

“Case-history” .Retrofit de un sistema frigorífico con R-404 A a R-407 A, en baja temperatura de evaporación(-30°C).

Fechas para la solución técnica: semana desde el 16 al 20 de diciembre de 2.013.

Personas participantes en el trabajo:

-Personal de Ramifrío;

-Joaquín Tena, Ingeniero Técnico de Refriapp.

-Fernando Gutiérrez, Ingeniero Técnico. Autónomo, invitado por Ramifrío.

1.-Antecedentes y objeto del "RETROFIT".

Se trata de unas instalaciones de cámaras frigoríficas para conservación y posterior distribución de productos congelados, y en especial de pescados y mariscos.

La propiedad, teniendo presente que a corto plazo entran en vigor elevados impuestos aplicados a los gases refrigerantes en función de su poder de afectación al calentamiento global o *efecto invernadero*, ha tomado la decisión de cambiar el refrigerante existente en las instalaciones. El refrigerante usado en dichas cámaras frigoríficas, el R-404 A, es de los que mayor impuesto reciben, por su elevado GWP (potencial de calentamiento global). Por ello, se toma la decisión de cambiar a R-407 A, que tiene un GWP muy inferior, y por tanto, menor tasa tributaria, pero de prestaciones termodinámicas similares.

Para ello, la propiedad, ha encargado a la Empresa **Rami Frío, S.L.**, el estudio y práctica de *retrofit* de una de las cámaras frigoríficas y que presente la solución amparada en datos analíticos para la decisión definitiva en el cambio total de todos los equipos existentes en las instalaciones.

Ramifrío utiliza para tal fin los servicios de la empresa Refriapp S.L. que dispone de herramientas específicas para el estudio de las prestaciones frigoríficas, que permitan determinar, las medidas correctoras que sean convenientes para utilizar otro refrigerante más acorde con el Medio Ambiente.

Así mismo, Ramifrío, ha invitado a participar en este cambio de refrigerante al técnico **Fernando Gutiérrez**, por su experiencia en los nuevos refrigerantes, que han ido evolucionando desde la firma del *Protocolo de Montreal* que se firmó en el año 1987.

El objetivo, por tanto, de este trabajo, consiste en determinar si el refrigerante que se ha elegido puede ser oportuno para la propiedad.

2.-Descripción de las instalaciones frigoríficas.

Las instalaciones donde se realiza el trabajo son tres cámaras frigoríficas dedicadas a la conservación de productos congelados (más de 1.000m³ cada una de las 3 unidades de que dispone la industria).

Así mismo existe una central frigorífica para un túnel de congelación de pescados de manipulación propia, y otra para una sala de trabajo de los operarios.

Por el momento, nos vamos a ocupar de los resultados que se han obtenido con las tres cámaras de conservación de productos congelados, principal trabajo de la actividad.

Cada una de las cámaras frigoríficas dispone de dos unidades autónomas entre sí, con una parte compresora basada en un compresor semi-hermético de la marca Copeland, de una potencia eléctrica de 25 C.V. cada una de las unidades, un condensador situado en la cubierta de la nave industrial y un evaporador en el recinto de cada una de las cámaras, por cada unidad compresora.

La cámara nº 1 se ha vaciado de producto, para resolver el objetivo de ajustar debidamente los equipos frigoríficos sin problemas de tiempo y por tanto, que permita el estudio de la aplicación del nuevo refrigerante elegido para este trabajo.

3.-Información previa al trabajo de Retrofit.

La propiedad, ha informado tanto a Rami Frío como a Fernando Gutiérrez, que en los últimos tiempos y desde que se hizo la última reconversión de R22 a R-404 A, se han producido varias roturas de compresores, sin que se hayan determinado las causas de esas roturas.

Se deduce que, durante el cambio de refrigerante R22 a R-404 A no se eliminó completamente el aceite mineral (MO) residual, o al menos, hasta menos del 5% con respecto al aceite que usa el R-404 A, un aceite de tipo sintético o polyolester (POE). Esta mala práctica conlleva un perjuicio del índice de viscosidad. Si se produce una fuga parcial del refrigerante, aumenta la temperatura de descarga del compresor, y, como el aceite lubrica a menos temperatura por ese perjuicio del índice de viscosidad, los compresores corren un alto riesgo de rotura.

Todo ello unido a la antigüedad de las instalaciones, ha dado lugar a la creación de corrosión interna de los circuitos, lo que ha podido provocar las roturas de los compresores.

4.-Decisiones a tomar antes del cambio de refrigerante.

Debido a las razones que hemos aludido de la Calidad interna de los circuitos frigoríficos existentes, se ha tomado la decisión de:

- a- **Localizar las fugas existentes** en los dos equipos a convertir. Para ello, se ha utilizado una tecnología por ultrasonidos, **Ultraprobe100**, de origen norteamericano, con presurización previa del circuito con nitrógeno seco.
- b- Limpiar los circuitos frigoríficos con la tecnología española **Fri₃Oil System**, el método más fiable que asegura la extracción de todos los residuos indeseables de los circuitos frigoríficos.
- c- Usar el aceite POE recomendado por el fabricante del compresor (Mobil EAL Arctic ISO22 CC)
- d- Utilizar un **aditivo (Zerol ICE LT)** para compensar la peor lubricidad de los aceites POE en el funcionamiento de los compresores que además sirve para que en el futuro, no se adhieran sustancias inoportunas en el interior de los intercambiadores de calor.
- e- Comprobar el buen funcionamiento de los elementos de Control y Seguridad, y en caso de duda, cambiarlos por otros tantos nuevos, con su regulación correspondiente.

5-CAMBIO DE LOS REFRIGERANTES.

Primer trabajo.- Consiste en Recuperar los refrigerantes de las dos unidades que contienen R-404A. Este trabajo se ha realizado previamente por el personal de Ramifrío y por tanto se entiende que nos encontramos las dos unidades sin refrigerante.

Segundo trabajo.- Se procede a utilizar el método *Fri₃Oil System* para limpiar de toda clase de impurezas en los circuitos frigoríficos, y en especial los aceites residuales (mezcla de MO + POE) comenzando por la unidad nº1.(VER FOTO 1).

En la unidad nº 1 de la cámara nº1 en la que hemos realizado la limpieza, se procede otra vez a presurizar la instalación frigorífica, con Nitrógeno Seco a 20 Bars de presión, para hacer una prueba de estanqueidad y comprobarla mediante un sistema directo de ultrasonidos, usando en este caso dos modelos distintos, UP100 y UP3000 de UESYSTEMS , analógico y digital, respectivamente.



Foto1-limpieza del circuito frigorífico con FRI3OILSYSTEM

Posteriormente, se hace una carga de aceite inicial sumándole del 10 al 15 % del aditivo sobre el total previsible del POE a colocar en el equipo, directamente al cárter del compresor.

Con una potente bomba se hace vacío durante 12 horas.

Entre tanto, se realiza el vacío del equipo nº1 y se comienzan los trabajos equivalentes del equipo nº2 de la misma cámara.

Tercer trabajo. Se introducen 50 Kg de R-407 A en el circuito nº1 a través de su recipiente de líquido.

Se pone en marcha el equipo nº 1 para ir regulando la carga de aceite, y ajustando poco a poco la VET (válvula de expansión termostática). Mientras, se pone en marcha el equipo nº 2 para que se puedan obtener las temperaturas de consigna de la cámara frigorífica nº1.

