

INFLUENCIA DEL BINOMIO DE LA INYECCIÓN ELECTRÓNICA Y LA PRESIÓN FLOTANTE EN EL AHORRO DE ENERGÍA.

Autor 1: Paulo Monteiro. Ingeniero Industrial.

Danfoss. Oporto, Portugal.

Tel.: 00 351 919 275 703,

e-mail: paulomonteiro.@danfoss.pt

Autor 2: Félix Sanz del Castillo. Ingeniero Industrial.

Danfoss. Madrid, España.

Tel.: 00 34 609 108 208,

e-mail: f.sanz@danfoss.es

RESUMEN

La ponencia expone los resultados obtenidos en una instalación frigorífica en Portugal, en los cuales se analizan los consumos con dos estrategias de control. Los resultados son favorables a estrategias de control con referencias variables que se adaptan a las condiciones ambientales y a las necesidades de la instalación.

PALABRAS CLAVE: (ahorro energía presión flotante electrónico)

1. INTRODUCCION

El objetivo de esta comunicación es mostrar la influencia en el ahorro de energía como consecuencia del acoplamiento en el funcionamiento de la inyección electrónica y las presiones de evaporación y condensación flotantes.

El ensayo se realizó en un supermercado en Almada, en la región de Lisboa en Portugal, y se han analizado tres instalaciones que formaban la refrigeración frigorífica de dicho supermercado. Las instalaciones analizadas han sido:

1.1 Servicios de temperatura negativa:

Formada por una central negativa en un régimen de trabajo de $-39^{\circ}\text{C}/ 40^{\circ}\text{C}$, R404A y una potencia de 130 kW, que proporciona refrigeración a baja temperatura a 43 expositores y 7 cámaras de congelados gobernados por controladores con inyección electrónica AKC 100A.

La central de compresores está constituida por 5 compresores alternativos Bitzer controlados con un controlador AKC 25H5

1.2 Servicios de temperatura positiva para expositores:

Formada por una central positiva en un régimen de trabajo de $-18^{\circ}\text{C}/ 40^{\circ}\text{C}$, R404A y una potencia de 300 kW, que proporciona refrigeración a temperaturas medias a 118 expositores gobernados por controladores con inyección electrónica AKC 100A.

La central de compresores está constituida por 3 compresores de tornillo Bitzer controlados con un controlador AKC 25H5

1.3 Servicios de temperatura positiva para cámaras y obradores:

Formada por una central positiva en un régimen de trabajo de $-15^{\circ}\text{C}/ 40^{\circ}\text{C}$, R404A y una potencia de 203 kW, que proporciona refrigeración a temperaturas medias a 17 cámaras de conservación y 18 obradores gobernados con controladores de inyección electrónica AKC 100A.

La central de compresores está constituida por 3 compresores alternativos Bitzer controlados con un controlador AKC 25H5

Lógicamente se han considerado los distintos aspectos teóricos de control con presiones flotantes, así como los conocimientos acumulados en inyección electrónica.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Para hacer el estudio se han tomado datos en las instalaciones citadas durante dos semanas, del 31 de Enero al 7 de Febrero simulando un comportamiento de válvulas termostáticas en la planta con ajustes de presión fijos (condiciones de proyecto), y del 7 de Febrero al 14 de Febrero con ajustes que permiten la inyección adaptativa y las presiones flotantes.

Los ajustes realizados fueron los siguientes:

Semana 1ª, del 31 de Enero al 7 de Febrero simulando un control electrónico convencional (estrategia de control EC1)

Controladores de evaporadores AKC 114A, AKC 115A, AKC 116A.

Para simular las condiciones de una instalación convencional, con válvulas termostáticas utilizando el sistema ADAP-KOOL, modificamos los parámetros del controlador para tener un recalentamiento entre 8 y 12°C .

Controlador de centrales AKC 25H5.

