

# ANÁLISIS DE LAS CONSECUENCIAS TÉCNICAS Y ECONÓMICAS DERIVADAS DEL EMPLEO DE AEROEVAPORADORES Y AEROCONDENSADORES CON PRESTACIONES INFERIORES A LAS NOMINALES

Ing. Umberto Merlo  
Laboratorio R&S, LU-VE S.p.A.

## 1.- Introducción

La instalación de un equipo, ya sea un aeroevaporador o un aerocondensador, en una instalación frigorífica con potencias inferiores a las declaradas en el catálogo (nominales), altera las condiciones de funcionamiento de dicha instalación.

Esta alcanza, en estos casos, un estado de equilibrio con valores de temperatura de evaporación y de condensación más bajos y más altos, respectivamente.

En este estado anómalo, el compresor deberá funcionar durante más tiempo y con un coeficiente de rendimiento (COP, por sus siglas en inglés) inferior, para garantizar la temperatura establecida en el proyecto de la cámara (pozo frío).

En esta memoria se analizarán los dos casos de funcionamiento, uno en relación a una cámara de baja temperatura y uno relativo a una cámara de alta temperatura; en ambos casos se calcularán los costes de funcionamiento utilizando equipos con potencias certificadas y con equipos "no certificados", con prestaciones inferiores a las nominales de catálogo.

## 2.- Procedimiento lógico

En el *laboratorio R&S* de *LU-VE S.p.A.* (Uboldo, VA) se ha desarrollado un modelo de cálculo - fruto de numerosas pruebas experimentales - de las condiciones de funcionamiento de un ciclo frigorífico durante las fases transitorias; en particular, se calculan - además de los parámetros termodinámicos del evaporador (potencia, caudal de aire, espesor de la escarcha, energía frigorífica útil, COP, tiempos y ren-

dimientos de descongelación, etc.) - los costes de funcionamiento para los tres conceptos fundamentales: compresor, ventilación (aerocondensador y aeroevaporador) y eventualmente, descongelación.

Las principales hipótesis adoptadas en el modelo de cálculo son las siguientes:

- temperatura constante del pozo frío (cámara frigorífica)
- temperatura constante del pozo caliente (entorno externo a la cámara)
- potencias absorbidas por los ventiladores constantes en el tiempo.

Los errores medios entre los valores experimentales y los de simulación son los siguientes:

- Potencia frigorífica en fin de ciclo de congelación:  $\pm 3,3\%$
- Caudal de aire en fin de período de congelación:  $\pm 6,1\%$
- Relación entre potencia frigorífica en fin de congelación e inicial:  $\pm 1,7\%$
- Masa final de escarcha:  $\pm 5,0\%$ .

El gráfico de la figura 1 indica la evolución de la potencia frigorífica y de esta última relacionada con el DT1 (esto es, la diferencia entre la temperatura de la cámara y la temperatura de evaporación), en función al tiempo de congelación. El gráfico de la figura 2, por contra, representa la evolución del espesor de escarcha acumulada en las aletas y las pérdidas de carga del paquete de las aletas (del lado aire - cru-



