



INSTALACIONES TRANSCRÍTICAS DE CO2 CON FTE

Resultados de campo

Por cortesía de Diego Ortega (epta-iberia)
Alvise Case, Daniele Mazzola (eptarefrigeration)
Helene Bigaran, Mario De Bona (epta-italia)

RESUMEN

El sistema FTE (Full Transcritical Efficiency) desarrollado por el departamento de I+D de Epta, es una solución patentada que sobre la base de un sistema CO2 booster, incorpora un modo operativo del ciclo que lo hace particularmente adecuado para climas cálidos.

Las instalaciones realizadas hasta la fecha por Epta (más de 100) demuestran que la eficiencia y fiabilidad del sistema mejoran notablemente y así se desprende de los datos tomados a través de sistemas de monitoreo remoto. El seguimiento de los parámetros fundamentales de funcionamiento de este tipo de instalaciones permite comprobar la corrección de los cálculos teóricos así como demostrar la globalidad de la solución al producirse las mejoras en todos los climas y estaciones del año.

En este documento haremos una comparativa entre datos teóricos y reales para una instalación concreta y analizaremos las mediciones tomadas en otras dos.

1 INTRODUCCIÓN

Los refrigerantes naturales cobran cada vez más importancia en la refrigeración comercial dado el marco legislativo actual, la evolución del precio y disponibilidad de refrigerantes sintéticos. Por esta razón, hay una constante búsqueda de mejoras tecnológicas de las instalaciones ecológicas con especial atención a las instalaciones booster de CO2 transcritical. La clave del éxito es simplificar la tecnología

transcritical y mejorar la eficiencia y la fiabilidad. Este documento presenta la solución FTE (Full Transcritical Efficiency) de Epta que se ha desarrollado para aumentar la fiabilidad y las prestaciones manteniendo una complejidad reducida equiparable a una instalación convencional de HFCs. Diferentes enclaves muestran los resultados obtenidos estando en línea con los primeros datos teóricos y prácticos.

2 TECNOLOGÍA

2.1 Descripción del sistema FTE

La solución FTE prevé, respecto a un sistema transcritical booster básico, la instalación de un recipiente de líquido adicional situado entre la salida de los evaporadores de temperatura positiva y la aspiración de los compresores de media temperatura. Este recipiente recoge el refrigerante a la salida de los servicios de MT que llegará principalmente en fase líquida puesto que en paralelo se obliga a los evaporadores a trabajar en régimen inundado al reducir a cero el sobrecalentamiento. El recipiente intermedio dispone de una serie de sensores electro-mecánicos que controlan el nivel de refrigerante en los mismos. Cuando el nivel es suficiente, el FTE alimenta directamente desde este recipiente intermedio los servicios de negativa (con una línea añadida de líquido hasta los mismos), cuando el nivel del recipiente baja la lógica de control devuelve la alimentación del evaporadores de BT al recipiente principal. El control actúa sobre una electroválvula que cierra /abre de acuerdo con lo dicho anteriormente.

