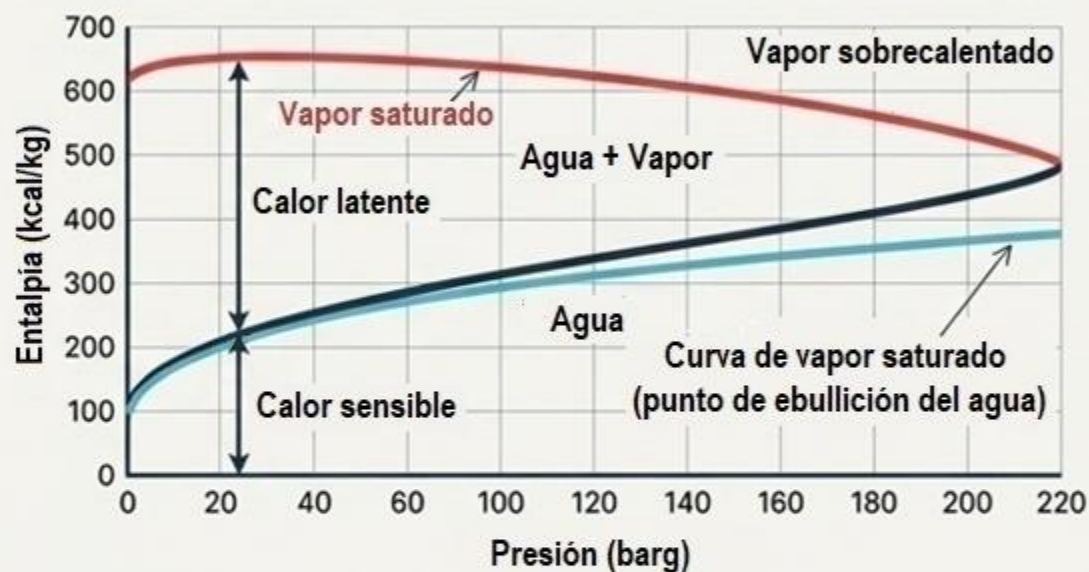
## Emisiones

Cada fuga térmica no modulada se traduce directamente en un aumento innecesario de las emisiones atmosféricas de CO<sub>2</sub>.



**Optimizar el sistema de vapor ya no es una simple tarea de mantenimiento; es el pilar de la rentabilidad y la sostenibilidad industrial.**

# La Física de la Eficiencia Térmica: Calor Sensible vs. Latente



## Calor Sensible:

Aumenta la temperatura del agua líquida hasta su punto de ebullición.

## Calor Latente:

La energía absorbida/liberada durante el cambio de fase (agua a vapor) a temperatura constante.