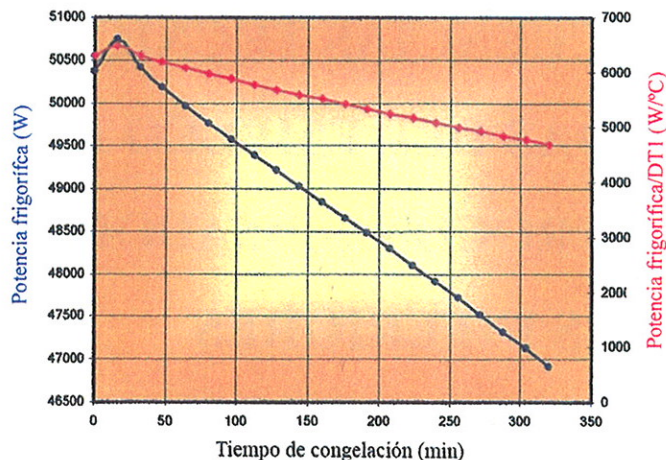


Figura 1

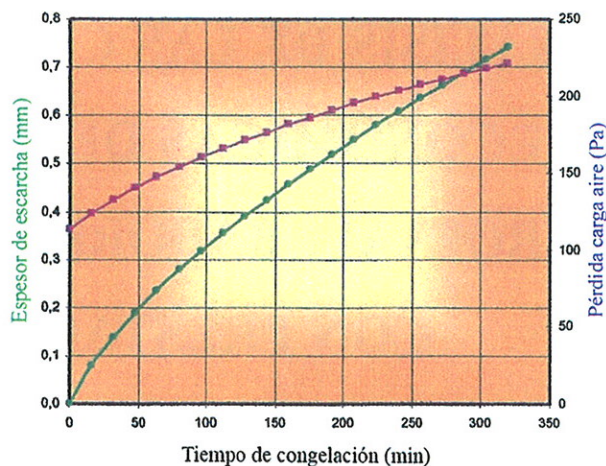


Figura 2

zando la curva característica del ventilador acoplado) en función del tiempo de congelación.

El procedimiento lógico con el que se analizarán las variaciones de las condiciones de funcionamiento del sistema se basa en una hipótesis de instalación frigorífica de referencia y examina los siguientes aspectos:

A) variación de la temperatura de evaporación y de condensación

B) disminución de la potencia frigorífica proporcionada realmente por el compresor

C) aumento del factor de utilización (número de horas reales de funcionamiento al día/24 horas), esto es, del número de horas de funcionamiento del compresor

D) aumento de los consumos energéticos

- ventilación: evaporador y condensador
- compresor
- ineficiencias debidas a la eventual formación de escarcha

E) aumento de los costes de funcionamiento

- ventiladores
- compresor
- eventual formación de escarcha.

Las comparaciones, en las diversas situaciones de funcionamiento, se ejecutan considerando constante la energía útil / neta sustraída por la hipotética cámara frigorífica, calculada restando a la energía frigorífica la energía descargada por los ventiladores y la descargada durante la descongelación (iguales a la energía consumida durante la descongelación, multiplicada por  $(1-\eta_{\text{descongelación}})$ ).

### 3.- Análisis del procedimiento lógico

#### A. Variación de la temperatura de evaporación y de condensación

Se puede afirmar que para un aerointercambiador, la relación entre la potencia y el DT es regularmente constante:

$$P/DT = \text{constante.}$$

Esto conlleva, por ejemplo en un aroevaporador, en el caso de ineficiencia de funcionamiento, aumentar el DT1 y por lo tanto reducir la temperatura de evaporación.

El aumento del DT1 mejora el intercambio térmico, recuperando en parte la ineficacia del equipo.

En el caso de un arocondensador con ineficacia de funcionamiento, el DT aumente en consecuencia, aumentando la temperatura de condensación.

#### B. Disminución de la potencia frigorífica

Como consecuencia del aumento del DT1, el compresor volumétrico registra una disminución de la presión de aspiración y de la densidad del líquido refrigerante aspirado.

Siendo la potencia frigorífica proporcionada por el compresor directamente proporcional a la masa que lo atraviesa, la reducción de la densidad - a igual caudal - reduce la potencia frigorífica disponible.

La variación de la potencia frigorífica al disminuir la temperatura de evaporación (aumenta por el evaporador y disminuye por el compresor), lleva a un nuevo punto de equilibrio de funcionamiento, con una potencia inferior a la nominal del proyecto.





### C. Aumento del número de horas de funcionamiento del compresor

La energía frigorífica proporcionada por un compresor volumétrico es directamente proporcional a la potencia frigorífica y al tiempo de funcionamiento.

