



Uso de bombas de calor en sistemas de refrigeración y acondicionamiento térmico

Taller Eficiencia Energética en Refrigeración

Ing. Manuel Curiel

MCT Ingeniería

24 de Marzo, 2026

Energy Partnership
Uruguay - Alemania

Agenda

- 1 Contexto: HVAC en laboratorios farmacéuticos
- 2 El desafío: calefacción eficiente para la nueva planta
- 3 Decisiones clave de diseño del sistema térmico
- 4 Bomba de calor + recuperación de calor residual
- 5 Resultados medidos: COP y ahorros energéticos
- 6 Impacto ambiental y económico

¿Por qué un laboratorio farmacéutico en un taller de refrigeración?

Un laboratorio farmacéutico con chillers condensados por agua y torre de circuito cerrado es termodinámicamente equivalente a una sala de máquinas de un frigorífico o una láctea. La oportunidad de recuperación de calor con bomba de calor es la misma.

Refrigeración Industrial

Compresores de refrigeración

Generan frío para cámaras / proceso

Condensadores evaporativos

Disipan el calor residual al ambiente

Calor residual disponible

Gran cantidad de energía térmica desaprovechada



Laboratorio Farmacéutico

Chillers de agua helada

Generan frío para deshumidificación

Torre de enfriamiento circ. cerrado

Disipan el calor residual al ambiente

Calor residual disponible

Gran cantidad de energía térmica desaprovechada

Misma oportunidad → recuperar calor residual con bomba de calor en vez de disiparlo

El desafío: calefacción para nueva planta Urufarma



Urufarma expandió su planta en 2023 con dos nuevos laboratorios: Oncológicos y No Segregados (sección P6).

1

Deshumidificación

Chillers enfrían el aire para extraer humedad, generando calor residual.

2

Calefacción

El aire debe elevarse a 22°C con agua caliente. Demanda térmica constante.

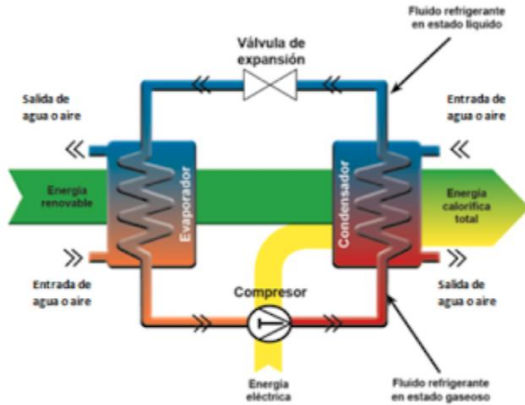
3

Oportunidad

¿Se puede aprovechar el calor residual para generar el agua caliente?

El diseño del sistema térmico se abordó desde cero, buscando maximizar la eficiencia energética

Concepto: recuperación de calor con bomba de calor



Esquema bomba de calor

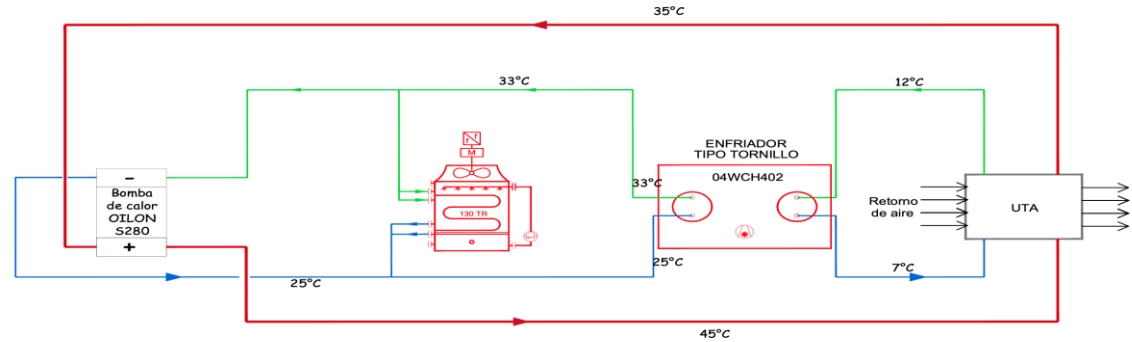


Diagrama de la instalación — Urufarma P6

$Q_{\text{evap}} + W = Q_{\text{cond}} \rightarrow$ El calor residual de los chillers se reutiliza para generar agua caliente a 45°C

El calor extraído del aire durante la deshumidificación no se disipa al ambiente, sino que se reutiliza para calentar agua mediante la bomba de calor. Esto permite multiplicar el calor y lograr rendimientos superiores al 600%.

Decisión de diseño: chillers condensados por agua

Sistema Tradicional

Chiller condensado por aire

El calor residual se disipa directamente al aire ambiente a través del condensador.

Caldera a gas para calefacción

La generación de agua caliente se realiza quemando gas natural con un rendimiento máximo del 100%.

Diseño Urufarma

Chiller condensado por agua

Torre de enfriamiento de circuito cerrado. El calor residual está disponible para ser aprovechado.

Bomba de calor para calefacción

Aprovecha el calor del condensador del chiller. Rendimiento superior al 600%.