## Regla de Oro de la Eficiencia:

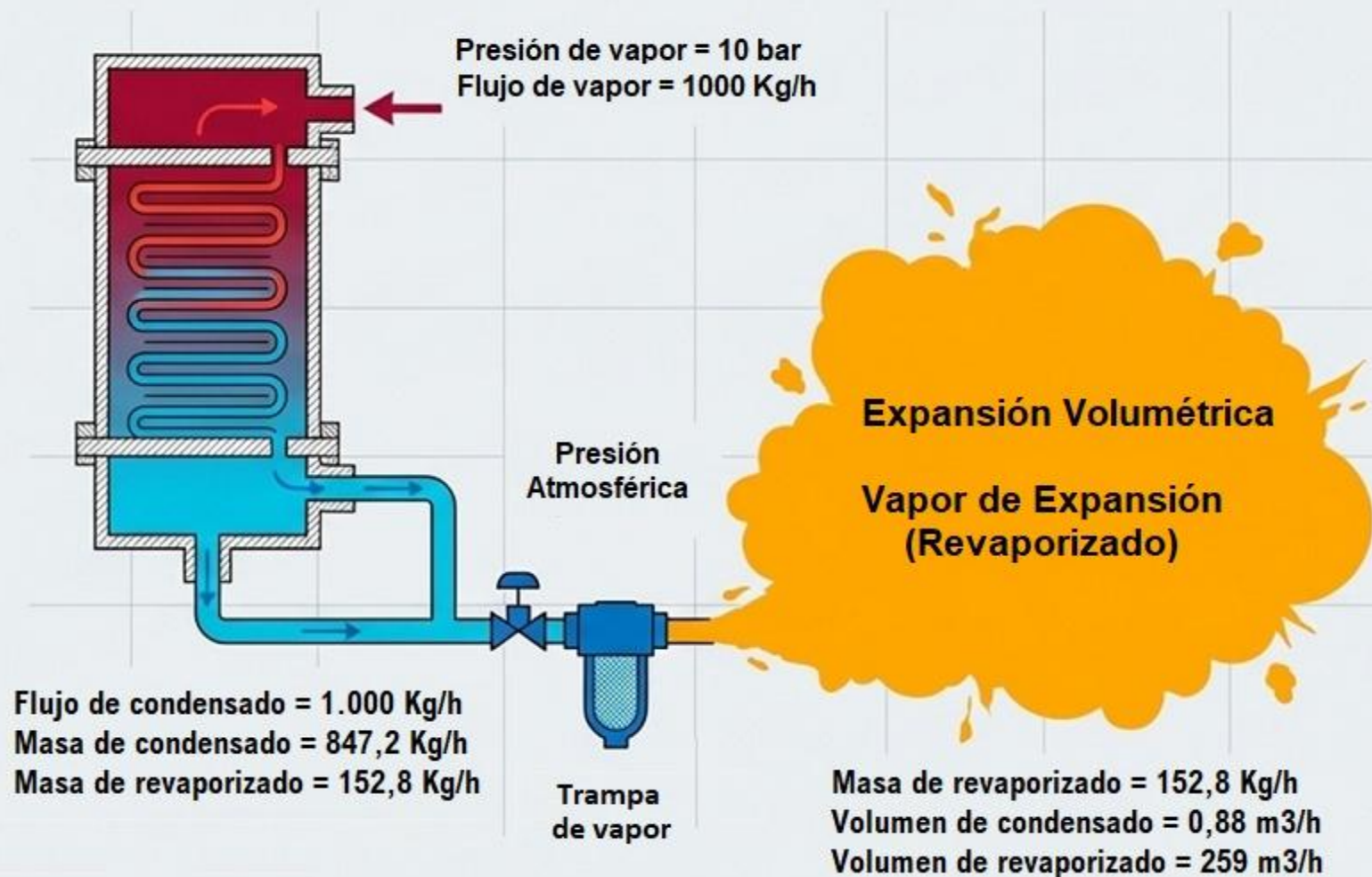
A menor presión de vapor, mayor es la cantidad de calor latente liberado.

## CONCLUSIÓN:

El objetivo de una red eficiente es utilizar el vapor a la menor presión posible (garantizando la transferencia térmica) y evacuar el condensado reteniendo su energía residual.

# El Enemigo Oculto: Vapor de Expansión

Se genera espontáneamente a la salida de la trampa por la caída de presión del condensado caliente (liberación de entalpía excedente).



## La Asimetría Volumétrica

(Ejemplo: 10 bar descargando a la atmósfera)