Con la disminución de la temperatura de evaporación, para proporcionar la misma energía frigorífica útil en la cámara, el compresor debe funcionar durante un tiempo más prolongado.

### D. Aumento de los consumos energéticos

Los aumentos de los consumos energéticos se deben esencialmente a dos conceptos:

- Mayores consumos de los grupos ventiladores (aeroevaporador y aerocondensador), debidos al mayor tiempo de funcionamiento.
- Mayor consumo del compresor por mayor tiempo de funcionamiento; tal efecto predomina respecto a la escasa disminución de potencia eléctrica absorbida que se tiene en el nuevo punto de funcionamiento.

### E. Aumento de los costes añadidos anuales

Valorizando los aumentos de los consumos energéticos y comparándolos con el valor de mercado del aeroevaporador, se registra una evolución diferente en función de la relación entre potencia efectiva y potencia nominal. Mientras mayor es la potencia frigorífica, mayor es la importancia del aumento de los costes anuales, tanto en valor absoluto, como en comparación con el valor de mercado del equipo.

### 4.- Resultados del análisis

Los gráficos de la figura 3 y de la figura 5 indican los aumentos de los costes de funcionamiento - de manera sepa-

rada para un aeroevaporador y para un aerocondensador - en función de la variación de su potencia efectiva respecto a la nominal (datos de catálogo).

En el caso en que la falta de potencia está presente para los dos intercambiadores, sirve el principio de superposición de los efectos, esto es, la suma de las dos diferencias de coste. Los gráficos de la figura 4 y de la figura 6 indican los aumentos porcentuales de los costes de funcionamiento, para cada uno de los conceptos, en función de la variación de la potencia efectiva sólo del aeroevaporador.

El caso A indicado en la figura 3 y en la figura 4 se refiere al funcionamiento de un ciclo frigorífico en condiciones de congelación:

- Temperatura de la cámara:  $-18^{\circ}\text{C}$
- Temperatura de evaporación nominal:  $-25^{\circ}\text{C}$
- Temperatura entorno externo:  $25^{\circ}\text{C}$
- Temperatura de condensación nominal:  $40^{\circ}\text{C}$
- Potencia frigorífica nominal: 50 kW
- Número de descongelaciones al día: 3
- Coste de la energía eléctrica: 0,12 €/kWh

Por ejemplo, utilizando el gráfico de la figura 3 se determina el mayor coste de funcionamiento anual, en el caso de un aerocondensador con una potencia efectiva inferior un 25 % respecto al valor nominal; se entra en el gráfico de abscisas con el valor 0,75 y se extrae en ordenadas el correspondiente valor de coste de 3.300 €/año; en el caso de que hubiera sido el evaporador el que tuviera un déficit del 25 %, el mayor coste de funcionamiento habría sido de 1.950 €/año. Por lo tanto, en términos de aumentos de costes de funcionamiento, a igual falta de prestaciones, el aerocondensador es más importante que el aeroevaporador.

Analizando no obstante el gráfico de la figura 4, en el caso de que el aeroevaporador tenga unas prestaciones un 25 % inferiores a las nominales, entrando en abscisas con el valor de 0,75, se obtiene en ordenadas un incremento porcentual

