

iENER'18

I Congreso Ingeniería Energética



OPTIMIZACIÓN DE LA PARCIALIZACIÓN DE 2 ENFRIADORAS EN UNA INSTALACIÓN DE FRÍO PARA PROCESO: POTENCIAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ANÁLISIS DE INVERSIÓN

Rafael Pérez Cortines, CEM, CEA, CMVP.



www.aeespain.org

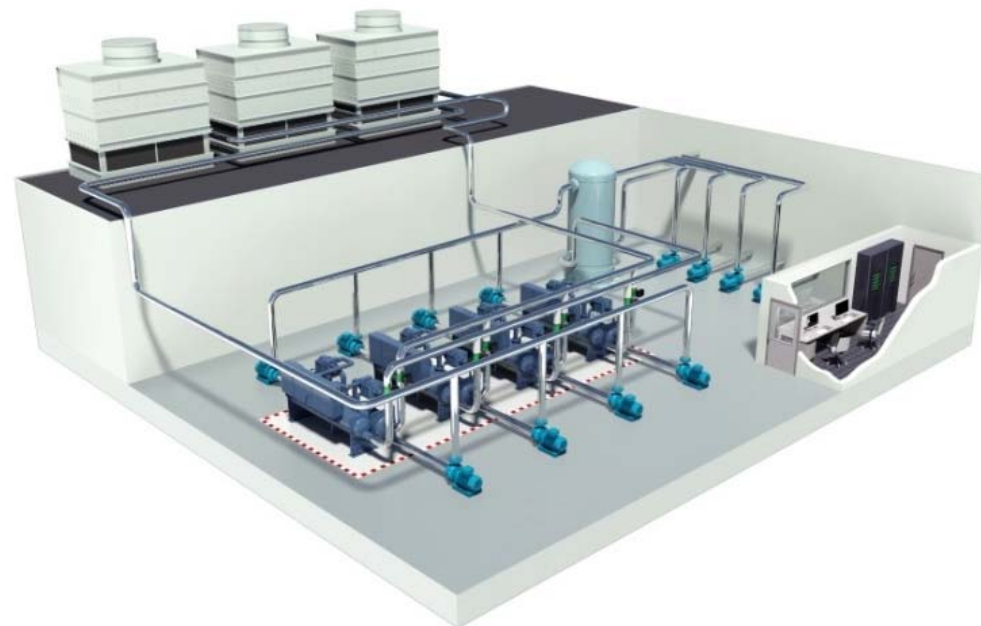


Fundación de la Energía
de la Comunidad de Madrid

www.fenercom.com

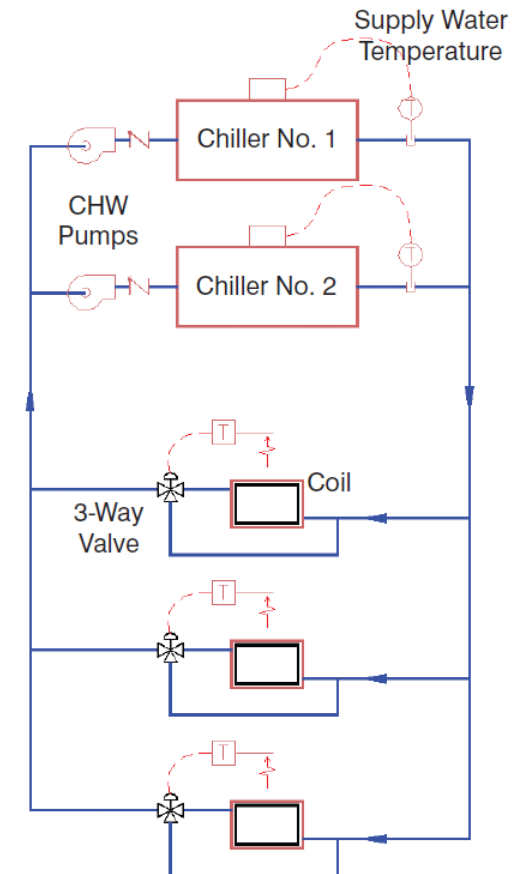
Índice

- 1** INTRODUCCIÓN
- 2** DATOS
- 3** METODOLOGÍA
- 4** RESULTADOS
- 5** CONCLUSIONES



1. INTRODUCCIÓN

- Edificio I+D en Bélgica
- Carga de proceso, disponibilidad 24/7
- 2 x Enfriadoras aire-agua 300 kW Daikin EWAD300DXS
- Solo primario
- Caudal constante



Representación simplificada del esquema de principio de la instalación

1. INTRODUCCIÓN

- Con sistema de monitorización Daikin on Site (DoS)
- Sin sistema de gestión de la parcialización → diferentes puntos de consigna temperatura agua impulsión
- Estudio del impacto del sistema de control intelligent Chiller Manager (iCM) como medida de ahorro energético (MAE)



 **intelligent Chiller Manager**

2. DATOS

- Fuente de datos:
 - (1) Chiller Selection Software (CSS)
 - (2) Contador energético de la instalación (CE)
 - (3) Daikin on Site (DoS)

| Objetivo | Fuente de Datos | Período de medida | Inicio | Fin | Días | Registros |
|----------------------------------|-----------------|-------------------|------------------|------------------|------|-----------|