**Masa:** El revaporizado representa solo 15,28% de la masa.



**Volumen:** Pero ocupa un asombroso 99,66% del volumen total.

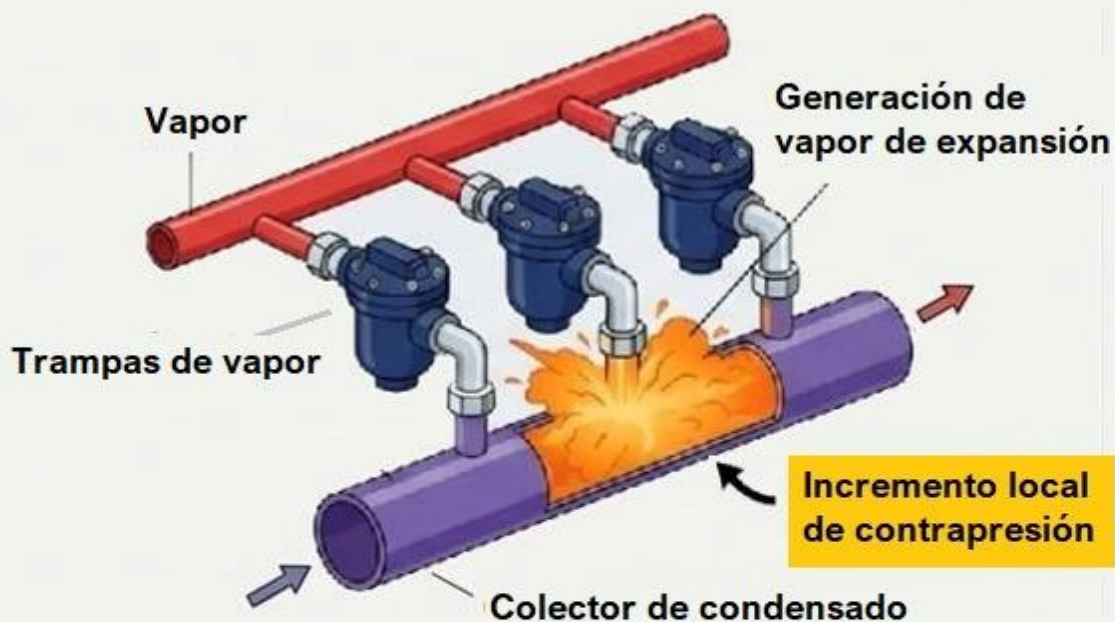


Condensado  
+  
Revaporizado

Vapor Vivo

Físicamente idéntico al vapor vivo.  
Visualmente imposible de distinguir a simple vista.

# Efectos Destructivos del Vapor de Expansión Descontrolado



## GOLPE DE ARIETE HIDRÁULICO

Excesiva velocidad del vapor respecto al condensado



Flexión de tuberías

Obstrucción instantánea de flujo

## GOLPE DE ARIETE TÉRMICO

Implosión de burbujas de vapor



## Caos Operacional (Contrapresión)

- El inmenso volumen del vapor flash presuriza los colectores de retorno.
- Reduce la presión diferencial disponible, ahogando (inundando) las trampas vecinas.



## Daño Mecánico (Golpe de Ariete y Erosión)

- **Ariete Hidráulico:** Olas de agua bloquean la tubería por diferencias de velocidad.
- **Ariete Térmico:** Implosión violenta de burbujas de vapor dentro del condensado subenfriado.

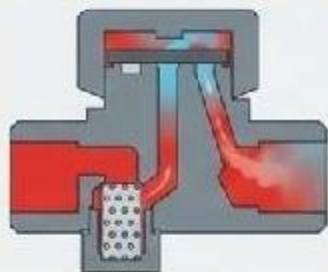


## Pérdida Ambiental

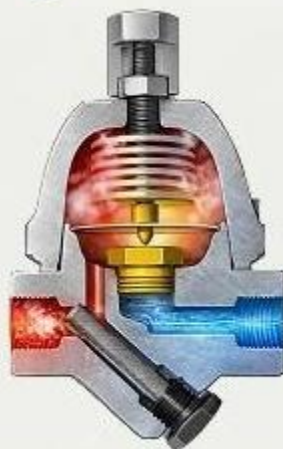


- Imposibilidad de recuperar condensado.
- El venteo constante a la atmósfera equivale a pérdida directa de energía y agua tratada.

# La Evolución Tecnológica de la Trampa de Vapor



- Fuga cíclica de vapor vivo
- Sin control energético
- Excesivo vapor de expansión



- Perfecto control energético
- Reducción de vapor de expansión



- Descarbonización
- Fiabilidad
- Eficiencia
- Mantenimiento RCM

## Válvula On/Off (Pasado)

- **Definición:** Válvula automática sensible solo al estado físico (líquido vs. gas).
- **Problema:** Sin control térmico; propensa a grandes pérdidas de vapor.

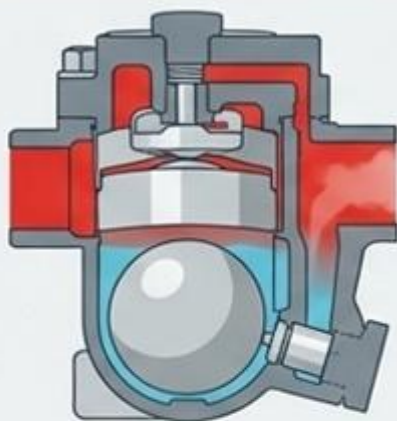
## Válvula de Control de Energía (Presente)

- **Definición:** Regulador termostático que modula el caudal basado en la temperatura y la energía residual (calor sensible).

## Dispositivo Inteligente (Estándar Actual)

- **Definición:** Válvula de control monitorizada, capaz de auto-diagnóstico en tiempo real para mantenimiento RCM (Reliability-Centered Maintenance).