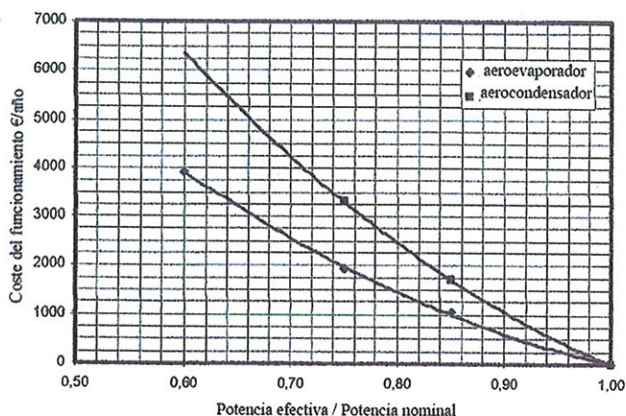


Figura 3

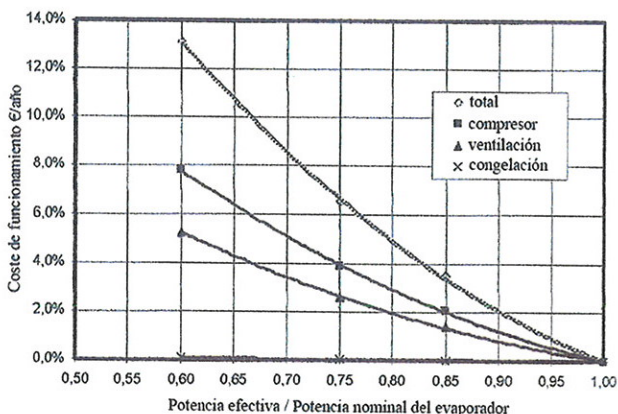


Figura 4



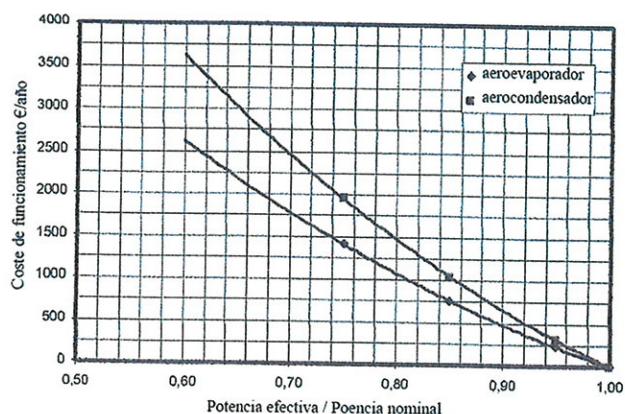


Figura 5

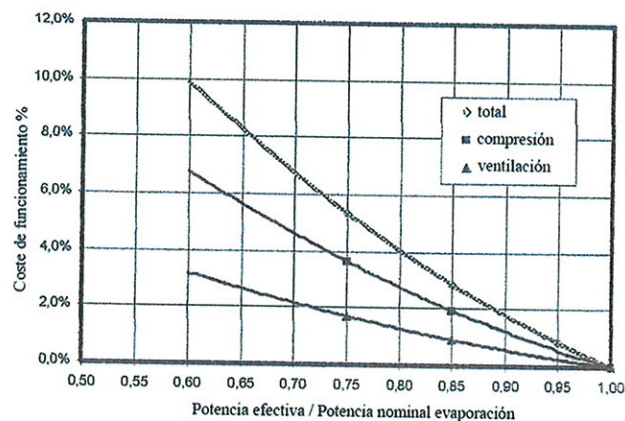


Figura 6

del coste de funcionamiento igual al 6,5 % respecto al caso de un aerovaporador que proporcione la potencia nominal.

El valor total, del 6,5 %, es la suma de tres conceptos: el compresor representa el 3,9 %, la ventilación el 2,5 % y la congelación el 0,1 % (este último valor es insignificante, en cuanto se ha razonado en relación con igual energía frigorífica útil descargada por la cámara y, por lo tanto, a igual carga de escarcha depositada sobre la superficie del aerovaporador).

El caso B indicado en la figura 5 y en la figura 6 se refiere al funcionamiento de un ciclo frigorífico en condiciones de deshumidificación:

- Temperatura de la cámara: 10°C
- Temperatura de evaporación nominal: 0°C
- Temperatura entorno externo: 30°C

- Temperatura de condensación nominal: 42°C
- Potencia frigorífica nominal: 92 kW
- Coste de la energía eléctrica: 0,12 €/kWh

## 5.- Conclusiones

La eficacia en términos de correcta conservación de los comestibles y la economía de gestión de una instalación de refrigeración es el fruto de la precisa proyectación y, en particular, de la elección de los componentes que se produce basándose en los datos del catálogo del proveedor del componente específico.