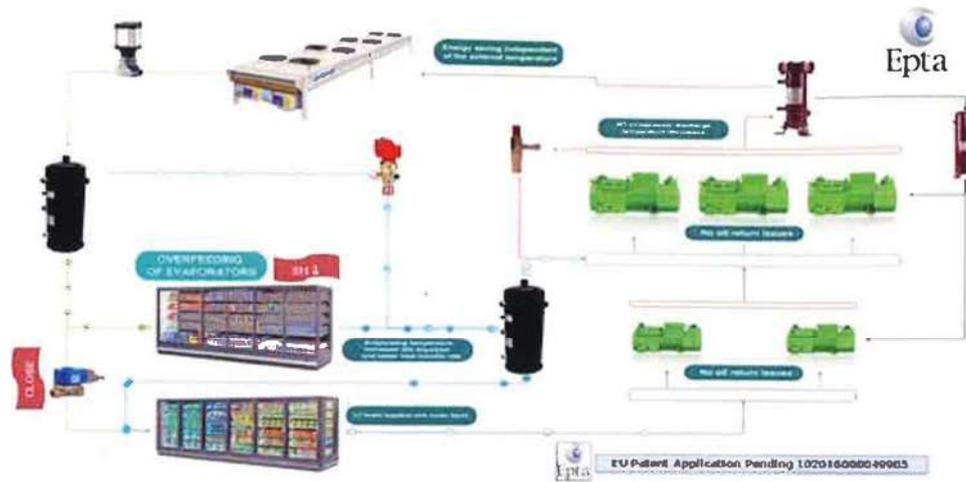


Figura 1: FTE, Full Transcritical Efficiency

El esquema constructivo se muestra en la *Figura 1*.

En cuanto a la gestión del flash gas este se conduce hasta la entrada del recipiente de líquido secundario facilitando así el ciclo del mismo en lugar de llevarlo directamente a la aspiración de los compresores de MT. Esta solución no necesita incorporar compresores en paralelo para la gestión del flash gas puesto que este se canaliza a través del depósito intermedio, aprovechando incluso las gotas de refrigerante que pudieran acompañarlo.

Las instalaciones ya realizadas por Epta con esta solución demuestran además innecesaria la válvula de gas caliente (utilizada para evitar la entrada de líquido en los compresores de MT) eliminando así un factor de ineficiencia.

2.2 Funcionamiento del sistema FTE

Las ventajas de operar de esta manera son las siguientes:

- 1) el ahorro que se consigue gracias a la elevación de la temperatura de evaporación en los servicios de T^a positiva. El ahorro mínimo medido es del 10%.
- 2) la reducción de la temperatura de descarga de los compresores
- 3) la reducción del caudal de refrigerante necesario gracias a que la alimentación de los evaporadores de negativa desde el recipiente intermedio se realiza con el refrigerante a una temperatura inferior respecto a la que tiene cuando llega directamente desde el recipiente principal (-4°C frente a $+3^{\circ}\text{C}$).

4) la excelente fiabilidad gracias al comportamiento del sistema en su conjunto por lo que se refiere a la recirculación del aceite: los compresores trabajan a temperaturas menores y además siempre correctamente lubricados. El recipiente intermedio no constituye una trampa para el aceite tal como certifican los fabricantes (Bitzer).

Estas cuatro ventajas principales del sistema se obtienen en cualquier clima y los 365 días del año a cualquier hora, independientemente de la temperatura exterior.

Se añade además la ventaja de poder integrar el clima con la central de refrigeración utilizando intercambiadores con agua como veremos en una de las instalaciones analizadas.

Las medidas tomadas en las siguientes instalaciones muestran las ventajas señaladas. Para la primera haremos además un estudio de consumos teórico-práctico.

- Carcare (Savona, Italia)
- Perth (Australia)
- Bolonia (Italia)

2.3 Cálculo de los consumos energéticos de un sistema FTE

El cálculo teórico compara el consumo de energía de un sistema booster transcritical básico con un sistema booster crítico con FTE. Se presenta en esta sección la comparación para diferentes datos climáticos. Se simula la demanda de carga de tienda y con ecuaciones polinomiales (del software Bitzer) evaluamos el rendimiento de la central. Teniendo en cuenta los datos de partida, es decir capacidad de refrigera-



ción requerida y el perfil de temperatura del año por hora para cada localidad, se calcula teóricamente el consumo de energía del sistema. Los datos de entrada de la simulación son las capacidades y la temperatura de evaporación para cargas de temperatura media y baja. Se considera que un aumento de la temperatura de evaporación de 4K en temperatura media y la alimentación de los servicios de baja temperatura con líquido saturado simulan los comportamientos de la aplicación FTE.