# Tecnologías Tradicionales: Límites de los Diseños por Densidad y Velocidad



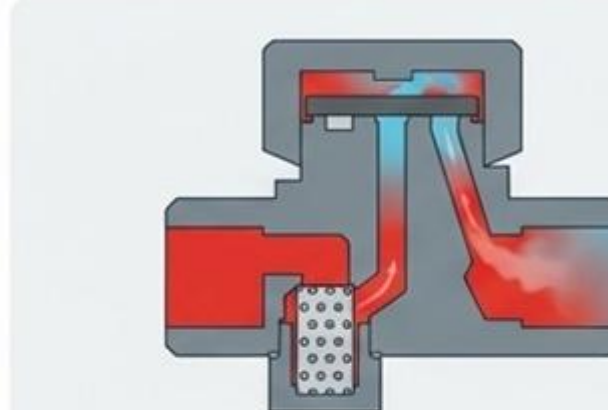
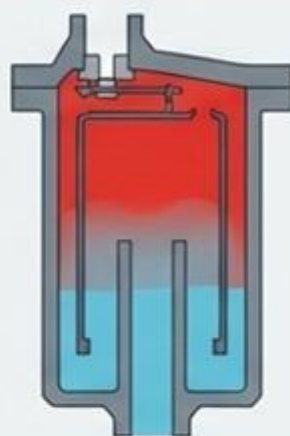
## Trampas Mecánicas (Flotador y Cubeta Invertida):



- **Mecanismo:** Flotabilidad (Sensibles a la densidad).



- **Deficiencias:** Voluminosas, presurizan el retorno, nulo control de temperatura (baja eficiencia).



## Trampa Termodinámica de Disco (El Catalizador del Problema):



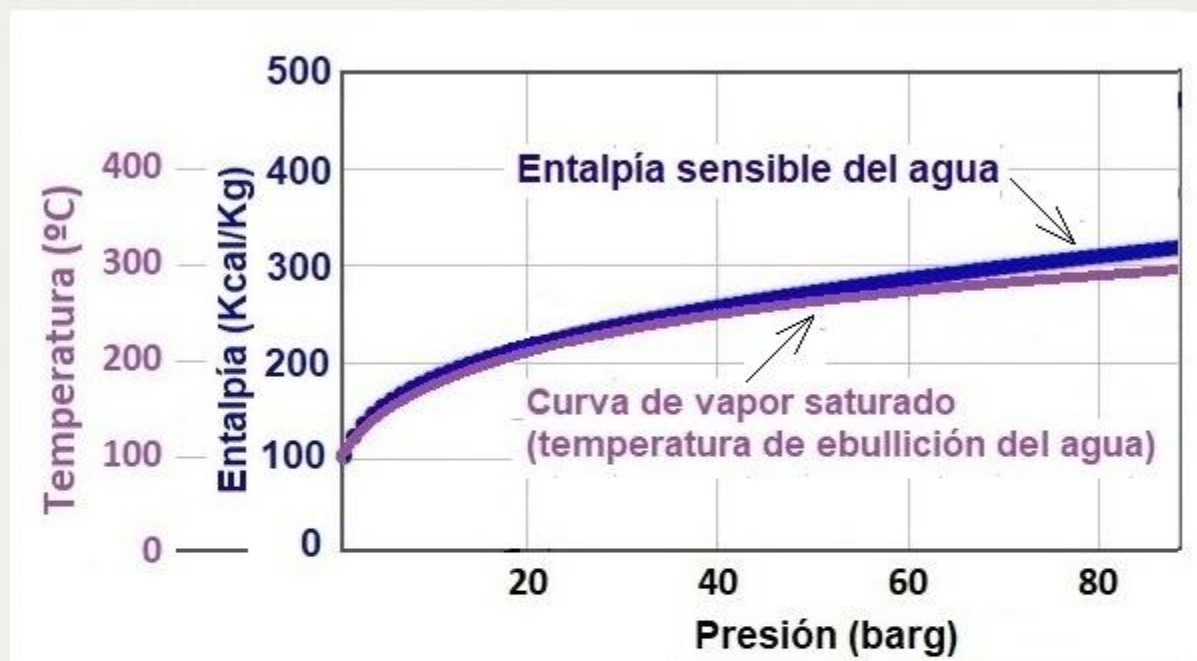
- **Mecanismo:** Principio de Bernoulli (Sensible a la velocidad).