Para poder evaluar cual es el funcionamiento del sistema frigorífico, se dispone de un sistema de análisis de rendimiento, denominado **Climacheck**. Para ello, se ha sondeado la instalación frigorífica con 8 sondas de temperatura, 2 transductores de presión (alta y baja), 3 pinzas amperimétricas y 4 sondas de

voltaje, todo ello conectado al DATA-LOGGER de Climacheck , y de aquí a un PC que dispone del software con una plantilla del esquema frigorífico, correspondiente a la instalación que nos ocupa. (VER FOTO 2)

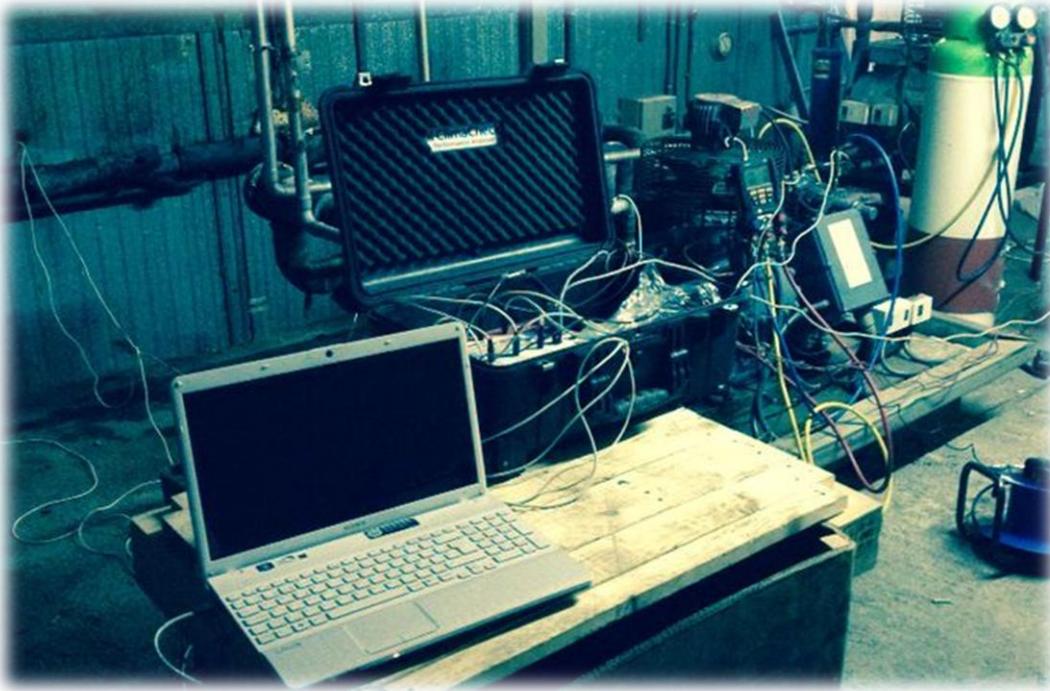


Foto 2-Inspección de rendimiento de la instalación frigorífica con Climacheck.

Mientras se consiguen las temperaturas de consigna con el equipo nº1, se han ido tomando diferentes lecturas intermedias, a saber:

Temperatura de cámara a -11°C, -15°C y -20°C.

Esta última temperatura (-20°C), ya con la ayuda de la unidad nº2. Finalmente, se ha probado con una temperatura de condensación de 50°C.

Para conseguir esta temperatura de 50°C se ha tapado un poco el condensador del equipo nº1, de forma que simule unas condiciones teóricas de verano, y analizar así el comportamiento de los compresores.

Están disponibles todos los archivos con los datos analíticos de parámetros y resultados de cada uno de los equipos nº1 y nº2.

En las tablas que se muestran a continuación , se adjuntan los datos que nos ayudan a analizar los equipos y los resultados de usar refrigerante R-407 A (objetivo de este retrofit).Con todo ello podremos tomar decisiones sobre medidas correctoras, si fueran necesarias, para el buen funcionamiento de la instalación frigorífica.

Resueltas las mismas operaciones con el equipo nº2, se coloca en primer lugar el mismo refrigerante que había anteriormente en todos los equipos, es decir el R-404 A, al objeto de tener, al menos, una referencia en uno de los equipos del funcionamiento con ese refrigerante y el nuevo introducido R-407A.

EQUIPO 1. (Sólo medido con el refrigerante R-407A)

PARÁMETRO MEDIDO	CÁMARA FRIGORÍFICA Nº 1 , EQUIPO 1			
	MEDICIÓN A -11°C	MEDICIÓN A -15°C	MEDICIÓN A -20°C	MEDICIÓN A -20°C
	TEMP.CONDENSACIÓN 38°C	TEMP. CONDENSACIÓN 35°C	TEMP.CONDENSACIÓN 33°C	TEMP. CONDENSACIÓN 50°C
	REFRIGERANTE R-407A	REFRIGERANTE R-407A	REFRIGERANTE R-407A	REFRIGERANTE R-407A (simulación cond. Verano)
Temperatura de cámara (°C)	-11	-15	-20	-20
Temp. Media de evaporación (°C)	-24.8	-26.5	-29.2	-26.4
Baja presión (bar)	1.1	0.94	0.73	0.94
ΔT en el evaporador (°C)	13.8	11.5	9.2	6.4
Glise (deslizamiento) (°C)	6.1	6.1	6.2	6.1
Recalentamiento total (°C)	17.8	14.5	10.8	5.9
Recalentamiento propio evaporador (°C)	8.8	7	8	4.8
Capacidad frigorífica (KW)	45.6	37.5	31.7	31.1
Alta presión (bar)	16.7	14.3	13.75	21.5
Temperatura de descarga (°C)	80.5	79.2	76	84.2
Consumo compresor (KW)	16.5	15.2	14.4	15.3
C.O.P.	2.65	2.47	2.25	2.03
Eficiencia isentrópica (%)	83.5	78.2	72.8	83.9
Flujo másico (gr/s)	285	246	212.5	233
Flujo volumétrico (m3/h)*** (ver observaciones)	113.3	104.6	98.2	94.5
Temp. Media de condensación (°C)	38.6	35	33.6	50.5
Temp. Entrada aire al condensador (°C)	12.5	16.6	16.8	15.14
Temp. Salida aire del condensador (°C)	24	25.1	24.1	35.3
Capacidad calorífica (KW)	58.4	51.6	46.5	45.3
ΔT en el condensador (°C)	26.1	18.4	16.8	35.36

NOTA***: el flujo volumétrico del compresor, según el fabricante, es de 105.6 m3/h.

EQUIPO 2- MEDIDO CON R404A Y DESPUÉS CON R407A.

CÁMARA FRIGORÍFICA N° 1 , EQUIPO 2		
	MEDICIÓN A -20°C	MEDICIÓN A -20°C
	TEMP. CONDENSACIÓN 34°C	TEMP. CONDENSACIÓN 39°C
	REFRIGERANTE R-404A	REFRIGERANTE R-407A
PARÁMETRO MEDIDO		
Temperatura de cámara (°C)	-20	-20
Temp. Media de evaporación (°C)	-29.2	-30.6
Baja presión (bar)	1.1	0.63
ΔT en el evaporador (°C)	9.2	10.6
Glide (deslizamiento) (°C)	0.7	6.2
Recalentamiento total (°C)	23.2	11.1
Recalentamiento propio evaporador (°C)	12	9.6
Capacidad frigorífica (KW)	31.6	31.3
Alta presión (bar)	14.84	13.31
Temperatura de descarga (°C)	73.2	72.6
Consumo compresor (KW)	15.4	12.9
C.O.P.	2.08	2.43
Eficiencia isentrópica (%)	76.9	81.7
Flujo másico (gr/s)	273	210
Flujo volumétrico (m ³ /h) ^{***} (ver observaciones)	100.6	104.1
Temp. Media de condensación (°C)	34.3	32.4
Temp. Entrada aire al condensador (°C)	14.6	14.1
Temp. Salida aire del condensador (°C)	20.6	18.6
Capacidad calorífica (KW)	45.4	43.2
ΔT en el condensador (°C)	19.7	18.3
NOTA ^{***} : el flujo volumétrico del compresor, según el fabricante, es de 105.6 m ³ /h.		

6.-ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.-

PRIMERO: Se puede observar que el ΔT de los evaporadores se mueve en torno a los 10°C dependiendo de la capacidad frigorífica efectiva que aporta el compresor (por supuesto dependiendo de la temperatura de evaporación). A pesar de que el caudal de aire del evaporador es bastante alto, seguramente la batería no es capaz de mantener una HR (humedad relativa) correcta y se prevé un resultado de 70% de HR en el interior de la cámara. Mientras la mercancía esté totalmente fuera de contacto con el aire, no habrá mucha deshidratación del producto a mantener congelado.