Las centrales se ajustan a valores fijos tanto de presión de condensación en 40°C como en evaporación, quedando de la siguiente manera:

Central Negativa ($-39 /+40$)

Central Expositores Positivos ($-18/+40$)

Central Cámaras y Salas Positivas ($-15/+40$)

Semana 2ª, del 7 de Febrero al 14 de Febrero con control electrónico adaptativo y presiones de condensación flotantes (estrategia de control EC2)

Controladores de evaporadores AKC 114A, AKC 115A, AKC 116A.

Para simular las condiciones de una instalación convencional, con válvulas termostáticas utilizando el sistema ADAP-KOOL, se modificaron los parámetros del controlador para tener un recalentamiento entre 3 y 8°C .

Controlador de centrales AKC 25H5.

Las centrales se ajustan con presiones flotantes con valores móviles pero con límites superiores e inferiores, sin penalizar el consumo ni perjudicar la calidad del producto.

3. DATOS REGISTRADOS

Para realizar el análisis de la instalación se han registrado cada 6 minutos las siguientes variables:

- Presión de aspiración real y de referencia
- Presión de condensación real y de referencia
- Capacidad suministrada de los compresores en % del total

- Capacidad demandada por la instalación en % del total
- Temperatura ambiente exterior
- Capacidad suministrada y demandada de condensación en %
- Energía eléctrica consumida (acumulado)
- Potencia eléctrica instantánea

También se han calculado por medio de programas de cálculo los siguientes parámetros:

- Potencia frigorífica total de la planta
- Potencia frigorífica instantánea

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se analizan los resultados obtenidos basándose en los datos reales obtenidos de la instalación por medio del programa de software AKM

4.1. Central negativa

Tabla 1. Central Negativa (5 compresores pistón)

Variable	Semana 1 EC1 (convencional) Valores medios	Semana 2 EC2 (ADAP-KOOL) Valores medios	Diferencia (Sem.2 - Sem.1)
Presión de aspiración Po (°C)	- 39,1	- 36,5	+ 2,6
Presión referencia aspiración Po Ref (°C)	- 39,0	- 36,4	+ 2,6
Capacidad de compresores (%)	60,2	51,0	- 9,2
Capacidad calculada compresores (%)	60,6	52,1	- 8,5
Presión condensación Pc (°C)	36,3	23,7	- 12,6
Presión referencia condens. Pc Ref (°C)	40,0	24,5	- 15,5
Temperatura exterior S7 (°C)	16,1	14,9	- 1,2
Capacidad de condensadores (%)	11,1	29,5	+ 18,4
Capacidad calculada de condens. (%)	13,1	33,9	+ 20,8
Energía consumida (kWh)	9.480	7.465	- 2.015
Potencia eléctrica instantánea (kW)	56,2	46,1	- 10,1
Potencia Frig. total central (kW)	134,3	160,0	+ 25,7
Potencia Frig. instantánea central (kW)	80,7	75,8	- 4,9

4.1.1 Consumo Eléctrico

Durante la semana 1 la Energía consumida fue 9.480 kWh.

Durante la semana 2 la Energía consumida fue 7.465 kWh.

Con el sistema adaptativo con inyección electrónica y presiones flotantes, se consumieron 2.015 kWh menos, lo cual supone un ahorro del 27% en el consumo de energía.

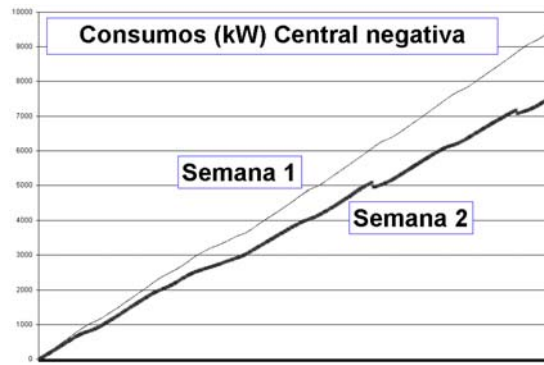


Figura 1. Consumo eléctrico Central Negativa

4.1.2. Presión de aspiración

Durante la semana 1 la presión de aspiración fue $-39,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Durante la semana 2 la presión de aspiración fue $-36,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Con la optimización de la presión de evaporación se consiguió un incremento de $2,6^{\circ}\text{C}$, el cual provocará un menor desgaste y horas de funcionamiento de los compresores.