- **Deficiencias:** Descarga cíclica violenta. Falla y queda abierta si la contrapresión supera el 60%, contagiando el problema a toda la red.

**Conclusión:** Tecnologías incompatibles con las exigencias modernas de eficiencia energética y mitigación de emisiones.

# El Cambio de Paradigma: Control Termostático



Entalpía Sensible  
del Condensado  
(Kcal/Kg)



148,1 Kcal/Kg

Temperatura de Ebullición  
del Agua  
(°C)



148 °C

Vapor Saturado a 4,5 barg



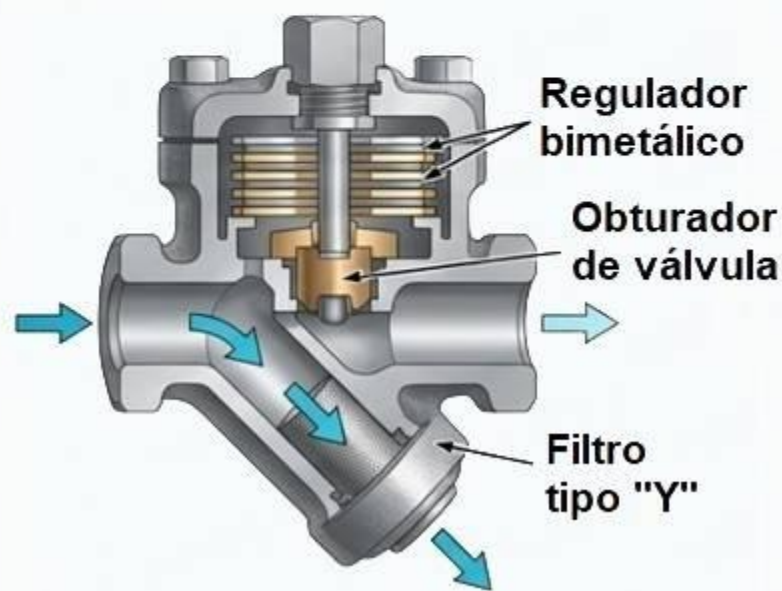
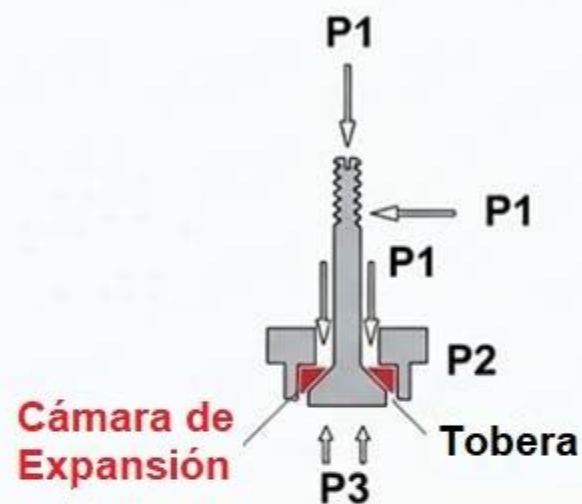
## Concepto Central:

La energía del condensado a temperatura de saturación del vapor (entalpía sensible del agua) expresada en Kcal/Kg es aproximadamente igual a la temperatura de ebullición del agua (temperatura de saturación del vapor) en °C.

**Conclusion:** Controlar temperatura del condensado = Regular energía del condensado

**Aplicación:** Purgador termostático = Regulador de energía del condensado

# La Trampa Bimetálica Clásica y su Talón de Aquiles



## El Mecanismo:

Las placas bimetálicas tiran del cono hacia arriba para cerrar la válvula a medida que aumenta la temperatura.

## Las 2 Limitaciones Físicas Críticas:

### 1. Válvula de Presión Diferencial:

La presión del vapor tiende a abrir la válvula. El termostato debe luchar contra la presión de la red, limitando su rango útil.

### 2. Erosión por Vapor Flash:

El cierre ocurre en el lado de salida. El flujo bifásico de alta velocidad (condensado + flash) actúa como un chorro de arena que destruye rápidamente el cono de cierre.

## Resultado:

Requiere reemplazo frecuente de internos y cortes de servicio.