SEGUNDO: El deslizamiento de temperatura (*Glide*) para el nuevo producto R-407 A oscila entre 6,1°K y 6,2°K. Se puede calcular como la diferencia entre la temperatura de burbuja y la de rocío, siendo para el R-404 A de 0,7. Este factor no es demasiado negativo ya que su mayor afectación a la composición de la mezcla del refrigerante, se produciría en fugas de más del 50% del producto. Esas fugas son poco probables, en especial si la instalación cuenta con sistemas efectivos de detección y control de fugas, tal y como recomiendan los reglamentos y leyes respectivas.

TERCERO: No se ha podido ajustar la VET para el funcionamiento del R-404 A porque para ello era preciso cambiar de orificio en la VET existente y por tanto los parámetros no son totalmente comparables. En todo caso, sí se han ajustado esas VET en los dos casos del equipo nº1 y nº 2 porque el orificio es el adecuado para el uso del R-407 A, y ha permitido obtener un recalentamiento oportuno para dicho refrigerante. Por esa razón, parece que tengan la misma capacidad frigorífica con ambos productos, y sin embargo con el orificio completamente abierto el R-404 A está algo recalentado, cosa que falsea la temperatura de descarga y la capacidad frigorífica del R-404 A frente al R-407 A.

CUARTO: Si nos fijamos en la presión de descarga de ambos productos, se observa que el nuevo refrigerante, R-407 A, tiene una leve menor presión de descarga, si bien los resultados son muy parecidos.

QUINTO: Podemos observar que el **COP** es mejor en el caso del R-407 A que con el producto anterior, R-404 A, no sólo en la teoría, lo cual ya era de esperar antes de su aplicación, sino como consecuencia del orificio de la VET, mal elegido anteriormente con el uso del R-404 A. Se prevé una mejora del COP, no solo por la aplicación de este nuevo refrigerante, sino además gracias a la aplicación del aditivo Zerol ICE LT, que minimiza el rozamiento de las partes móviles del compresor.

SEXTO: Con relación a la Tª de descarga, donde radicaban las dudas del uso de este nuevo refrigerante, R-407 A, podemos observar que es menor en general la del R-404 A, pero dado que no se ha podido ajustar en la misma proporción que el R-407 A, incluso se parecen una a la otra. Si se hubieran podido ajustar debidamente, el resultado sería mejor para el R-404 A, tal como se esperaba. Sin embargo, el R-407 A, siempre que se cuiden las fugas, para evitar el aumento del recalentamiento, y como

consecuencia el aumento de la temperatura de descarga, será un producto adecuado para esta aplicación.

SÉPTIMO: La eficiencia isoentrópica de los dos compresores, (recién reparados) ha dado una cifra muy adecuada,(en torno al 80%) haciendo que su rendimiento sea tan bueno como si fueran nuevos.

OCTAVO: Grave problema de condensación. Se puede observar que tanto en el uso del R- 404 A como el del R-407 A, la batería del condensador es pequeña. Para servicio en temperaturas típicas de verano, el condensador es pequeño. Actualmente, para aire de entrada al condensador de entre 14/16 °C las temperaturas de condensación están situadas entre 33/34 °C ya sean para el R-407 A ó el R-404 A, y eso contando que en el funcionamiento del R-404 A ha estado siempre minimizado por el mal funcionamiento de la VET que no ha dejado que el recalentamiento esté en su sitio y se haya aprovechado bien su capacidad frigorífica.

Este problema debe ser solucionado aumentando el tamaño del condensador, hasta conseguir que la Tª de descarga sea más parecida a la Tª de condensación.

En las tablas de resultados del software Climacheck , que hemos mostrado anteriormente , se muestran las necesidades caloríficas para la elección del nuevo condensador.

7.-CONCLUSIÓN.- Con este informe del resultado del retrofit realizado para la sustitución del R-404 A por R-407 A en la aplicación de la actividad que nos ocupa, se recomiendan los siguientes puntos:

A) Corregir lo antes posible la capacidad frigorífica del condensador.

B) Disponer de sistemas de alarma para la prevención de posibles fugas bien con sistemas simples que alerten al operador, como hace el sistema LECOSYSTEM, mediante sistema de mensajes cortos de telefonía móvil, ó bien con el propio sistema **Climacheck**, que ha servido de base para hacer este estudio.

Teniendo en cuenta que un Climacheck fijo, además, optimiza el consumo energético, y se pueden generar alarmas para: Consumo, control de fugas ,temperatura de descarga, COP, capacidad frigorífica, etc.

C) Después de estas medidas correctoras, es recomendable que se tomen nuevamente lecturas de los resultados termodinámicos, y así, observar que se hayan corregido los problemas con las soluciones técnicas aquí aportadas.

Hecho en Almería a 26 de diciembre de 2013.

Fernando Gutiérrez Antolín

Joaquín Tena García



Ingeniero Técnico Industrial

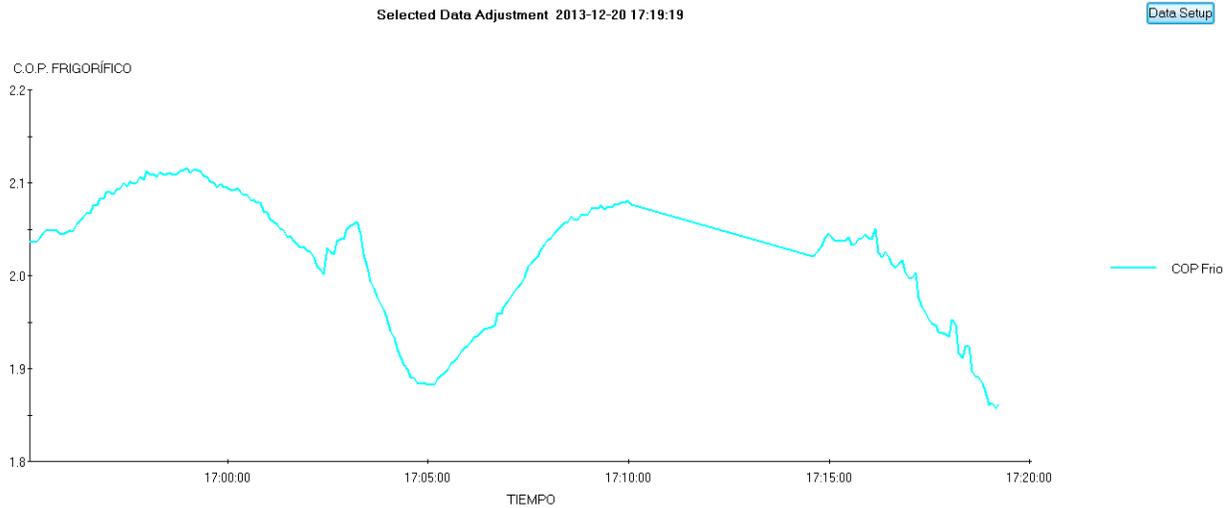
Ingeniero Técnico Industrial

(ver anexo de gráficos en la páginas siguientes)

ANEXO - GRÁFICOS OBTENIDOS CON EL SOFTWARE CLIMACHECK.