Los datos iniciales son:

- Potencia instalada de media temperatura (MT): 80 kW
- Potencia instalada de baja temperatura (BT): 12 kW
- Temperatura de evaporación media en TSC: -8°C
- Temperatura de evaporación media en TSC con FTE: -4°C
- Temperatura de evaporación BT: -30°C

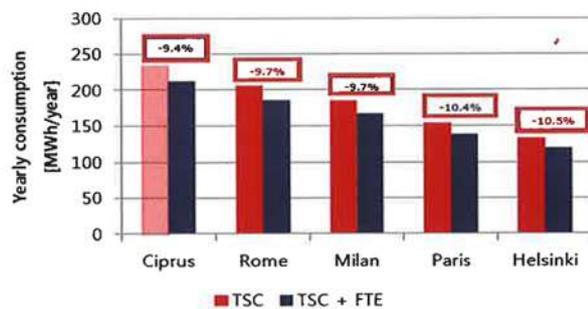


Figura 2: Consumo anual: comparativa entre transcrito y transcrito con FTE

Los resultados muestran un ahorro medio del 10% en todos los casos independientemente de la temperatura exterior que caracteriza cada una de estas cinco ciudades. El ahorro se da en Chipre al igual que Helsinki.

2.4 Comprobación cálculos teóricos Field Test

A continuación, se analizan los datos de campo recopilados de la instalación de Carcare (Savona, Italia). La instalación consiste en un sistema trans crítico estándar con la adición de solución FTE (disposición del sistema como en la Figura 1), debido a esto el sistema puede funcionar en modo estándar (con recalentamiento en los evaporadores de TN y evitando FTE) o en modo FTE (inundando los evaporadores y llenando el recipiente FTE). Teniendo en cuenta que la misma instalación permite comparar los datos antes y después de la activación del FTE sin variables externas como el tipo de compresores, la demanda de carga de refrigeración, etc., solo el funcionamiento del FTE influye en los diferentes comportamientos del sistema.

Se muestran en la Figura 3 los valores de COP total experimental de los dos modos de operación diferentes para el mismo valor de temperatura externa. Como podemos ver, el delta entre las dos líneas de tendencia es constante para las diferentes temperaturas externas y, por lo tanto, el ahorro es constante e independiente de la temperatura externa.

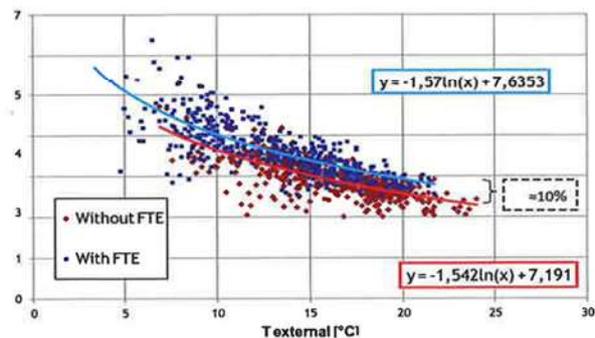


Figura 3: COP, calculado con y sin FTE

Se calcula el consumo, Figura 4, a partir del COP experimental y la demanda total y se comprueba que el delta es constante de nuevo independientemente de la temperatura.

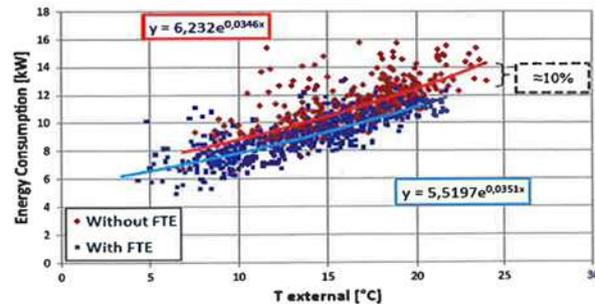


Figura 4: Consumo energético calculado con y sin FTE

Con el fin de comprobar y validar las estimaciones del consumo de energía obtenidas a partir de los cálculos teóricos se han comparado datos reales tomados en campo. La Figura 5 demuestra la coherencia de los resultados teóricos al estar alineados con los medidos por los analizadores de redes.