| Desarrollo de los Modelos | CSS | n/a | n/a | n/a | n/a | 600 |
| Validación modelos de simulación | CE/DoS | Período 1 | 13/06/2017 11:00 | 16/06/2017 17:43 | 3.3 | 4,724 |
| | | Período 2 | 19/06/2017 10:45 | 23/06/2017 11:15 | 4.4 | 5,791 |
| Estimación ahorro energético | DoS | Período 3 | 21/07/2017 00:00 | 18/06/2018 00:00 | 332 | 417,192 |

2. DATOS

- Fuente de datos:

(1) Chiller Selection Software (CSS)



Extracto de datos del CSS para la obtención de los modelos de regresión del EER y PI

| PLR [%] | EEWT [°C] | ELWT [°C] | OAT [°C] | EER [adim] | PI [kW] |
|------------|--------------|--------------|-------------|---------------|------------|
| 100 | 12 | 5 | 10 | 5.13 | 60.88 |
| 90 | 11.3 | 5 | 10 | 4.85 | 58.05 |
| 80 | 10.6 | 5 | 10 | 4.67 | 53.55 |
| 70 | 9.9 | 5 | 10 | 4.53 | 48.32 |
| 60 | 9.2 | 5 | 10 | 4.11 | 45.69 |
| 50 | 8.5 | 5 | 10 | 4.1 | 38.09 |
| 40 | 7.8 | 5 | 10 | 4.77 | 26.26 |
| 30 | 7.1 | 5 | 10 | 3.62 | 25.93 |
| 20 | 6.4 | 5 | 10 | 3.8 | 16.43 |
| 13 | 5.7 | 5 | 10 | 3.21 | 12.35 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

(2) Contador energético de la instalación (CE)



Lectura manual proporcionada por el usuario



2. DATOS

- Fuente de datos:

- (3) Daikin on Site (DoS)

Se eliminan los datos de ambas enfriadoras en las que al menos una de ellas perdía comunicación con la plataforma en algún instante, reduciendo así el número de registros un 12.7%.