La praxis del sector, generalizada en todo el mundo para los proveedores de equipos de intercambio (aerovaporadores y condensadores) era la de proporcionar datos de prestaciones "generosos" con diferencias de un 20 % a un 40 % en exceso respecto de los datos reales.

Tabla 1

		Caso A Congelación	Caso B Deshumidificación
Tª cámara/entorno externo	°C	-18/+25	+10/+30
Tª evaporación/condensación nominal	°C	-25/+40	0/+42
Potencia frigorífica nominal	kW	50	92
Potencia soportada por el condensador	kW	81	123
Coste funcionamiento de equipos certificados	€/año	29.818	26.417
Coste funcionamiento de equipos "no certificados" (con una potencia térmica con un déficit del 25%)	€/año	34.882	29.739
Delta de coste de funcionamiento	€/año	5.064 (+17,0%)	3.322 (+12,6%)

Tabla 2

		Caso A Congelación	Caso B Deshumidificación
Hipótesis del coste de compra de equipos certificados	€	15.000	14.300
Hipótesis del coste de compra de equipos "no certificados"	€	12.000	11.500
Ahorro hipotético (entre equipos certificados y "no certificados")	€	3.000	2.800
Delta de coste de funcionamiento en 10 años	€	50.640	33.220
Desembolso añadido por mayores consumos eléctricos en número de veces del supuesto ahorro inicial		17 veces (50.640/3.000)	12 veces (33.220/2.800)

La "moralidad" ha mejorado mucho; con la introducción de la certificación.

Los fabricantes, a través de la ejecución de pruebas de prestación en laboratorios independientes especializados (como, por ejemplo el TUV), pueden certificar el producto con la obligación de incluir la variación entre los datos del catálogo y los datos efectivos, con una tolerancia de hasta un 8 % por proyecto, producción y prueba.

El artículo evidencia la situación que se verifica cuando la elección se realiza con catálogos "inflados". (Ver Tabla 1)

En la hipótesis de un coste de compra de los equipos "no certificados" inferir un 20 % respecto a los equipos certificados, después de 10 años de funcionamiento, la comparación de los costes es la siguiente: (Ver Tabla 2)

Como se observa para el caso A, el supuesto ahorro de compra de 3.000 € se "paga" a 50.640 en el transcurso de utilización del equipo (correspondiente a 17 veces el supuesto ahorro por la compra de los productos).

En el caso B, el supuesto ahorro de compra de 2.800 € se "paga" a 33.220 en el transcurso de utilización del equipo (correspondiente a 12 veces el supuesto ahorro por la compra de los productos).

Además, en el caso A, el funcionamiento con productos "no certificados" conlleva un coste mayor de 50.640 €, igual a 4,2 veces el coste de compra de los productos.

En el caso B, por contra, el funcionamiento con productos "no certificados" conlleva un coste mayor de 33.220 €, igual a 2,9 veces el coste de compra de los productos.

El empleo de productos con prestaciones inferiores a las nominales no sólo conlleva un desembolso enormemente mayor durante la vida útil del producto, sino que es perjudicial desde el punto de vista medioambiental (mayor energía consumida y más CO<sub>2</sub> emitido, 15,2 t<sub>CO2</sub>/año (caso A) y 10,0 t<sub>CO2</sub>/año (caso B), agravando la balanza comercial del País por los costes de importación de la energía.

Evidentemente, una compra inteligente, cuidadosa y optimizada, no tiene en cuenta sólo el coste de compra de los equipos, sino que considera los costes globales de su vida útil.

Además, el empleo de productos certificados asegura al proyectista, al instalador y al usuario final la garantía de la realización de instalaciones cualificadas para la óptima conservación de los alimentos refrigerados.

[www.luve.it](http://www.luve.it)