4.1.3. Presión de condensación

Durante la semana 1ª la presión de condensación fue de $36,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Durante la semana 2ª la presión de condensación fue de $23,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Con el sistema adaptativo con presión de evaporación flotante en función de la carga térmica y la temperatura exterior, se consigue reducir la presión de condensación en $12,6^{\circ}\text{C}$, lo cual provocará un menor desgaste y horas de funcionamiento de los compresores. Por otro lado se observa un aumento del tiempo de funcionamiento de ventiladores del 18%, lo cual se deberá tener en cuenta para posibles optimizaciones posteriores.

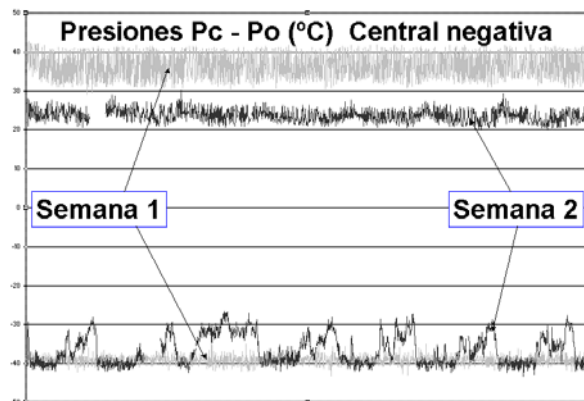


Figura 2. Presiones Evap. Condens. Central Negativa

Consecuencia de evaporar mas alto y condensar mas bajo, la potencia frigorífica asociada a la central frigorífica aumenta 25kW (19%).

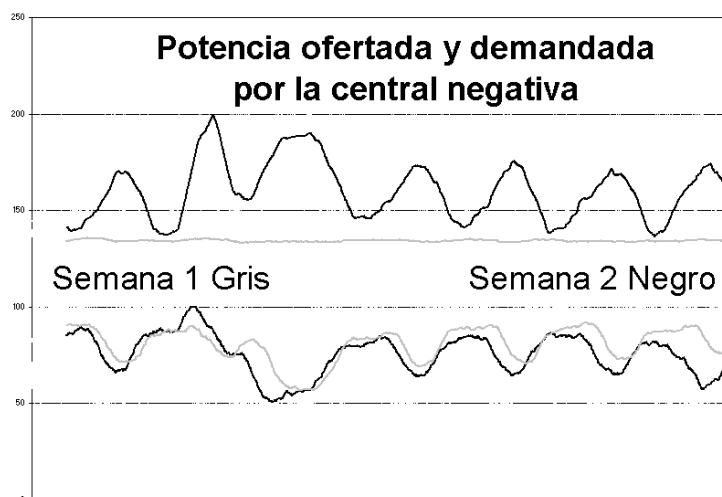


Figura 3. Potencias Central Negativa

4.2. Central Expositores Positivos

Tabla 2. Central Expositores Positivos (3 compresores de tornillo)

Variable	Semana 1 ECI (convencional) Valores medios	Semana 2 EC2 (ADAP-KOOL) Valores medios	Diferencia (Sem.2 - Sem.1)
Presión de aspiración Po (°C)	- 16,9	- 11,8	+ 5,1
Presión referencia aspiración Po Ref (°C)	- 17,0	- 11,8	+ 5,2
Capacidad de compresores (%)	52,7	37,8	- 14,9
Capacidad calculada compresores (%)	52,5	37,0	- 15,5
Presión condensación Pc (°C)	38,7	26,2	- 12,5
Presión referencia condens. Pc Ref (°C)	40,0	26,0	- 14,0
Temperatura exterior S7 (°C)	20,7	17,5	- 3,2
Capacidad de condensadores (%)	34,7	75,0	+ 40,3
Capacidad calculada de condens. (%)	36,2	74,1	+ 37,9
Energía consumida (kWh)	18.190	11.875	- 6.315
Potencia eléctrica instantánea (kW)	108,9	72,6	- 36,3
Potencia Frig. total central (kW)	328,1	492,6	+ 164,5
Potencia Frig. instantánea central (kW)	169,2	177,8	+ 8,6

4.2.1. Consumo Eléctrico

Durante la semana 1 la Energía consumida fue 18.190 kWh.