Extracto del período 3 de medida

| Your time | Chiller1- PLR[%] | Chiller1- EEWT[°C] | Chiller1- OAT[°C] | Chiller2- PLR[%] | Chiller2- EEWT[°C] | Chiller2- OAT[°C] |
|------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| 22/07/2017 14:33 | 16 | 9.3 | 18.7 | 50 | 9.8 | 18.4 |
| 22/07/2017 14:34 | 16 | 9.3 | 18.7 | 50 | 9.4 | 18.4 |
| 22/07/2017 14:35 | 16 | 9.3 | 18.7 | 50 | 9.4 | 18.4 |
| 22/07/2017 14:36 | 6 | 8.9 | 18.6 | 50 | 9.0 | 18.4 |
| 22/07/2017 14:37 | 6 | 8.4 | 18.6 | 50 | 9.0 | 18.4 |

3. METODOLOGÍA

- Desarrollo de los modelos de simulación
 - EER Ratio de eficiencia energética
 - PI [kW] Consumo eléctrico de la enfriadora (compresores y ventiladores)
 - PLR [%] Estado de carga del compresor
 - EEWT [°C] Temperatura del agua de retorno a la entrada del evaporador
 - OAT [°C] Temperatura del aire de condensación

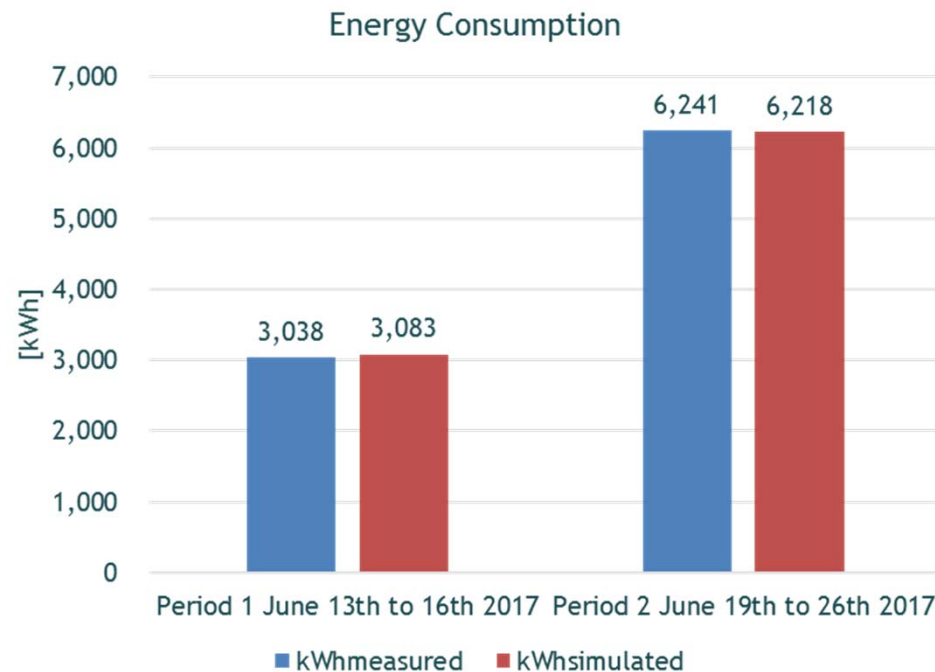
$$EER = C_0^{EER} + C_1^{EER} \cdot PLR + C_2^{EER} \cdot EEWT + C_3^{EER} \cdot OAT + C_4^{EER} \cdot PLR \cdot EEWT + C_5^{EER} \cdot PLR \cdot OAT$$

$$PI = C_0^{PI} + C_1^{PI} \cdot EER + C_2^{PI} \cdot PLR + C_3^{PI} \cdot PLR \cdot EEWT + C_4^{PI} \cdot PLR \cdot OAT$$

| Modelo | C_0 | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 |
|--------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|
| EER | 2.28975 | 0.05542 | 0.21505 | -0.05165 | -0.00377 | -0.00029 |
| PI | 17.64990 | -4.77219 | 0.88022 | -0.02152 | 0.00764 | |

