

# DISEÑO Y DESARROLLO DE UN MUEBLE FRIGORÍFICO COMERCIAL CON FUNCIONAMIENTO AUTÓNOMO DURANTE CIERTOS PERIODOS DE TIEMPO

**Jorge Patiño Pérez, Guillem Monrós-Andreu, Lledó Prades Martell, Alejandro Sáez Pastor y Jessica Guillem Armela**

*Departamento I+D Innovación 4.0, Frost-trol S.A., España. CV 159 KM 2, C.P.12180-Cabanes (Castellón), España*

**Jorge Patiño Pérez**  
**j.patino@frost-trol.com**

.....

**Resumen:** El trabajo presentado en este artículo se basa en integrar en el interior de un mueble frigorífico comercial un fluido caloportador con cambio de fase que permite un funcionamiento totalmente autónomo durante un periodo de tiempo, sin necesidad de conexión eléctrica para mantener la temperatura del alimento perecedero. En este artículo se presenta una nueva solución para optimizar el rendimiento de los muebles frigoríficos destinados al almacenamiento de producto perecedero en un supermercado a la vez que se abre una nueva posibilidad de añadir servicios nuevos que hasta la fecha el mercado desconoce. Este estudio se ha llevado a cabo a partir de la acumulación térmica de un fluido compuesto por muestras PCM (Phase Change Material) y de la optimización de todos los mecanismos de transmisión de calor que coexisten durante el funcionamiento de un mueble.

El almacenamiento de calor en un momento determinado para disponerlo más tarde se presenta como una solución sin precedentes. En este sentido, nace una manera nueva de producir frío que nos va a permitir recargar este acumulador térmico en horario de tarificación eléctrica más bajo y proporcionar un servicio autónomo y continuado para mantener las condiciones que necesita el almacenamiento del producto perecedero durante el horario de mejor coste energético y mitigando las variaciones de temperatura que pueda sufrir el producto perecedero.

**Palabras clave:** autónomo, PCM, acumulador térmico, sin electricidad, eficiencia energética, mueble frigorífico.

## 1. INTRODUCCIÓN

El vertiginoso desarrollo de la tecnología está posibilitando a las empresas la búsqueda de nuevas técnicas que permitan seguir mejorando la eficiencia energética de sus equipos, reducir el impacto Ambiental de los sistemas actuales y mejorar las condiciones de almacenamiento de los productos perecederos. Este creciente auge por la innovación orientado al desarrollo tecnológico nos permite abordar los problemas comentados y añadir servicios nuevos que hasta la fecha no ofrece el mercado. [1],[2].

El trabajo que se presenta en este artículo se basa en integrar en el interior de un mueble frigorífico un fluido caloportador con cambio de fase de forma que le permita al mueble un funcionamiento totalmente autónomo durante ciertos periodos de tiempo, orientado no solo a la generación de frío sino también a la gestión del mismo, sin necesidad de disponer de conexión eléctrica durante un periodo de tiempo determinado para mantener con las mínimas variaciones la temperatura del alimento perecedero.

Los materiales de cambio de fase se llaman así porque al cambiar del estado sólido a líquido o viceversa, pueden absorber o liberar gran cantidad de energía térmica mediante la acumulación de energía en forma de calor latente de fusión [10]. Esta particularidad los hace especialmente interesantes para su uso en muebles frigoríficos ubicados en supermercados y destinados a la conservación del producto perecedero.

Entre las ventajas ofrecidas por estos sistemas de almacenamiento destacan la oportunidad de flexibilizar las condiciones de operación, reducir el diseño de los equipos, un uso más eficiente de los mismos, así como la reducción del consumo de energía [3] al disponer de un sistema auxiliar capaz de almacenar el exceso de frío y evitar el sobredimensionamiento del equipo para hacer frente a los períodos de alta demanda [4]. Además, con este sistema aparece la posibilidad de aprovechar el menor precio de la energía eléctrica durante los períodos de menor demanda, abriendo la posibilidad de disponer del almacén de frío que representa el PCM en los periodos de demanda alta con el consiguiente ahorro económico [5, 6].