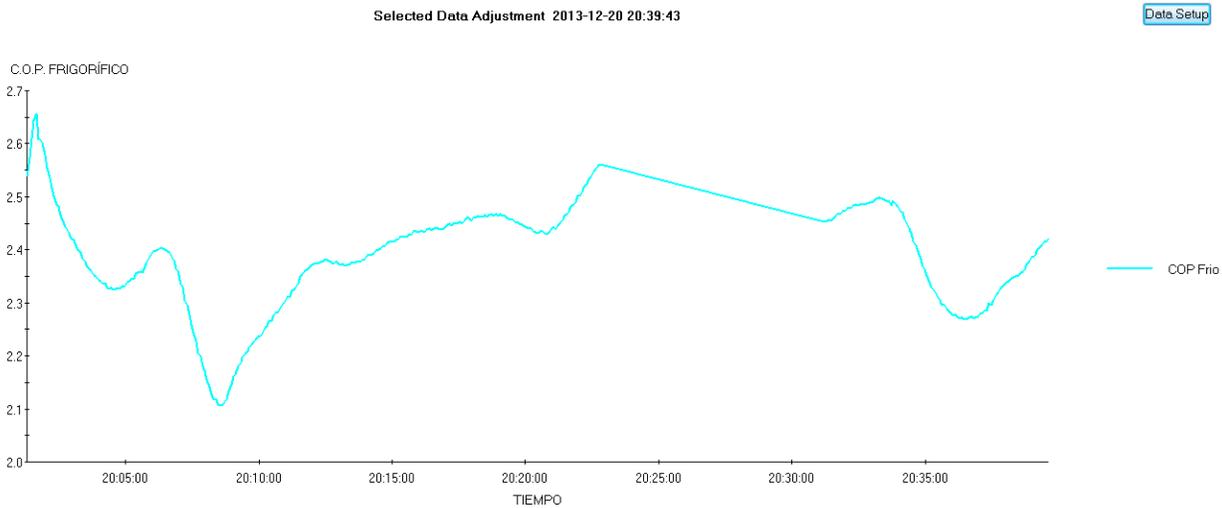
1-COMPARACIÓN DEL C.O.P. OBTENIDO.

1.1-C.O.P. obtenido con el R-404 A



Se observa un COP comprendido entre 2.1 y 1.9 durante toda la medición.

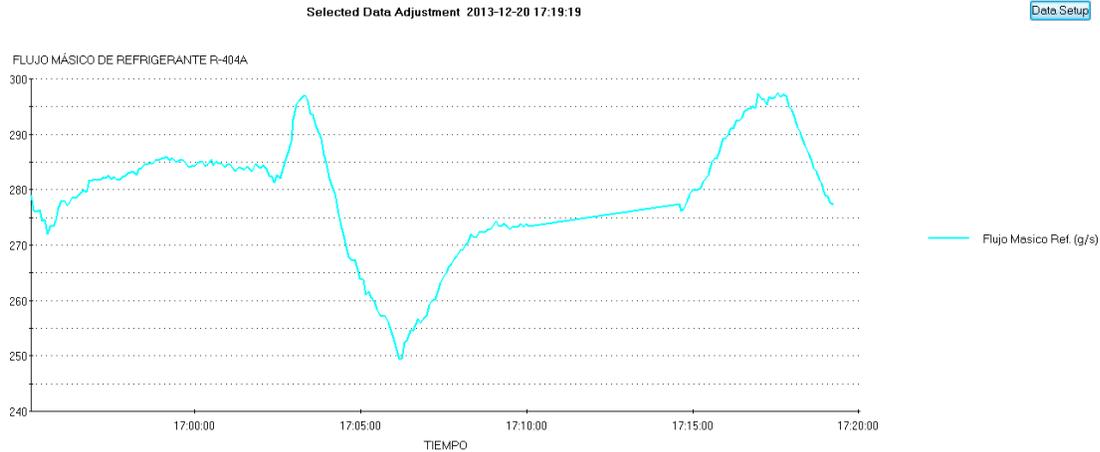
1.2-C.O.P. obtenido con el R-407 A.



En este caso, con R-407 A, se observa un COP comprendido entre 2.6 y 2.1 durante toda la medición, siendo el COP medio superior a 2.4, claramente mejor al del R-404 A.

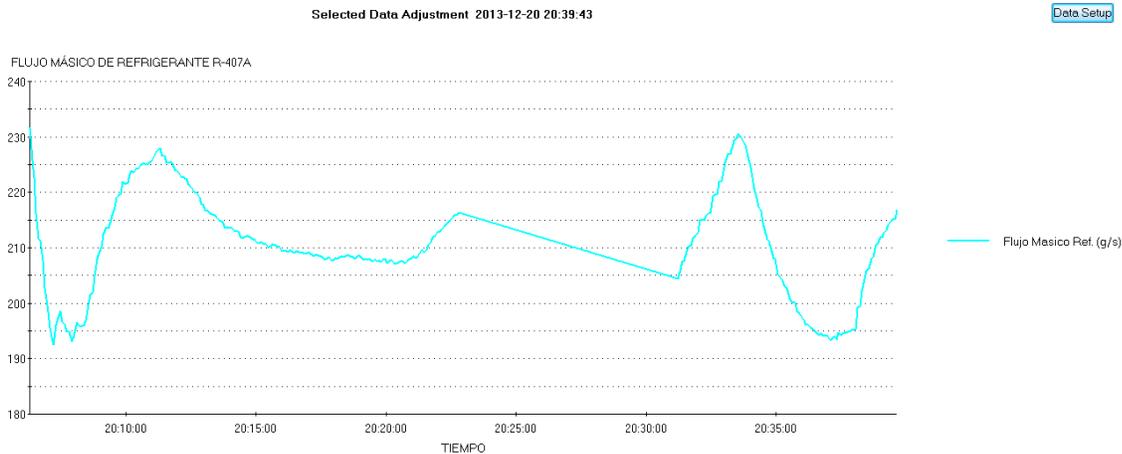
2.-Comparación de flujos máscicos.

2.1- Flujo máscico obtenido con R-404 A.



Se observa un flujo máscico medio en torno a los 275 gr/s de R-404 A durante toda la medición.

2.2-Flujo máscico obtenido con R-407 A.



Se observa un flujo máscico medio en torno a los 210 gr/s de R-407 A durante toda la medición.

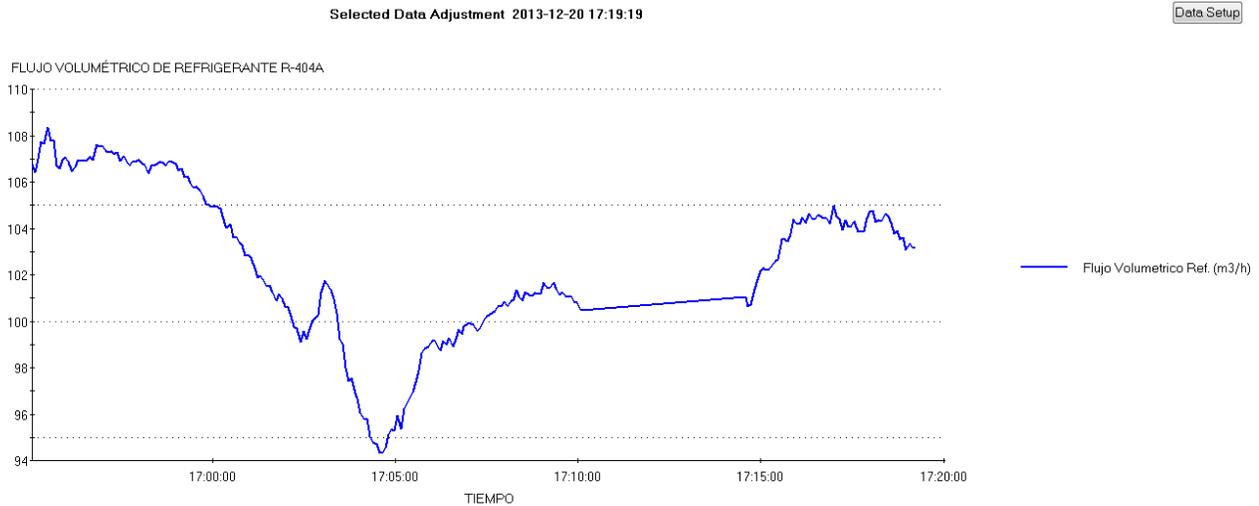
Esto se traduce en un menor trabajo por parte del compresor para producir la misma potencia frigorífica, ya que al desplazar menor masa el consumo eléctrico disminuye.