Durante la semana 2 la Energía consumida fue 11.875 kWh.

Con el sistema adaptativo con inyección electrónica y presiones flotantes, se consumieron 6.315 kWh menos, lo cual supone un ahorro del 53,2% en el consumo de energía.

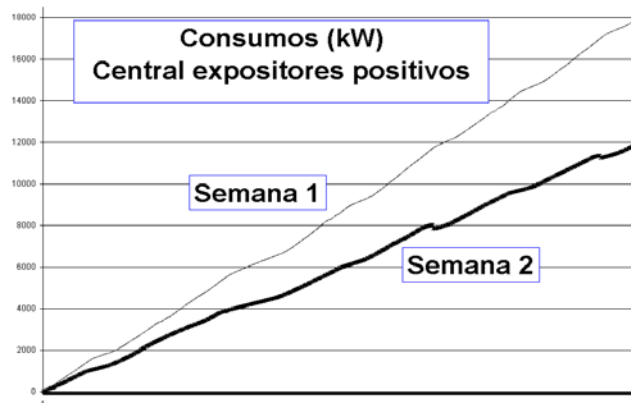


Figura 4. Consumo eléctrico Central Expositores Positivos

4.2.2. Presión de aspiración

Durante la semana 1 la presión de aspiración fue $-16,9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Durante la semana 2 la presión de aspiración fue $-11,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Con la optimización de la presión de evaporación se consiguió un incremento de $5,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, el cual provocará un menor desgaste y horas de funcionamiento de los compresores.

4.2.3. Presión de condensación

Durante la semana 1ª la presión de condensación fue de $38,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Durante la semana 2ª la presión de condensación fue de $26,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Con el sistema adaptativo con presión de evaporación flotante en función de la carga térmica y la temperatura exterior, se consigue reducir la presión de condensación en $12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo cual provocará un menor desgaste y horas de funcionamiento de los compresores. Por otro lado se observa un aumento del tiempo de funcionamiento de ventiladores del 41%, lo cual se deberá tener en cuenta para posibles optimizaciones posteriores.

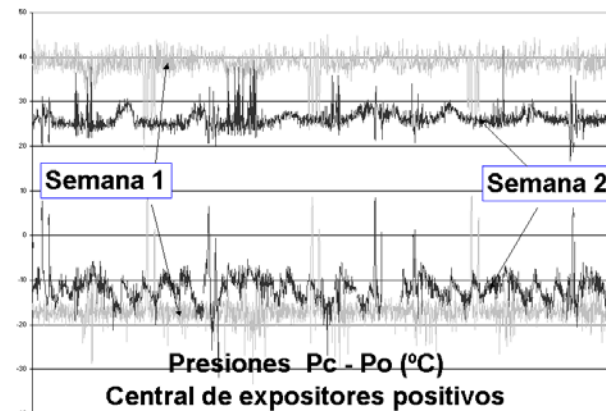


Figura 5. Presiones Evap. Condens. Central Expositores Positivos

Consecuencia de evaporar mas alto y condensar mas bajo, la potencia frigorífica asociada a la central frigorífica aumenta $164,5\text{ kW}$ (50%)