3. METODOLOGÍA

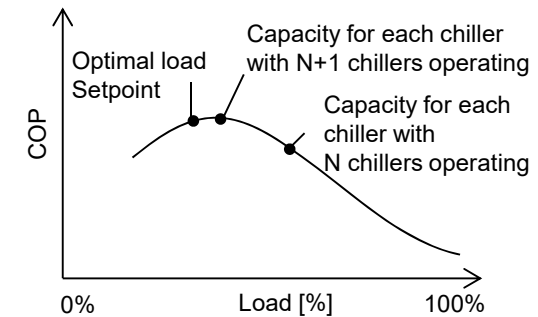
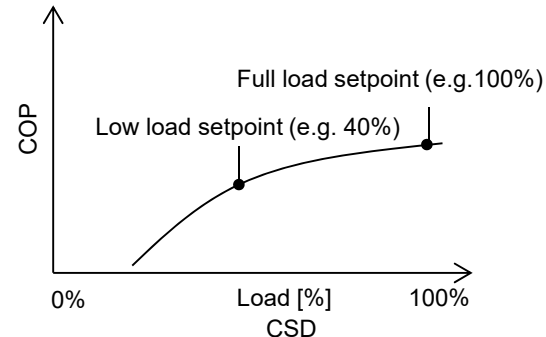
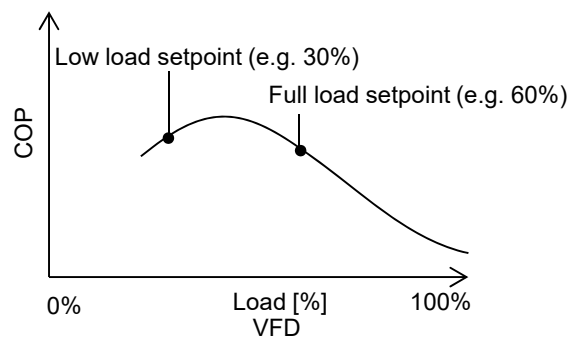
- Validación de los modelos de simulación



| Energy Consumption | kWh _{measured} | kWh _{simulated} | Deviation Simulated vs Measured | Deviation Measured vs Simulated |
|---|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Period 1 June 13 th to 16 th 2017 | 3,038 | 3,083 | 1.47% | -1.45% |
| Period 2 June 19 th to 23 rd 2017 | 6,241 | 6,218 | -0.36% | 0.36% |

3. METODOLOGÍA

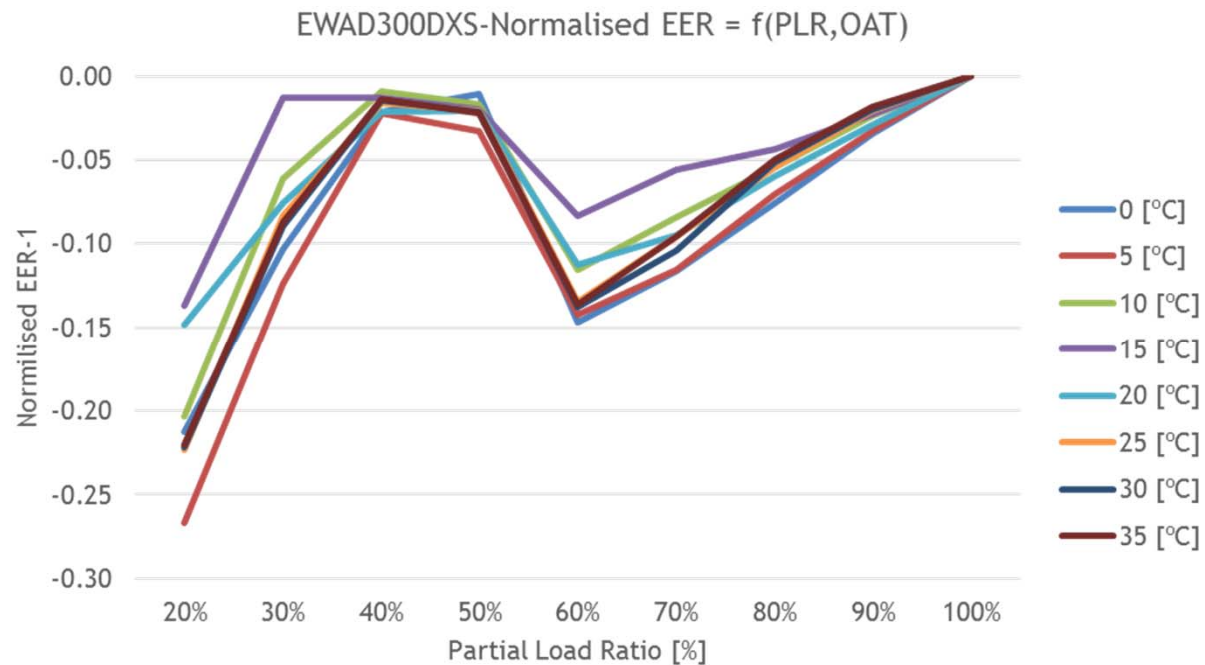
- Estimación del potencial de ahorro energético y de mejora del índice de eficiencia energética estacional