Los datos de campo de la presión de evaporación para compresores de media temperatura se muestran en la Figura 6. Con la activación de FTE, se garantiza el aumento de la presión /temperatura de evaporación en cualquier condición externa debido a la sobrealimentación de los evaporadores de los servicios de temperatura media.

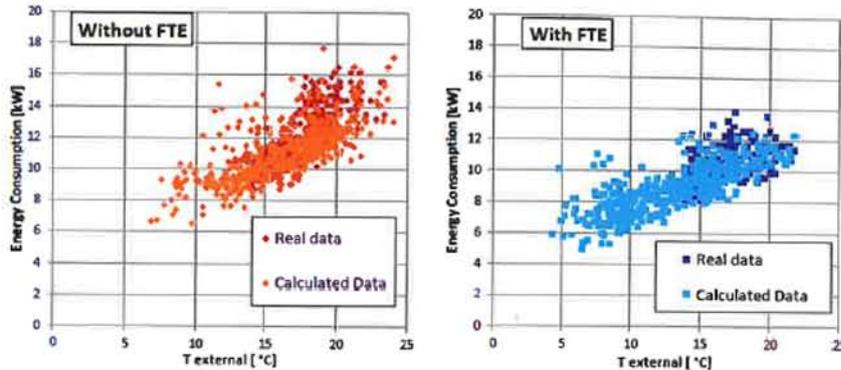


Figura 5: Consumo energético: datos calculados vs. datos reales

Para comprobar que el refrigerante llega a la aspiración de los compresores de media temperatura solo en fase gas se muestran en la *Figura 8* los datos de campo medidos. Comparando los valores, se ve que el funcionamiento de FTE no implica peligro para la vida útil de los compresores debido a que el sobrecalentamiento se mantiene siempre por encima de los 5 K. La seguridad también proviene del diseño apropiado del FTE para evitar el arrastre de gotas.

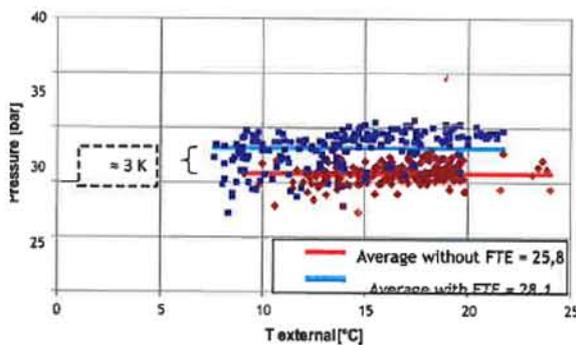


Figura 6: Presión media de evaporación. Datos de campo (Carcare)

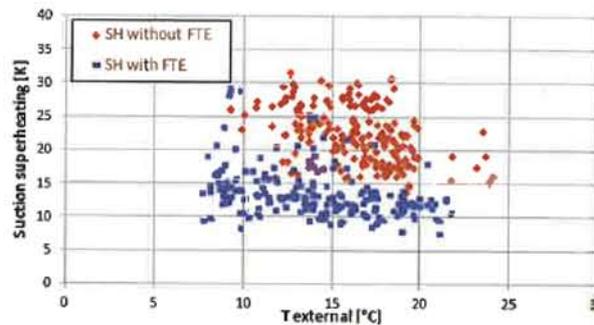


Figura 8: Sobrecalentamiento en aspiración de MT

El beneficio indirecto que otorga la instalación FTE es la reducción de la temperatura de los compresores de descarga. De hecho, la temperatura de aspiración de los compresores de media temperatura se reduce gracias a que evitamos el sobrecalentamiento de refrigerante: comenzar el trabajo de compresión a menor temperatura significa terminar el trabajo de compresión, y por ende la temperatura de descarga, a menor temperatura (*Figura 7*)