En este trabajo se pretende remarcar la importancia del diseño del sistema, tanto desde el punto de vista de la elección del material como de su capacidad de almacenamiento, así como la gestión del mismo, a fin de optimizar el comportamiento de la instalación. Se pueden encontrar diferentes autores que han realizado trabajos relacionados con PCM, entre ellos podemos destacar los trabajos publicados por Wang et al. [7, 8, 9], donde se indican varios estudios relacionados con sistemas de almacenamiento de energía diseñados a partir de sustancias PCM, abordados tanto desde una perspectiva empírica como de modelado matemático. Además, Wang también propone una estrategia de control básica para la gestión de la energía [9].

Por tanto, en un sector donde el consumo eléctrico alcanza casi el 25% de la energía eléctrica total consumida a nivel mundial, el objetivo de autoridades, científicos y fabricantes se centra en obtener una gestión térmica y eléctrica más eficiente. El almacenamiento de calor en un momento determinado para disponerlo más tarde se presenta como una solución sin precedentes. En este sentido, nace una manera nueva de producir frío que nos va a permitir algunas de las siguientes opciones:

- 1.- Mantener la cadena de frío en aquellos lugares que no se disponga de conexión eléctrica.
- 2.- Recargar este acumulador térmico en horario donde la tarificación eléctrica alcance el menor coste.
- 3.- Reducir las oscilaciones térmicas de los productos puesto que es un sistema termorregulador pasivo, lo que mejora notablemente las condiciones de salubridad del producto durante el tiempo de exposición en el supermercado.
- 4.- Eliminación del ruido generado por los sistemas de compresión de vapor.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO

El diseño de este fluido se ha realizado buscando una composición química que permitiera cambiar de fase a la temperatura que optimiza el funcionamiento de cada mueble. Este fluido se introduce en un evaporador híbrido diseñado por Frost-trol y en cuyo interior se encuentra el PCM en contacto por conductos donde circula el refrigerante. Éste se evapora tras absorber la energía del PCM, provocando que el PCM también cambie de estado en este intercambio térmico.

Este evaporador híbrido también intercambia energía con el flujo de aire que lo atraviesa, de tal forma que si aumenta la temperatura de este flujo de aire, el núcleo del PCM absorbe la energía calorífica del aire, se funde y pasa a estado líquido. En caso contrario, si disminuye la temperatura del flujo de aire, el núcleo del PCM cede energía y pasa a estado sólido. A partir de este funcionamiento, el objetivo que se pretende se centra en integrar en los muebles destinados a la conservación de producto perecedero en un supermercado un fluido que definimos como compuesto inteligente (smart compound), el cual actúa de manera reversible en base a las condiciones térmicas del entorno.

Este fluido caloportador presenta dos ventajas muy diferenciadas con respecto a un mueble convencional:

1.- La tecnología de acumulador térmico permite mitigar la variación de temperatura que sufre el producto durante el proceso de desescarche.

Este proceso de desescarche es necesario en todas las tipologías de muebles frigoríficos, ya sean con unidad condensadora incorporada en el propio mueble o sin ella. Durante el periodo de desescarche se pretende provocar el deshielo del agua congelada que ha captado el evaporador procedente de la continua inducción del aire exterior hacia la cortina de aire de los muebles. El desescarche realiza un efecto de limpieza en el evaporador de forma programática para volver a permitir la circulación del aire entre las aletas del evaporador, sin embargo, durante todo el proceso, la parte de producción frigorífica se encuentra parada y en ocasiones, se activan resistencias eléctricas para acelerar el proceso de desescarche. Por lo tanto, durante estos procesos de desescarche todos los productos están expuestos a un incremento de temperatura que se encuentra en función de la masa de producto con la que se encuentre cargado el mueble frigorífico. Por este motivo, la tecnología de acumulación térmica permite que el mueble siempre disponga de producción frigorífica y compensar todas las potencias caloríficas generadas durante el período de desescarche, por lo que el producto alimentario no sufre variaciones en su temperatura en ningún momento.

2.- Por otro lado, las continuas subidas en el precio del megavatio en el mercado mayorista sugieren que la tarifa de la electricidad consumida entrará en una escalada que parece no tener fin y que supondrá un fuerte aumento de costes para las empresas. Este incremento en el coste de la electricidad repercute negativamente en la competitividad de los negocios, por lo que el mercado busca soluciones que permitan reducir el consumo energético o consumir la energía eléctrica en la discriminación horaria de menor coste. Esta segunda solución es la que se plantea con la invención que se presenta en este trabajo, ya que se podría emplear la tecnología desarrollada para adaptar el consumo eléctrico del mueble frigorífico a las franjas horarias de menor tarificación eléctrica.