$$\text{Max} (EER_{PLR}^{\text{Chiller1}}, EER_{PLR}^{\text{Chiller2}}, EER_{PLR/2}^{\text{Chiller 1\&2}})$$

3. METODOLOGÍA

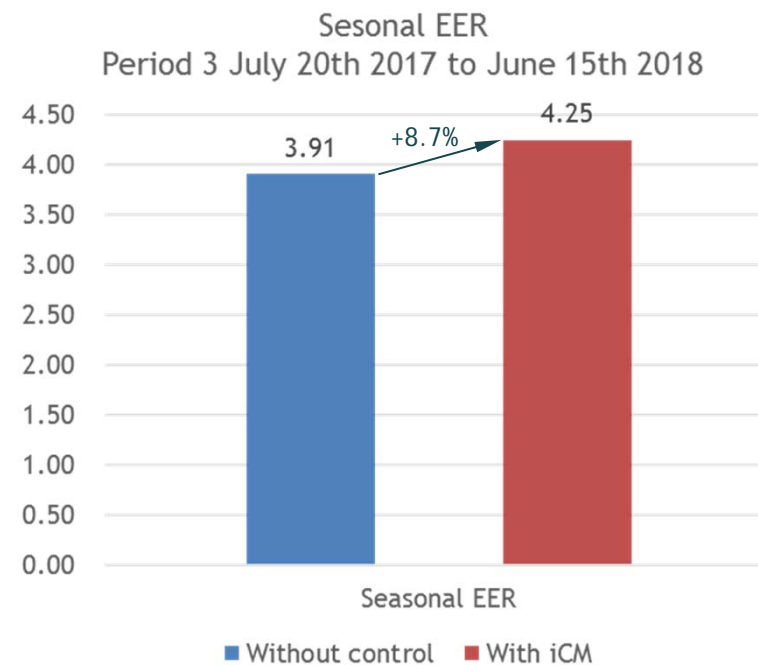
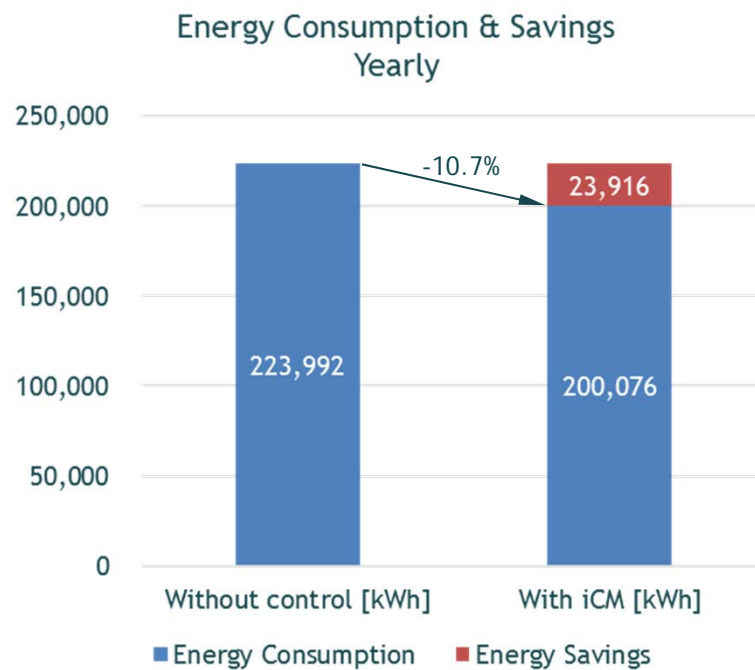
- Estimación del potencial de ahorro energético y de mejora del índice de eficiencia energética estacional