# La Solución Óptima: Purgador Bitermostático Bimetálico

## Innovación 1: Doble Termostato Antagonista

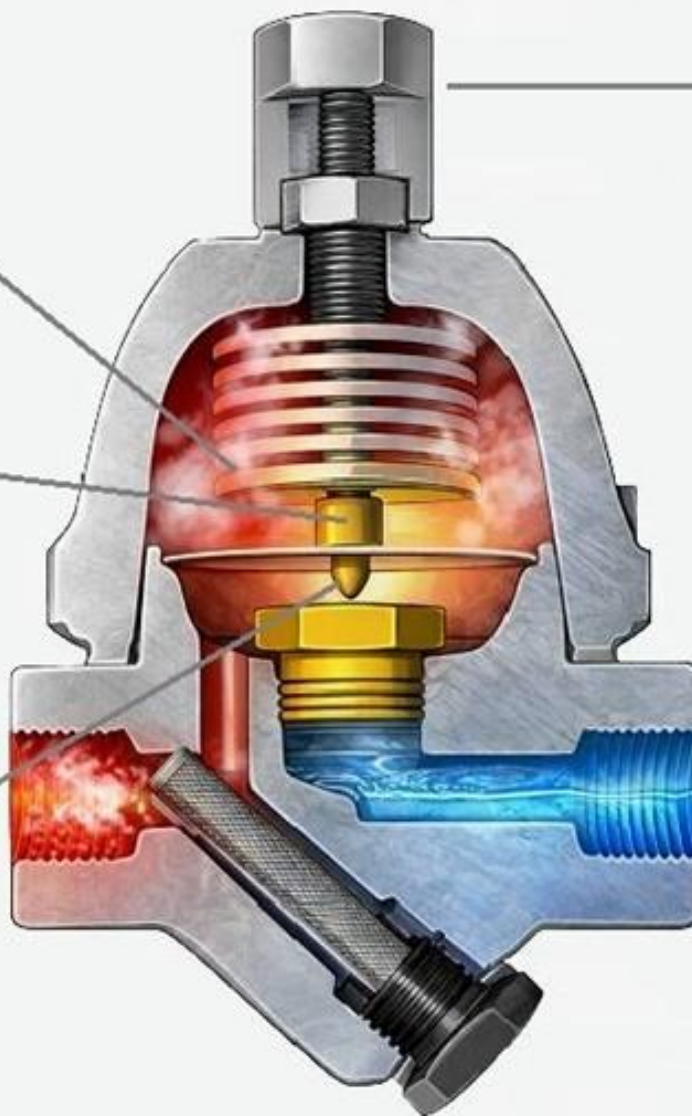
Termostato superior (cierre)  
Termostato inferior (apertura)  
Modulación dinámica perfecta  
y sin bloqueos en frío

## Innovación 2: Válvula de Presión Equilibrada

Sumersión total en condensado  
Resultante de fuerzas = Cero  
Inmune a la contrapresión de colector

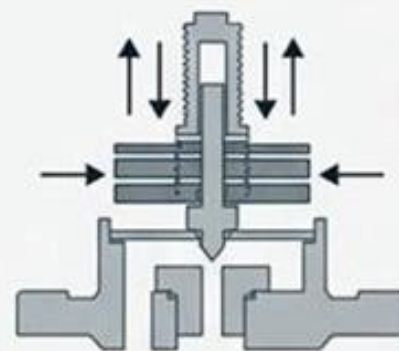
## Innovación 3: Larga Vida Útil (Sin Erosión)

Cierre en el lado de entrada (baja velocidad). El cono no sufre el impacto destructivo del vapor de expansión.



## Innovación 4: Ajuste Externo Sin Cortes

Mecanismo de regulación accesible desde el exterior para ajustar la temperatura de descarga sin detener su funcionamiento.