El calor que antes se perdía al ambiente ahora se recupera y multiplica

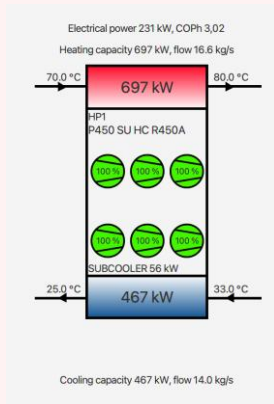
Decisión de diseño: agua caliente a 45°C

Se realizó una reingeniería en el diseño de las manejadoras de aire para operar con agua a 45°C en lugar del estándar industrial de 80°C. Este cambio tiene un impacto directo en la eficiencia de la bomba de calor.

Agua a 80°C — Oilon P450

COP = 3,02

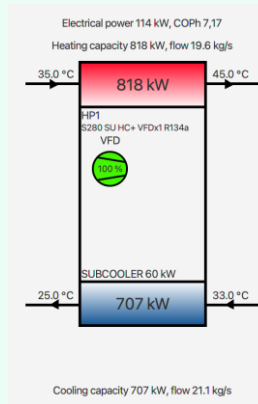
231 kW eléctrico
697 kW calefacción
6 compresores



Agua a 45°C — Oilon S280

COP = 7,17

114 kW eléctrico
818 kW calefacción
1 compresor VFD

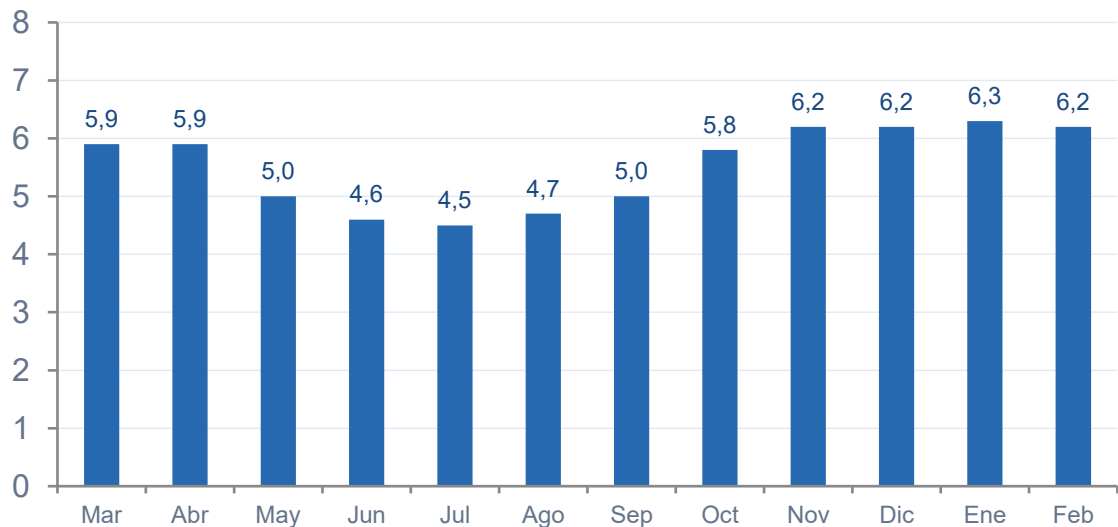


Ahorro de 875 MWh/año solo por la reducción de temperatura del agua caliente

Resultados medidos: Marzo 2024 — Febrero 2025

Datos obtenidos del sistema de monitoreo OSMA (consumo eléctrico) y Oilon Cloud (COP)

COP mensual de la bomba de calor



 **5,5**

COP
promedio
anual



345.745

kWh
consumo
eléctrico



196.521

m³ gas
natural
evitados

Impacto: ahorros energéticos y económicos

1.334

MMkcal/año

Ahorro energético
anual

~80%

Reducción del consumo
vs caldera a gas

8,9 M

\$/año

Ahorro económico
anual (UYU)

Comparación con el sistema tradicional (caldera de condensación, rendimiento 100%)

Indicador	Caldera Gas	Bomba de Calor	Ahorro
Consumo energético (MMkcal/año)	1.631	297	82%
Gas natural (m³/año)	196.521	0	100%

Próximo desafío: optimización del setpoint de condensación

El chiller y la bomba de calor compiten por la temperatura del agua de torre, creando un conflicto térmico.

El conflicto térmico

Chiller

Opera más eficientemente con agua de torre fría. Menor temperatura de condensación = menor consumo eléctrico.

Bomba de calor

Necesita agua de torre caliente para alcanzar mayor COP. Mayor temperatura de condensación = mayor eficiencia.

Ambos comparten la misma torre de enfriamiento → objetivos opuestos

La solución: control predictivo con ML

Sistema de control predictivo que optimiza dinámicamente el setpoint de condensación en tiempo real, coordinando chiller y bomba de calor.

Algoritmo de Machine Learning que encuentra el punto óptimo global del sistema en cada momento, minimizando el consumo total.

Sin cambios de hardware — pura inteligencia de control

Ahorro proyectado: 127.232 kWh/año adicionales

~7,6 ton CO₂/año • \$U 504.863/año • Sin inversión en hardware



Gracias

Ing. Manuel Curiel
mcuriel@mct-esco.com

MCT Ingeniería