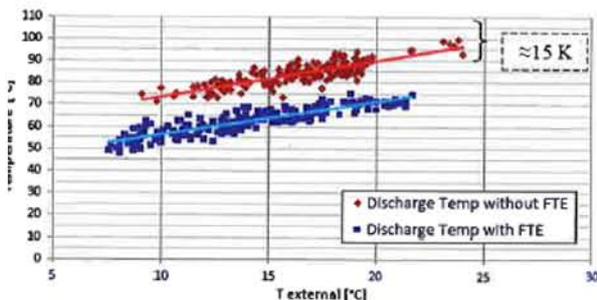


Figura 7: Datos medidos de temperatura de descarga

3 MEDICIONES EN CAMPO

3.1 Carcare Italia

- Datos de diseño
- Demanda total BT = 11 kW
- Demanda total MT = 46,5 kW
- Central: Epta modelo ECO2 Small
- Compresores de BT 1 x 2HSL-3K+2HSL-3K;
T evap LT = -35°C
- Compresores MT 2 x 4HTC-20K+4HTC-20K
T evap MT = -11°C
- Sistema de recuperación de calor para calefacción: 42kW

De los datos tomados en campo, además de las conclusiones ya indicadas en párrafos anteriores, deducimos que como muestra la *Figura 9*, los consumos en el periodo invernal siguen el perfil de la temperatura externa hasta los 8°C que es una de las ventajas de la utilización del CO2 del que podemos aprovechar los saltos de presión frente a sistemas con HFC donde el límite de la condensación se sitúa muy por encima.

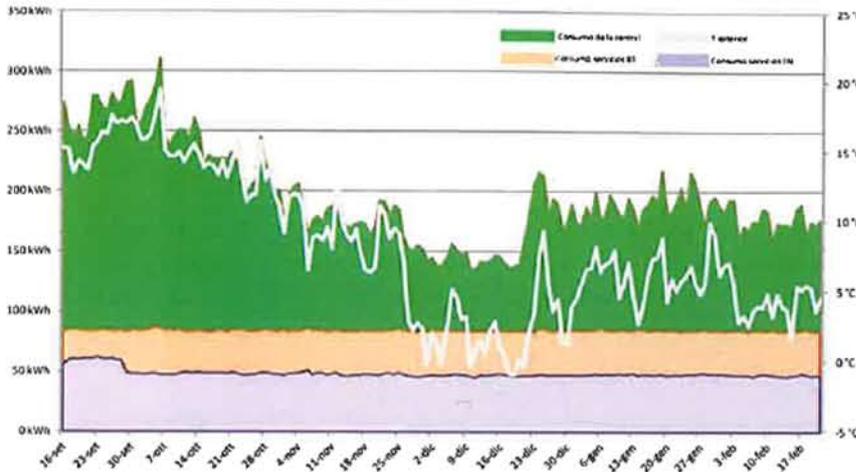


Figura 9

Esto hace que en momentos de baja temperatura la eficiencia de la instalación sea muy alta, hecho que pesa muy positivamente en el cómputo total anual de consumo de una instalación de estas características. De hecho de los perfiles de temperatura de los diferentes emplazamientos es importante considerar no sólo los sumatorios de horas de mayor calor en

exterior sino también los momentos del año en los que se está entre 8 y 20°C de temperatura ambiente.

Los valores monitorizados en esta instalación muestran una primera fase de ajuste de los sobrecalentamientos en la que la T de descarga es todavía elevada pero se observa cómo se ajusta y baja considerablemente (15K). Las presiones de aspiración de media y baja temperatura se mantienen constantes alrededor de 30 y 12 bares respectivamente en la fase de régimen. Es interesante la línea de los sobrecalentamientos que muestra picos

cíclicos en coincidencia con momentos de baja demanda de los servicios de TN.