### 2.1. Metodología de ensayos

Los ensayos se realizan en condiciones de clase climática 3, manteniendo la temperatura de la sala aproximadamente a 25°C y 60% HR. En estas condiciones, se compara el comportamiento de un mueble plugin optimizado para funcionar en modo de refrigeración frente al mismo mueble, diseñado también de forma óptima para funcionar complementando a la tecnología de compresión de vapor la tecnología de acumulación térmica. En la figura 1 se muestra el mueble ensayado.



Figura 1. Mueble ensayado

Ambas configuraciones de muebles se van a comparar con ensayos en las condiciones descritas bajo la normativa 23953-2 y ensayos de pull-down, con la intención de comparar el comportamiento del mueble desde la temperatura ambiente hasta alcanzar la temperatura de SET.

### 3. RESULTADOS

En la figura 2 se muestran las temperaturas más características que alcanza el aire en el interior del mueble tras realizar un test de pull down con la configuración de mueble convencional y la configuración donde se integra la tecnología de acumulación térmica (FreeFrost). Durante este ensayo se alcanzan diferencias de 1.5°C medidas en el aire a su paso tanto, por la zona de aspiración del mueble como en los estantes y 4.5°C de diferencia entre las temperaturas de impulsión del aire si se comparan ambas configuraciones.

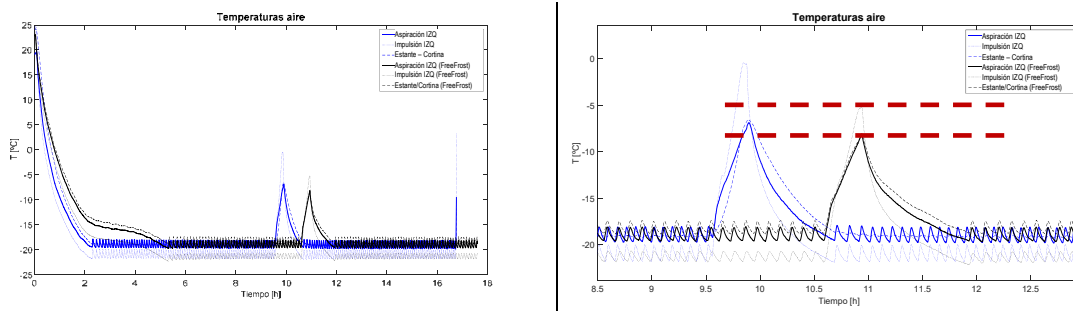
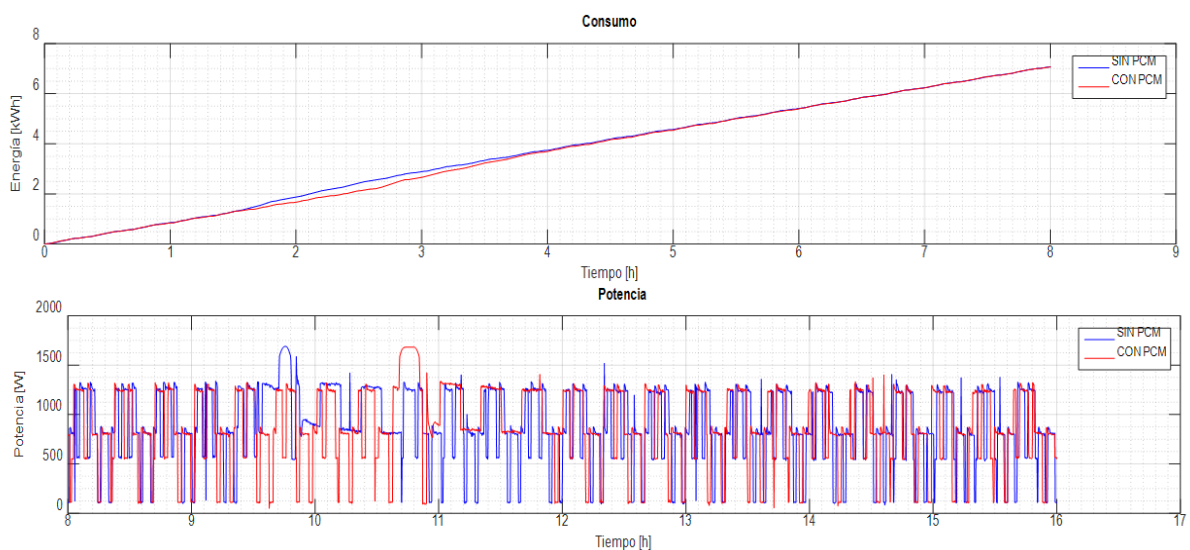