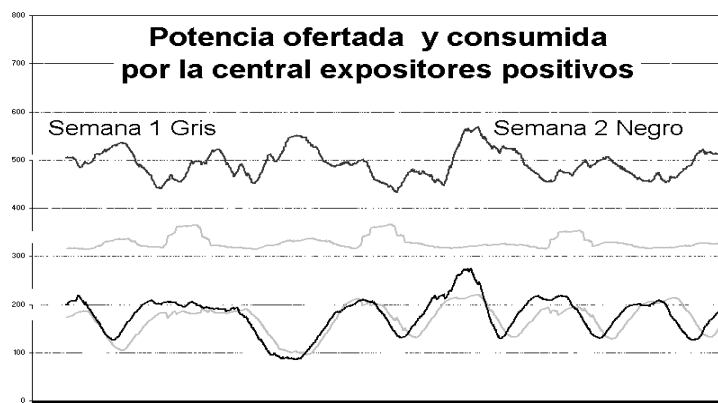


Figura 6. Potencias Central Expositores Positivos

4.3 Central de Cámaras Positivas

Central cámaras positivas (3 compresores pistón)

Variable	Semana 1 EC1 (convencional) Valores medios	Semana 2 EC2 (ADAP-KOOL) Valores medios	Diferencia (Sem.2 - Sem.1)
Presión de aspiración Po (°C)	- 16,7	- 7,3	+ 9,4
Presión referencia aspiración Po Ref (°C)	- 15,0	- 7,7	+ 7,3
Capacidad de compresores (%)	30,6	19,2	- 11,4
Capacidad calculada compresores (%)	31,6	25,0	- 6,6
Presión condensación Pc (°C)	35,4	23,2	- 12,2
Presión referencia condens. Pc Ref (°C)	40,0	24,1	- 15,9
Temperatura exterior S7 (°C)	15,8	15,1	- 0,7
Capacidad de condensadores (%)	6,3	21,5	+ 15,2
Capacidad calculada de condens. (%)	8,5	25,2	+ 16,7
Energía consumida (kWh)	4.292	3.118	- 1.174
Potencia eléctrica instantánea (kW)	26,0	18,7	- 7,3
Potencia Frig. total central (kW)	235,1	303,9	+ 68,8
Potencia Frig. instantánea central (kW)	67,7	56,5	- 11,2

4.3.1 Consumo Eléctrico

Durante la semana 1 la Energía consumida fue 4.292 kWh.

Durante la semana 2 la Energía consumida fue 3.118 kWh.

Con el sistema adaptativo con inyección electrónica y presiones flotantes, se consumieron 1.174 kWh menos, lo cual supone un ahorro del 37.6% en el consumo de energía.

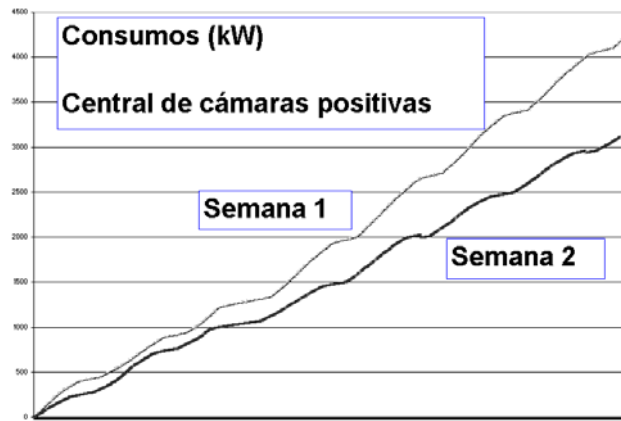


Figura 7. Consumo eléctrico Central Cámaras Positivas

4.3.2. Presión de aspiración

Durante la semana 1 la presión de aspiración fue $-16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Durante la semana 2 la presión de aspiración fue $-7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Con la optimización de la presión de evaporación se consiguió un incremento de $29,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, el cual provocará un menor desgaste y horas de funcionamiento de los compresores.

4.3.3. Presión de condensación

Durante la semana 1ª la presión de condensación fue de $35,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Durante la semana 2ª la presión de condensación fue de $23,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Con el sistema adaptativo con presión de evaporación flotante en función de la carga térmica y la temperatura exterior, se consigue reducir la presión de condensación en $12,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo cual provocará un menor desgaste y horas de funcionamiento de los compresores. Por otro lado se observa un aumento del tiempo de funcionamiento de ventiladores del 15%, lo cual se deberá tener en cuenta para posibles optimizaciones posteriores.