Obturador guiado en ambos extremos

# Batalla Técnica: Clásica vs. Bitermostática

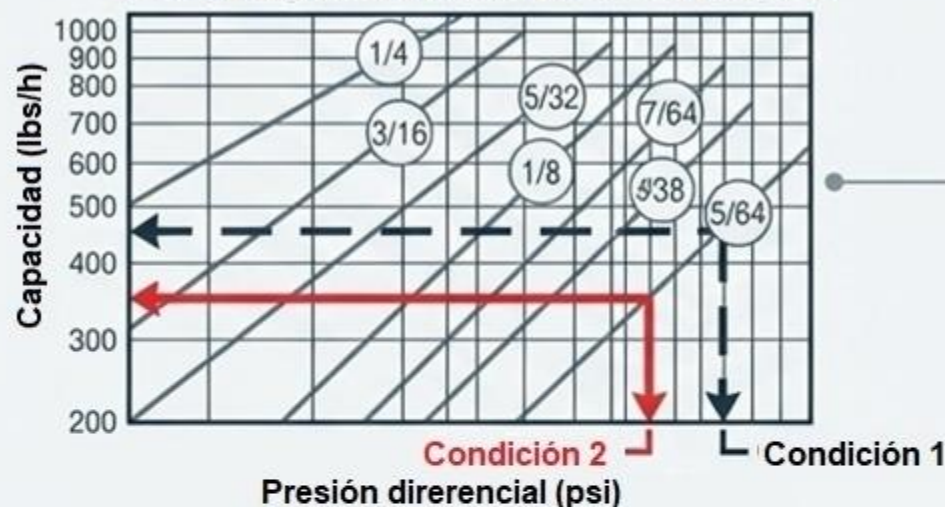
|                                          | Clásica                                                       | Bitermostática                                                                               |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Flexibilidad Operativa</b>            | Requiere interrumpir el servicio.                             | Ajuste en línea sin cortes (Excelente). ✓                                                    |
| <b>Tipo de Válvula (El factor clave)</b> | Presión Diferencial (sensible a la contrapresión).            | Presión Equilibrada (inmune a la contrapresión). ✓                                           |
| <b>Mantenimiento y Desgaste</b>          | Cono erosionado por flash steam. Requiere repuestos y parada. | Cono guiado en ambos extremos, aislado de la erosión. Vida útil triplicada. Sin repuestos. ✓ |

## Mecanismos Anti-Bloqueo (Exclusivos de la Bitermostática):

Filtro "Y" integrado,  válvula de paso total,  arandelas separadoras de 1mm anti-suciedad. 

# Comportamiento Dinámico: Capacidad vs. Contrapresión

Curva de capacidad trampa de cubeta invertida



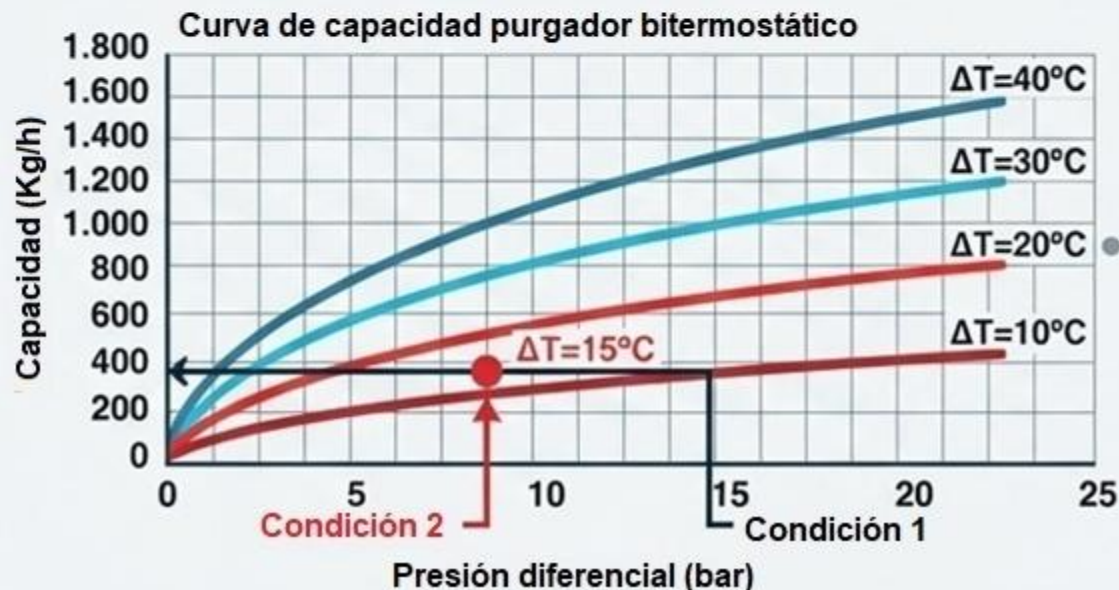
## El Problema de las Trampas Cíclicas (Ej. Cubeta Invertida):

- Si la contrapresión sube repentinamente, la capacidad de descarga de la trampa cae abruptamente. La trampa se inunda, enfriando el proceso.