- *Nota: la potencia eléctrica media consumida por el compresor en la medición realizada con R-404 A es de 15.4 KW, mientras que en el caso del R-407 A es de 13.3 KW, por eso hemos obtenido mejor COP en el caso del R-407A.*

3-Comparación de flujos volumétricos:

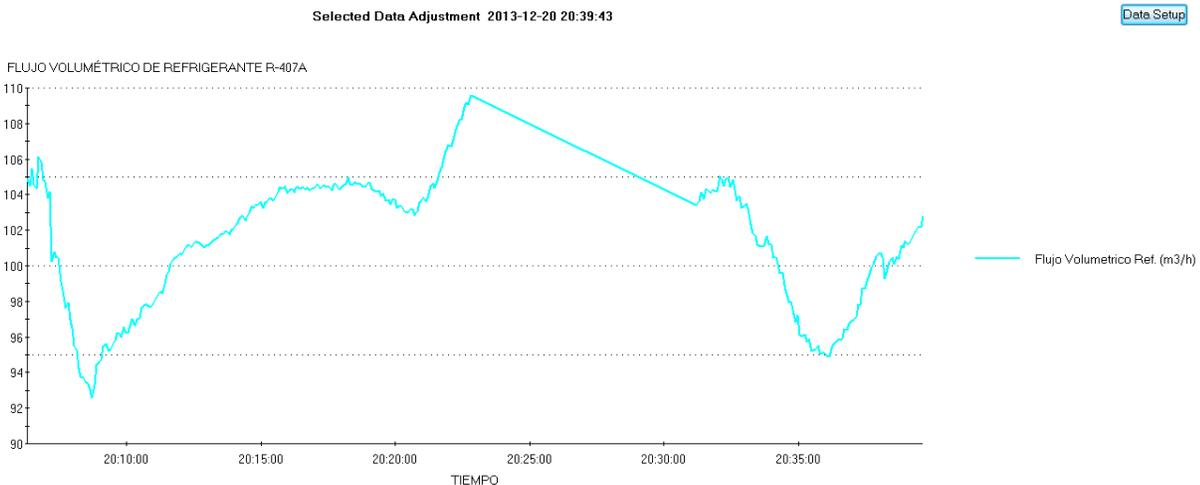
NOTA: El flujo volumétrico de un compresor es un dato característico del mismo, y por tanto no depende de qué gas estamos usando en la medición. Es por tanto de esperar que en la comparación entre R-404 A y R-407 A los resultados sean similares entre sí, y cercanos a los 106.5 m³/h que indica el fabricante de este compresor (semi-hermético COPELAND de 25 CV).

3.1-Flujo volumétrico obtenido en la medición con R-404 A.



El flujo volumétrico está comprendido entre 108 y 94 m³/h durante toda la medición, siendo la media de 102 m³/h, bastante parecido a lo indicado por el fabricante.

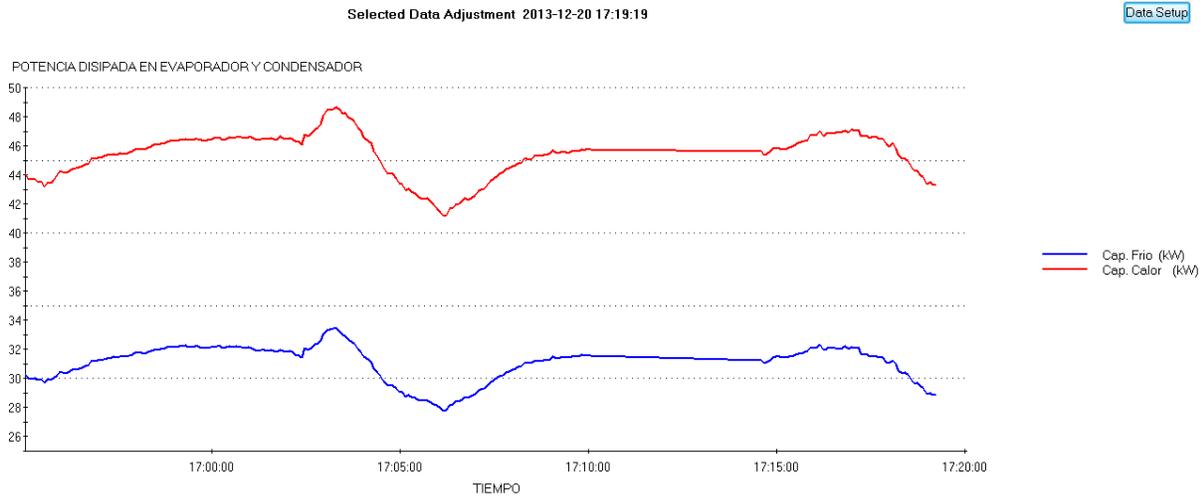
3.1-Flujo volumétrico obtenido en la medición con R-407 A.



El flujo volumétrico está comprendido entre 110 y 92 m³/h durante toda la medición, siendo la media de 102 m³/h, al igual que en el caso anterior, bastante parecido a lo indicado por el fabricante.

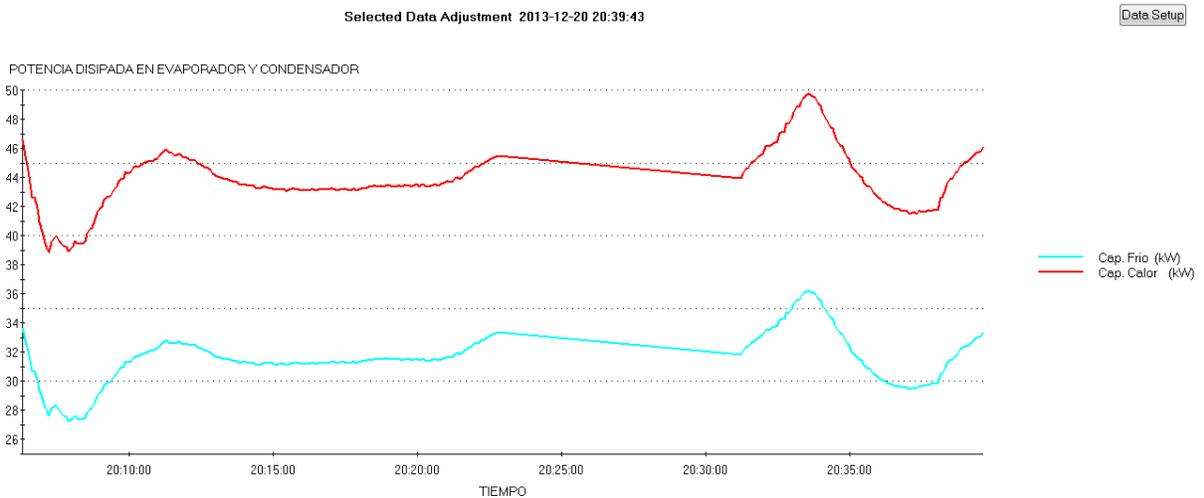
4- Comparación de potencias disipadas en evaporador y condensador.

4.1-Potencia frigorífica y calorífica con R-404 A.



Con R-404 A, la potencia frigorífica se encuentra alrededor de los 31 KW, y la calorífica es de 45 KW aproximadamente. (cuando nos acercamos a la temperatura de consigna y las temperaturas de condensación y evaporación)

4.2-Potencia frigorífica y calorífica con R-407 A.