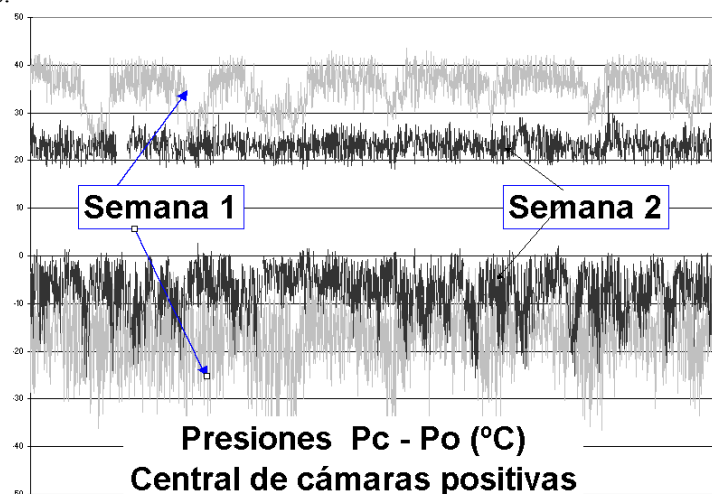


Figura 8. Presiones Evap. Condens. Central Cámaras Positivas

Consecuencia de evaporar mas alto y condensar mas bajo, la potencia frigorífica asociada a la central frigorífica aumenta 69kW (29%)

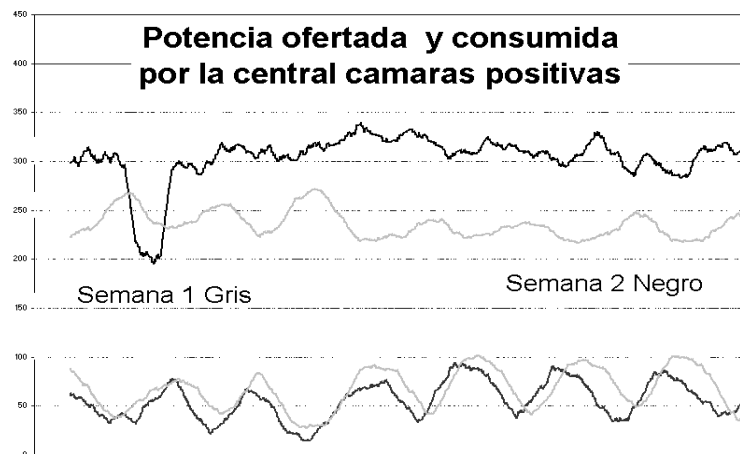


Figura 9. Potencias Central Cámaras Positivas

5. Conclusiones

5.1 Consumo Eléctrico

Con el sistema adaptativo con inyección electrónica y presiones flotantes **EC2**, se consumieron menos kWh, lo cual supone un ahorro entre el 25% y 53% en el consumo de energía. La tecnología de compresión tiene cierta influencia.

5.2 Potencia frigorífica de las centrales

Consecuencia de las presiones flotantes evaporando mas alto y condensando mas bajo, la potencia frigorífica asociada a la central frigorífica aumenta considerablemente entre un 20 y 50% con la estrategia de control **EC2**, lo cual se traduce en una posibilidad de incremento de servicios sin obras en la central de compresores.

5.3 Presión de aspiración

Con la optimización de la presión de evaporación **EC2** se consiguió un incremento de varios °C, el cual provocará un menor desgaste y horas de funcionamiento de los compresores.

5.4 Presión de condensación

Con el sistema adaptativo con presión de condensación flotante en función de la carga térmica y la temperatura exterior **EC2**, se consigue reducir la presión de condensación en mas de 10°C, lo cual provocará un menor desgaste y horas de funcionamiento de los compresores.

El aumento del tiempo de funcionamiento de ventiladores entre el 15 y 50% se deberá tener en cuenta para posibles optimizaciones y trabajos posteriores.