Figura 2. Diferencias de Temperaturas del aire durante del proceso de Pull down

En la figura 3 se presentan las tres mediciones realizadas en ambas configuraciones: Energía eléctrica consumida, Potencia frigorífica absorbida y Temperatura del m-Paquete ubicado en la posición más desfavorable. En la primera gráfica se observa que la energía consumida es la misma entre la configuración con PCM y sin PCM, y que la potencia frigorífica absorbida por ambas configuraciones también es muy similar. Sin embargo, la temperatura alcanzada por el m-paquete ubicado en la posición más desfavorable durante el periodo de desescarche es 1.5°C inferior en la configuración con PCM respecto a la configuración convencional.



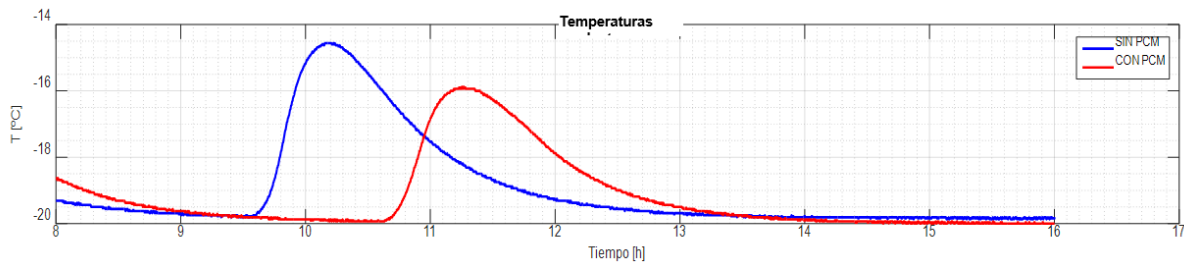


Figura 3. Evolución de la energía consumida, potencia frigorífica absorbida y Temperatura del paquete ubicado en la posición más desfavorable. Variables representadas para las configuraciones con PCM y sin PCM.

Por último, se presenta en la figura 4 el tiempo de autonomía que alcanza el mueble con la configuración que lleva integrado el PCM en un ensayo normativo realizado en las condiciones marcadas por la norma UNE- EN ISO 23953-2. Sobre la gráfica puede leerse que el mueble ensayado con la tecnología de acumulación térmica integrada se encuentra aproximadamente el 60% del tiempo total que dura el ensayo con el compresor parado, lo que representa que en un ensayo de 24 horas, aproximadamente durante 14 horas el compresor del mueble no tuvo consumo eléctrico.

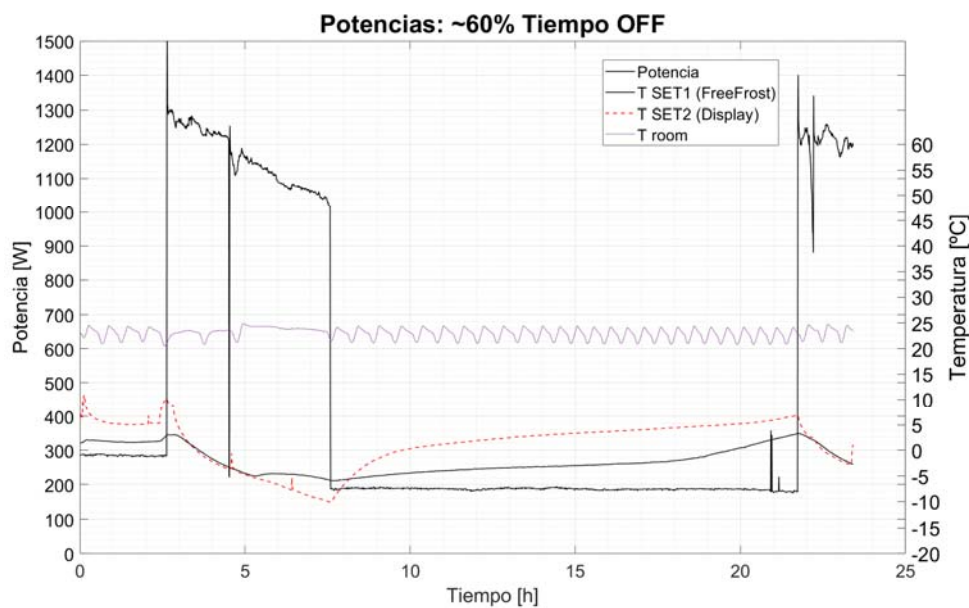


Figura 4. Ensayo realizado en condiciones marcadas por la norma UNE-EN ISO 23953-2.