También en esta instalación la T de salida de gas-cooler sigue hasta los 10 grados el perfil de temperaturas ambiente con el consiguiente beneficio para el consumo de la instalación.

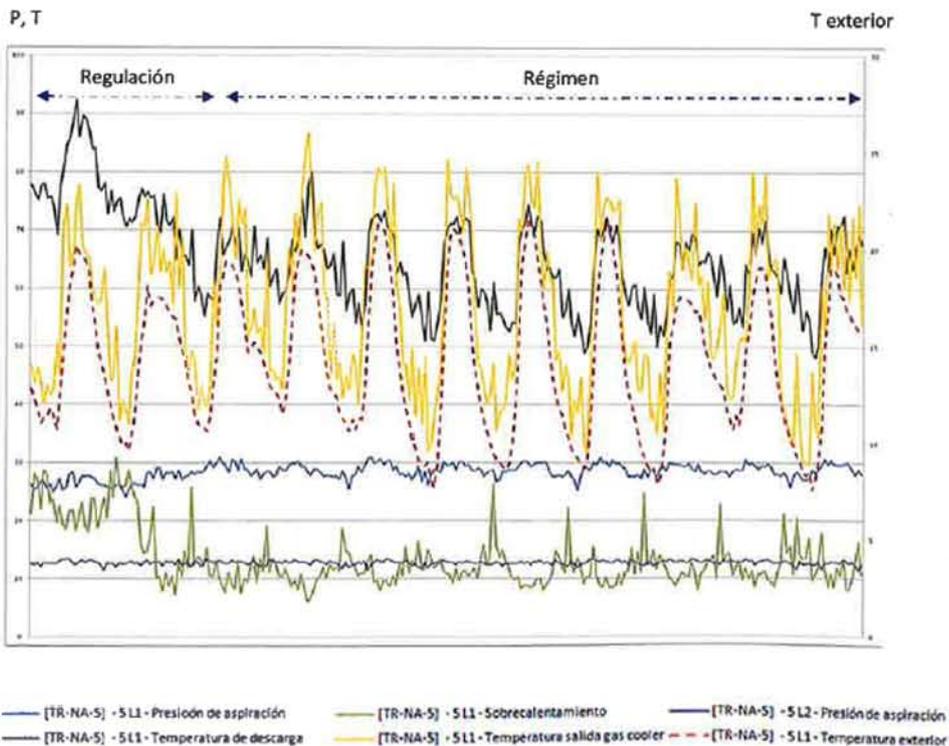


Figura 10

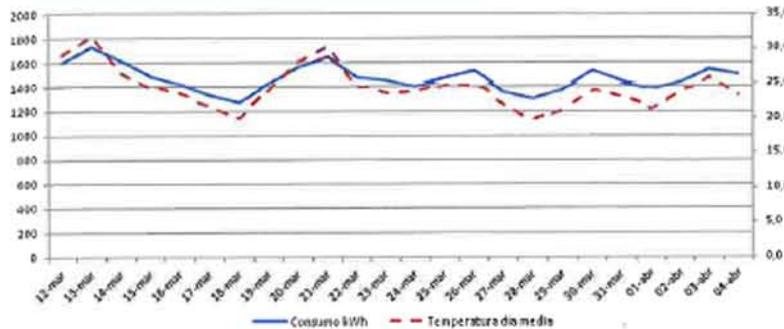


Figura 11

mismo periodo entre marzo y abril 2018 que siguen el perfil de temperatura exterior. Es importante destacar que no se disparan incluso los días con temperatura media diaria por encima de 25°C, es decir cuando son varias las horas por encima de los 30°C.