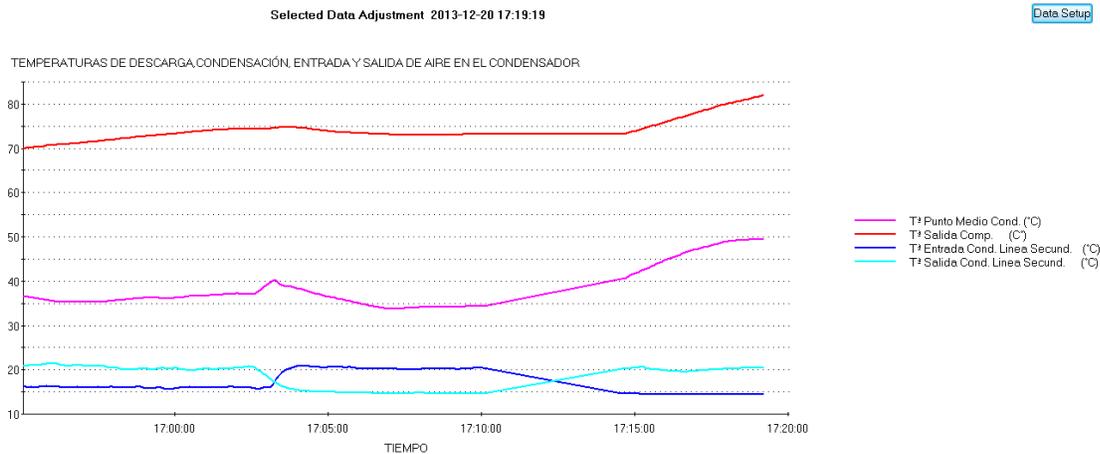


Con R-407 A los datos son muy parecidos a los anteriores con R-404 A, es decir, una potencia frigorífica en torno a los 32 KW y una potencia calorífica a disipar en el condensador cercana a los 44 KW.

Hay que hacer notar, no obstante, que para producir la misma potencia frigorífica, con R-407 A el compresor consume menos potencia eléctrica, como se ha visto en la comparación de caudales máxicos (ver gráficas anteriores). Además, la capacidad frigorífica con el R-404 A sería mejor si hubiéramos ajustado correctamente el recalentamiento de la VET con este producto.

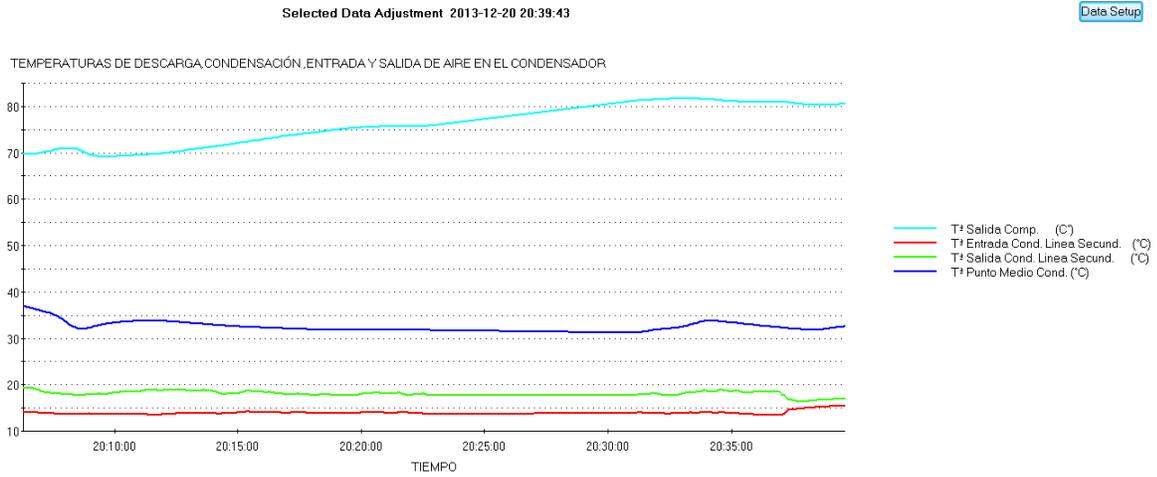
5-Comparación de temperaturas de descarga y condensación.

5.1-Temperaturas de descarga y condensación con R-404 A.



La temperatura de descarga se mantiene en todo momento entre 70 y 75º C, mientras que la de condensación se encuentra entre 35 y 40 ºC, muy superior a los 16ºC de entrada de aire exterior en el condensador.

5.2-Temperaturas de descarga y condensación con R-407 A.

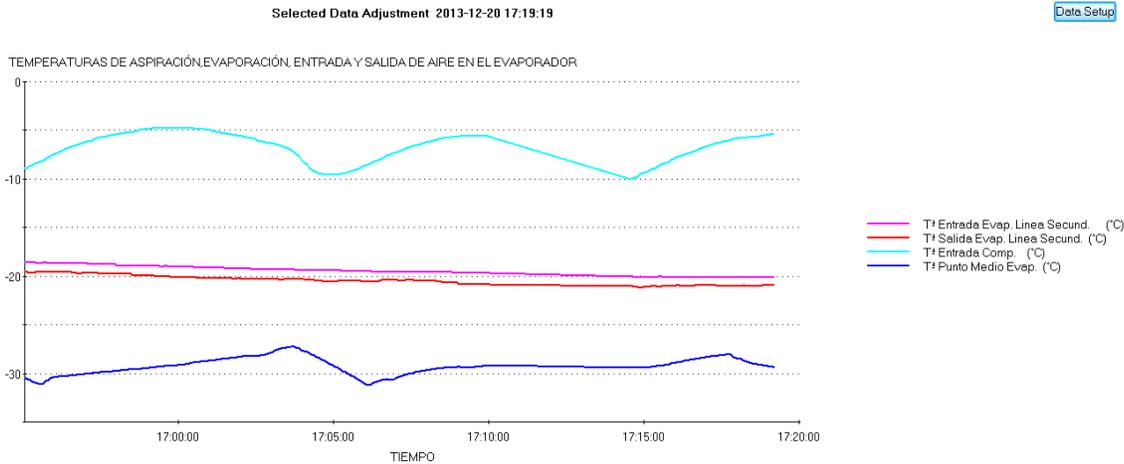


La temperatura de descarga se sitúa, en esta aplicación, alrededor de los 80°C, mientras que la condensación se sitúa alrededor de los 32°C, muy superior a los 14°C de entrada de aire exterior en el condensador.

Nota: En ambos casos se observa un salto térmico (ΔT) entre T^a exterior y la temperatura de condensación del refrigerante, en torno a los 20 °C, lo cual nos indica que el condensador debería ser mayor, para situar este ΔT en torno a los 10°C. Se conseguiría con ello una menor T^a de condensación y un mayor rendimiento termodinámico.

6-Temperaturas de evaporación y aspiración.

6.1-Temperaturas de evaporación y aspiración con R-404 A.



Observamos que el R-404 A evapora en torno a -30°C mientras que la temperatura interior de la cámara se sitúa en -20°C , lo cual nos indica un ΔT cercano a 10°C . La temperatura de aspiración se sitúa entre -5 y -10°C .

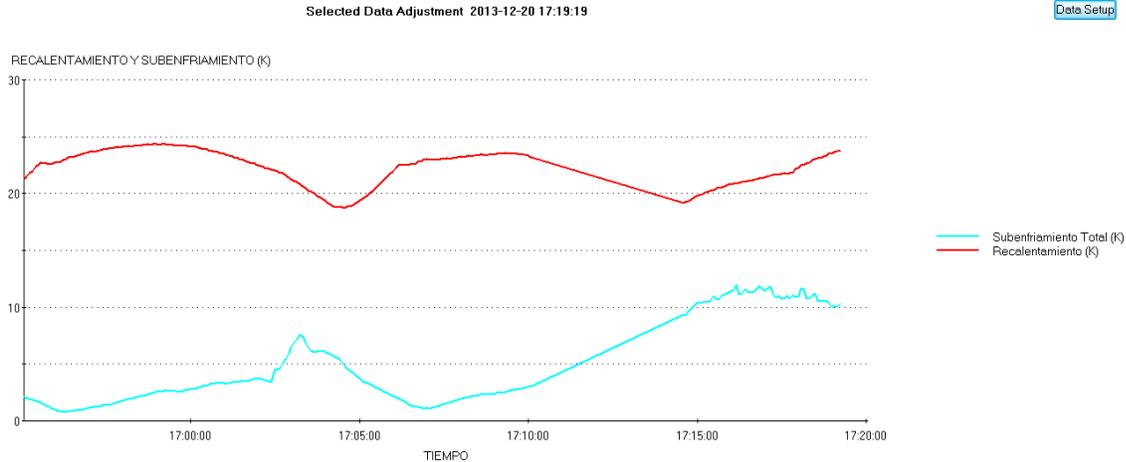
6.2-Temperaturas de evaporación y aspiración con R-407 A.