#### 4. CONCLUSIONES

Del análisis efectuado en este trabajo se recogen las siguientes conclusiones:

- Tras alcanzar el estado estacionario, los consumos eléctricos entre el mueble convencional y el mueble que lleva integrado la tecnología de acumulación térmica han sido muy similares.
- Con el mismo consumo eléctrico, se alcanzan temperaturas de producto durante el periodo de desescarche aproximadamente de 1.5°C inferiores, lo que conlleva una mejora del IEE del mueble tras mejorar la clase de temperatura de producto, siendo:

$$IEE = \frac{AE}{SAE} = \frac{TEC}{P \cdot (M + N \cdot TDA) \cdot C}$$

donde:

TEC Consumo diario (kW/24h) P Remoto o Plug-in  
M y N Vertical/Horizontal y Refrigeración/Congelación  
TDA Superficie de exposición (m<sup>2</sup>)  
C Clase de temperatura (3M1, 3M2, 3L1, etc.)

- Mejora la calidad del producto al estar sometido a menores fluctuaciones de Temperatura. En condiciones reales de funcionamiento la Temperatura de producto fluctúa según la carga de producto en el interior del mueble, a mayor carga, menores Temperaturas. Los sistemas de acumulación térmica permiten mitigar las fluctuaciones de temperatura independientemente de la carga de producto en el interior del mueble.
- Durante un ensayo normativo, el 40 % de la duración total del ensayo se realizó con el compresor activo, consumiendo energía eléctrica, mientras que el 60 % del tiempo restante el compresor permaneció parado, proporcionando la energía frigorífica el acumulador térmico.

## REFERENCIAS

- [1] Giovanna Culot, Guido Nassimbeni, Guido Orzes, Marco Sartor. Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions International Journal of Production Economics, In press, corrected proof, Available online 10 January 2020, Article 107617.
- [2] Rasmus Pedersen, John Schwensen, Benjamin Biegel, Jakob Stoustrup, Torben Green. Aggregation and Control of Supermarket Refrigeration Systems in a Smart Grid IFAC Proceedings Volumes, Volume 47, Issue 3, 2014, Pages 9942-9949.
- [3] I. Dincer and M. Rosen. Thermal energy storage: systems and applications. John Wiley & Sons, 2002.
- [4] M. M. MacCracken. Thermal energy storage myths. Energy Eng., 101(4):69–80, 2004.
- [5] I. Dincer. On thermal energy storage systems and applications in buildings. Energy and Build., 34(4):377–388, 2002.
- [6] B. Rismanchi, R. Saidur, G. BoroumandJazi, and S. Ahmed. Energy, exergy and environmental analysis of cold thermal energy storage (CTES) systems. Renew. and Sustain. Energy Rev., 16(8):5741–5746, 2012.
- [7] F. Wang, G. Maidment, J. Missenden, and R. Tozer. The novel use of phase change materials in refrigeration plant. Part 1: Experimental investigation. Appl. Therm. Eng., 27(17):2893–2901, 2007.
- [8] F. Wang, G. Maidment, J. Missenden, and R. Tozer. The novel use of phase change materials in refrigeration plant. Part 2: Dynamic simulation model for the combined system. Appl. Therm. Eng., 27(17):2902–2910, 2007.
- [9] F. Wang, G. Maidment, J. Missenden, and R. Tozer. The novel use of phase change materials in refrigeration plant. Part 3: PCM for control and energy savings. Appl. Therm. Eng., 27(17):2911–2918, 2007.
- [10] G. Bejarano, J.J. Suffo, M. Vargas, M. G. Ortega. Modelado Dinámico de un Sistema de almacenamiento de frío vinculado a un ciclo de refrigeración. XXXVIII Jornadas de Automática.