3.3 Bolonia

- Datos de diseño
- Demanda total BT= 34,1 kW
- Demanda total MT = 139,3 kW
- Central: Epta modelo ECO2 Large
- Compresores de BT 1x2FSL +2x 2ESL-4K; T evap LT = -35 °C

- Compresores MT 1x4CTC-30K +4x 4CTC-30K
- T evap MT = -11 °C
- Sistema de recuperación de calor para calefacción: 60kW

En esta instalación se evalúa un sistema de recuperación de calor activo que fuerza los compresores a trabajar en transcrítico para conseguir desde la central de refrigeración el calor necesario para climatizar el punto de venta.

En la *Figura 13* se muestran las temperaturas de descarga funcionando con y sin FTE y con y sin recuperación de calor. Se deduce que la activación del FTE permite reducir las temperaturas a la salida de los compresores de MT alrededor de 15K permitiendo un reaprovechamiento seguro y eficiente (comparado con el conjunto de una instalación que tuviera separado frío comercial y calefacción). El reaprovechamiento se hace con un intercambiador de agua que se calienta a

3.2 Perth

- Datos de diseño
- Demanda total BT= 28.8 kW
- Demanda total MT = 128.2 kW
- Central: Epta modelo ECO2 Large
- Compresores de BT 2 x 2GSL-3K + 2HSL-3K; T evap LT = -35 °C
- Compresores MT 4 x 4FTC-20K T evap MT = -11 °C
- Datos tomados en campo entre marzo y abril.

Conclusiones

De la *Figura 12* se deduce;

- 1) T evaporación constante: presión de aspiración media 30,4 bar (T.ev -4°C) independiente de la T exterior, con el consiguiente ahorro derivado de la elevación de la evaporación.
- 2) Temperatura descarga no supera los 100°C ni siquiera cuando la T exterior llega hasta 39,3°C.
- 3) La T° de descarga oscila entre 68 y 80 grados para T ambiente entre 20 y 25°C. Evitamos la fatiga mecánica de los compresores y mejoramos la lubricación al estar el aceite a temperatura menor.
- 4) Temperatura salida de gas-cooler con no supera los 39°C.

La *Figura 11* muestra los datos de consumo medidos en el

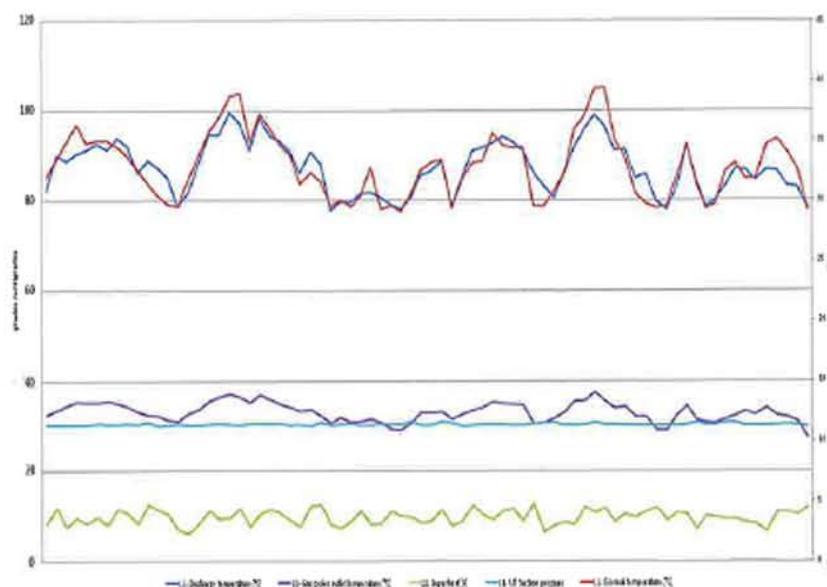


Figura 12

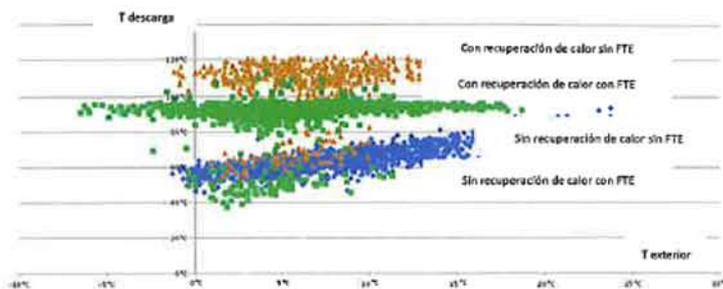


Figura 13

45°C con temperatura de entrada entre 30 y 35°C. La potencia disponible es de hasta un 40% de la potencia frigo de TN de la central.