## La Respuesta Bitermostática (Equilibrio Dinámico):

- Al ser una válvula de presión equilibrada y modular por temperatura, si la contrapresión sube, retiene brevemente el condensado.
- Al enfriarse unos grados, salta automáticamente a una curva de mayor capacidad de descarga (ej. de  $\Delta T=10^{\circ}\text{C}$  a  $\Delta T=15^{\circ}\text{C}$ ).



## Resultado:

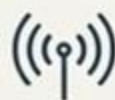
Adapta su capacidad en tiempo real para recuperar el flujo sin colapsar la línea.

# El Futuro del Mantenimiento: Purgadores Inteligentes



## Concepto

La transición del diagnóstico empírico a la monitorización IoT global.



## SmartWatchWeb™

- Algoritmos avanzados que distinguen con precisión absoluta entre descargas de Vapor Flash (normal) y Fugas de Vapor Vivo (fallo).
- Transmisión de datos en tiempo real (LoRaWAN / NB-IoT).

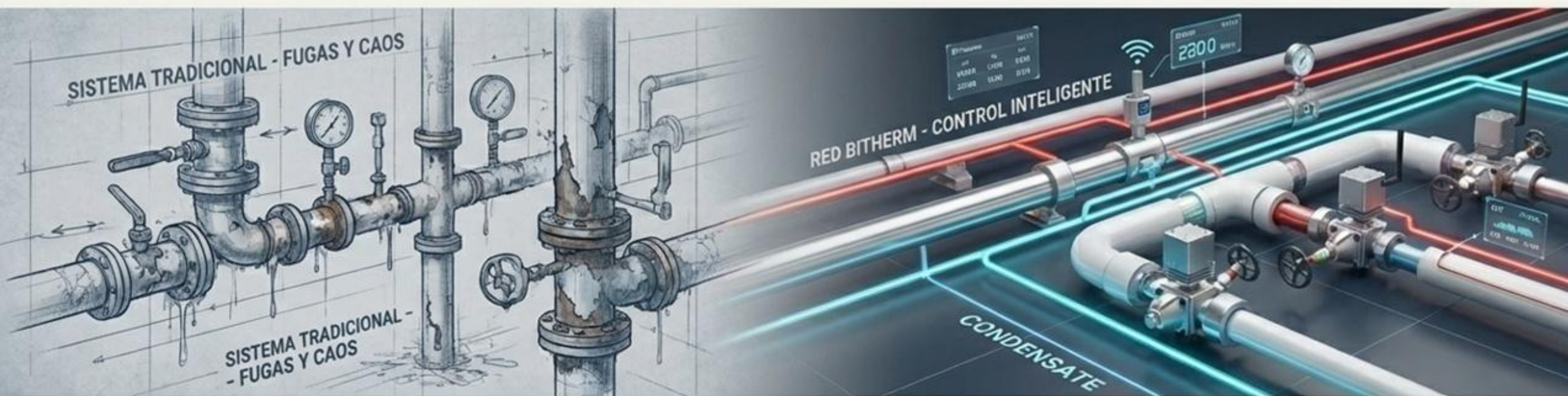


## Impacto Financiero (RCM)

- La implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) permite la reparación rápida en servicio (gracias al ajuste externo).

**Resultado Demostrado: Reducción superior al 8% en el consumo total de vapor en redes petroquímicas a gran escala**

# Conclusión: La Válvula de Control de Energía del Siglo XXI



- El Vapor Flash es inevitable, pero controlarlo mediante la modulación de la temperatura es la clave para evitar el colapso de la red de retorno.



- Las Trampas Mecánicas y Termodinámicas generan ineficiencias sistémicas, contrapresión e incrementan las emisiones de CO<sub>2</sub>.



- **El Purgador Bitermostático** elimina el desgaste por erosión, ignora la contrapresión y permite ajustes en línea sin detener la producción.



- **El Purgador Inteligente (IoT):** El estándar actual para auditar, controlar y garantizar más de 8% de ahorro energético.

**La gestión eficiente del vapor no consiste en purgar agua, sino en administrar con precisión la energía térmica.**