Con el R-407 A se obtienen resultados muy similares, pero con temperaturas de aspiración en torno a los -12°C (es decir presenta menos recalentamiento, de lo que se trata el punto siguiente de este anexo.)

Nota: Este ΔT de 10°C entre T^{a} de evaporación y T^{a} de cámara produce una humedad relativa interior del 70%, seguramente muy inferior al deseado para no secar los alimentos congelados. Sería necesario por tanto aumentar el tamaño de los evaporadores para reducir este ΔT a 5°C y obtener una humedad relativa del 90-95% que es la óptima para la conservación de pescados y mariscos a -20°C .

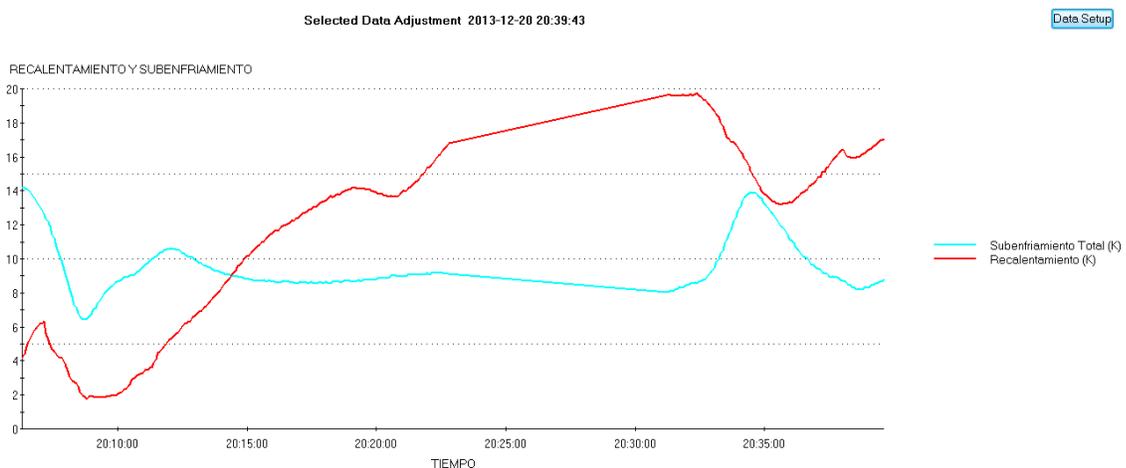
7-Comparación de recalentamiento y subenfriamiento.

7.1-Recalentamiento y subenfriamiento con R-404 A.



El subenfriamiento se encuentra entre 0 y 10°C. El recalentamiento se sitúa entre 20 y 25°C, lo cual es demasiado, aún teniendo en cuenta que parte del recalentamiento (5-6°C) se debe a un intercambiador de calor situado entre la línea de aspiración y la línea de líquido. (*suction gas heat exchanger*). El recalentamiento total ideal debería estar situado entre los 9 y los 14°C (teniendo en cuenta que 6° corresponden a este intercambiador y el resto al evaporador). Es por tanto necesario regular la válvula de expansión para conseguir un menor recalentamiento. (o bien cambiar el orificio si el equipo tuviera que funcionar con R-404 A).

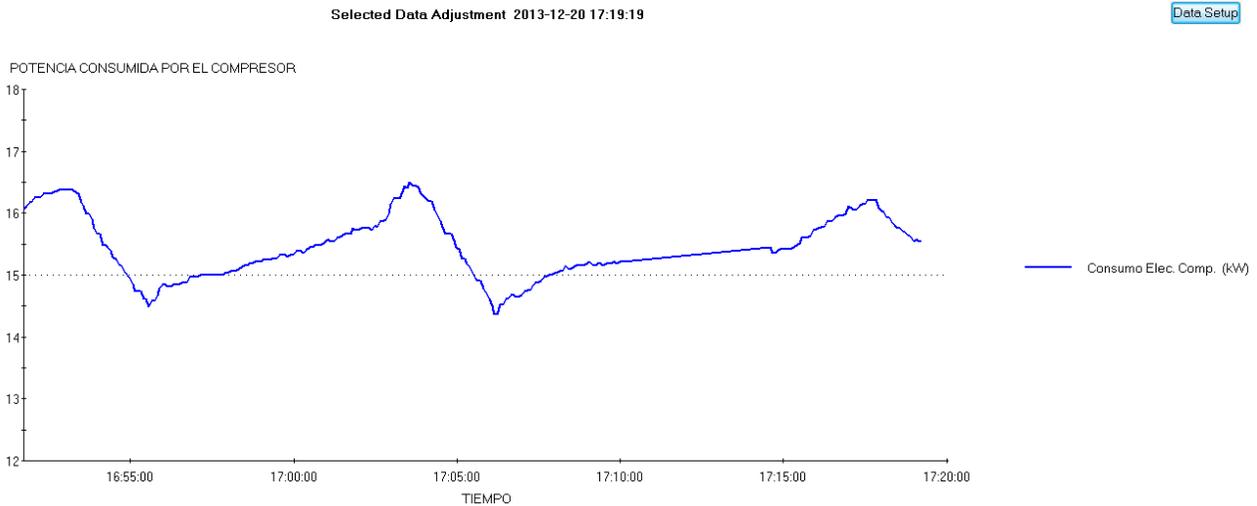
7.2-Recalentamiento y subenfriamiento con R-407 A.



En este caso el subenfriamiento es más o menos estable alrededor de los 10°C y el recalentamiento medio durante la medición es de 12°C (bastante aceptable).

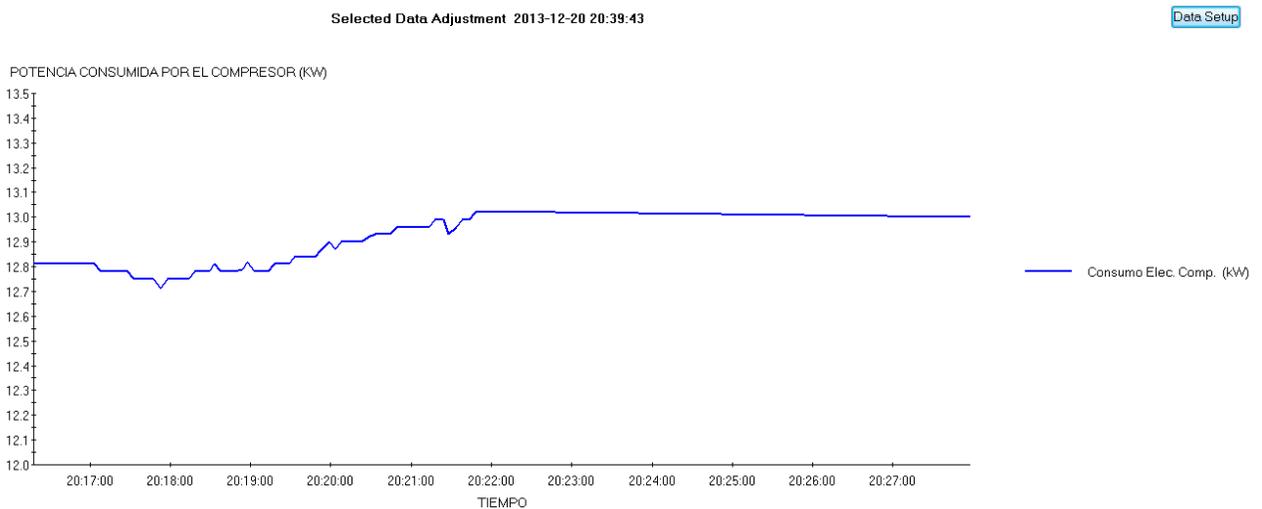
8-Comparación de la potencia consumida en el compresor.

8.1-Consumo de potencia con R-404 A.



Con R-404 A, el consumo es bastante estable alrededor de 15.4 KW.

8.2-Consumo de potencia con R-407 A.