En la *Figura 14* se muestra el consumo de la instalación en un periodo invernal sigue el perfil de temperatura exterior hasta valores de 10°C a pesar del funcionamiento combinado de la central que suministra calor de calefacción.

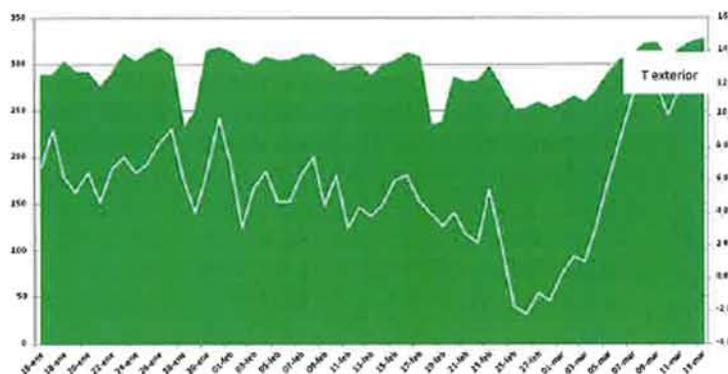


Figura 14

4 CONCLUSIONES

Se ha demostrado que la tecnología FTE permite mejorar el rendimiento de sistemas de CO₂ transcíticos en cualquier condición ambiental sin incrementar la complejidad. En momentos fríos hace el sistema súper-eficiente y en momentos cálidos mejora notablemente el rendimiento. Los datos medidos en campo en instalaciones en funcionamiento confirman la corrección de los cálculos teóricos de consumos,

temperaturas de descarga y valores de sobrecalentamiento en la aspiración de baja y media presión.

La solución FTE consigue reducir entre 10 y 15 grados la temperatura de descarga contribuyendo en días de calor a la buena conservación del lubricante y a la fiabilidad de los compresores.

Los consumos al trabajar con evaporadores inundados en servicios de positiva se reducen para cualquier valor de temperatura exterior entorno a un 10% respecto al mismo sistema sin FTE. Las ventajas del sistema FTE se aprovechan también de manera eficiente en instalaciones que combinan climatización y frío comercial pudiendo proveer la demanda de calor, conteniendo los consumos y la vez manteniendo valores limitados de temperatura de descarga.

Por último la tecnología está probada en más de 100 instalaciones, algunas de las cuales ya operan desde hace más de dos años demostrando en la práctica al sector de la refrigeración para la distribución alimentaria las ventajas señaladas.

5 BIBLIOGRAFÍA

Stefano Bortolin, Marco Rossato, Stefano Bernardinello, Davide Del Col, 2016. Investigation of Evaporator Performance with and without Liquid Overfeeding, 16 th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 11-14, 2016.

Oliver JAVERSCHKEK, John CRAIG, Alan XIAO, 2016. CO₂ AS A REFRIGERANT – START RIGHT AWAY!

Cavalleri Paolo, De Bona Mario, Mazzola Daniele, 2016. REFRIGERATION PLANT WITH MULTIPLE EVAPORATION LEVELS AND METHOD OF MANAGING SUCH A PLANT, Patent pending: IT 102016000049985.

Oliver Javerschek, Private Document from Bitzer technician for approval of FTE technology. Bitzer, 2017.

*Bitzer Software Version 6.7.0.1849