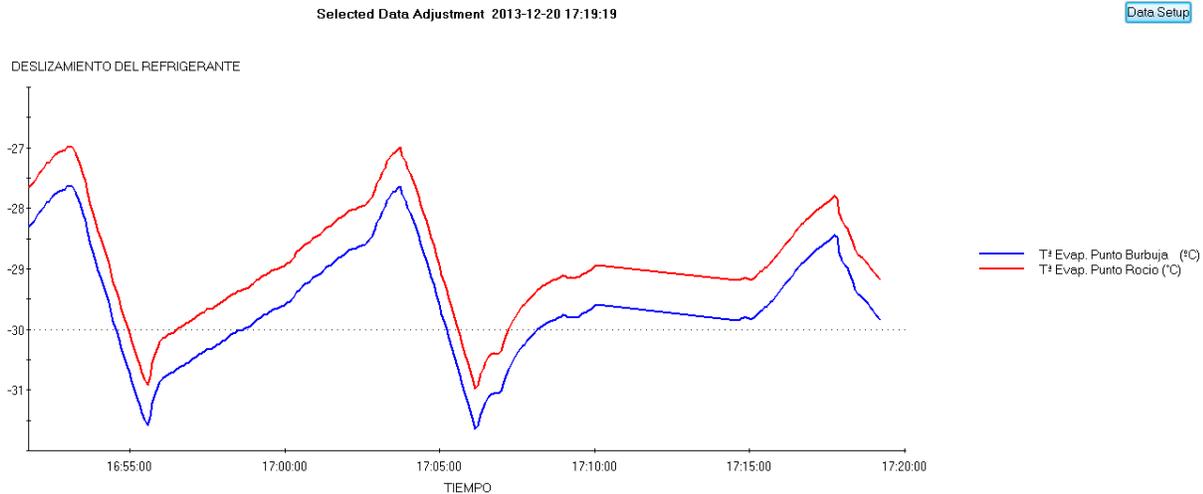


Con R-407 A, el consumo se estabiliza alrededor de 13 KW.

Nota: Como ya se ha visto en el capítulo 4 de estas gráficas, con ambos refrigerantes obtenemos una potencia frigorífica de 31-32 KW, pero aquí observamos que el consumo eléctrico con R-407 A es aproximadamente un 14-16% inferior durante nuestra evaluación.

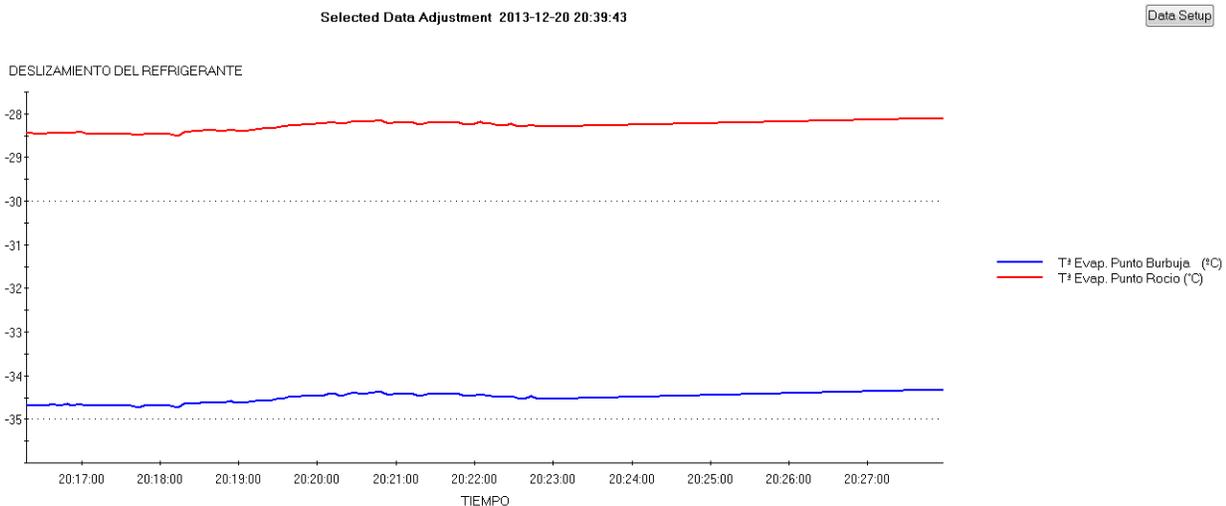
9-Comparación del deslizamiento del refrigerante.

9.1-Deslizamiento con R-404 A.



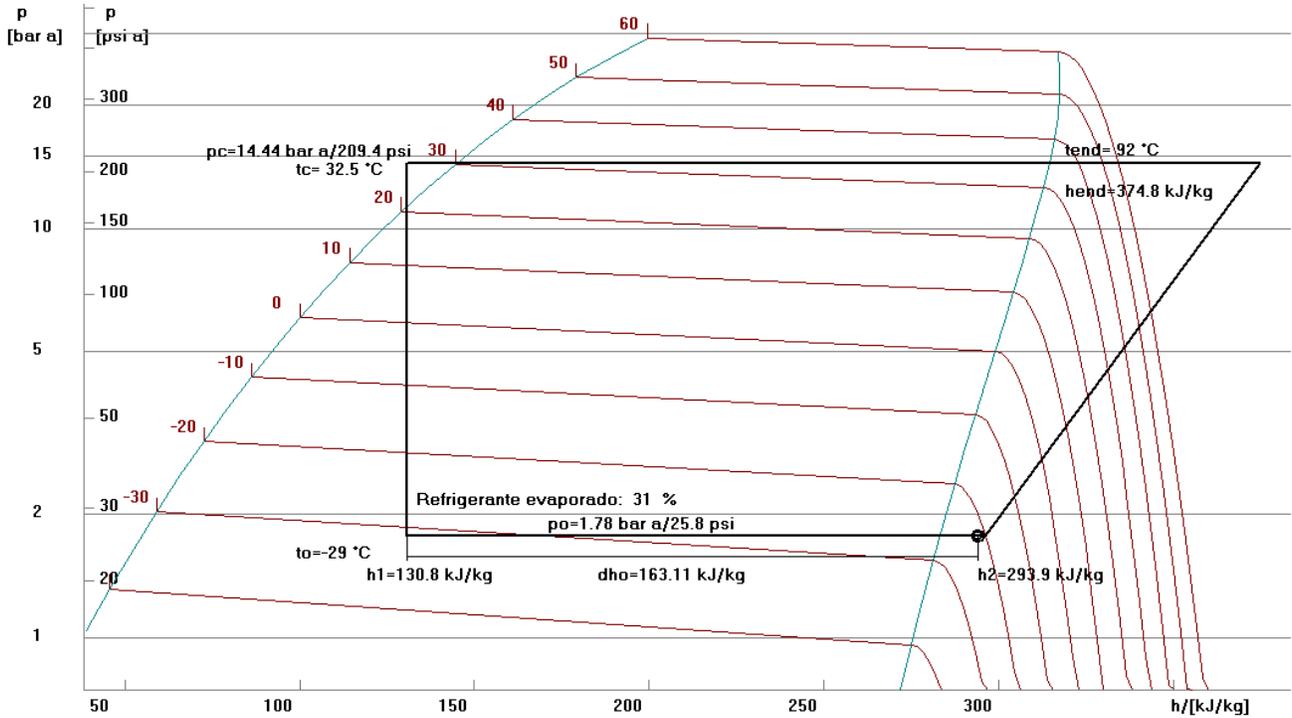
Vemos, con escala bastante ampliada, que el deslizamiento (diferencia entre punto de burbuja y punto de rocío) se sitúa en torno a 0.6-0.7 ºC .(inferior a 1ºC)

9.2-Deslizamiento con R-407 A.



En este caso, el deslizamiento se sitúa en torno a los 6ºC, bastante superior al del R-404 A.

10-Trazado del ciclo en el diagrama P-H del refrigerante R-407-A.



Aquí podemos observar el ciclo recorrido por el refrigerante R-407 A operando a 0.78 BAR relativos en baja presión y 13.44 bar en alta presión (-29°C,+32°C).