| | 2xCh | 1xCh | 2xCh | 1xCh | 2xCh | 1xCh | 2xCh | 1xCh |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| PLR | 20% | 40% | 30% | 60% | 40% | 80% | 50% | 100% |
| Normalised EER-1 | -0.20 | -0.02 | -0.08 | -0.13 | -0.02 | -0.06 | -0.02 | 0.00 |

3. METODOLOGÍA

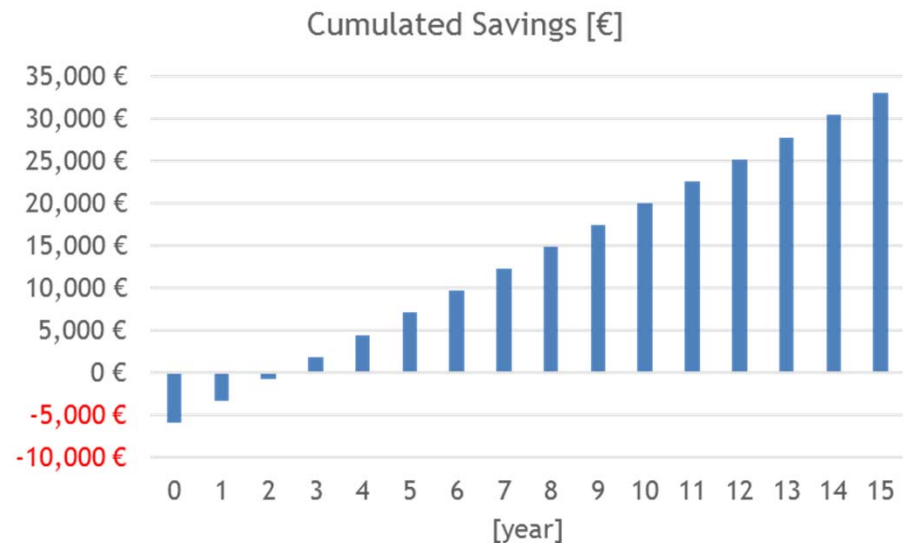
- Estimación del potencial de ahorro energético y de mejora del índice de eficiencia energética estacional



3. METODOLOGÍA

- Análisis de inversión

| Year | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| iCM | -5,975 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Energy Savings | | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 |
| Maintenance | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Repairing | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total | -5,975 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 | 2,593 |



| | | |
|--|---------|-----------|
| Minimum Acceptable Rate of Return (MARR) | [%] | 7.8% |
| Energy Consumption | [kWh] | 223,997 |
| Energy Price | [€/kWh] | 0.10841 |
| Energy Cost | [€/y] | -24,284 € |
| Energy Savings | [%] | 10.7% |
| Energy Savings | [€/y] | 2,593 € |

3. METODOLOGÍA

- Análisis de inversión

| | | |
|-------------------------------|-----|----------|
| Initial Investment | [€] | -5,975 € |
| Net Present Value (NPV) | [€] | 16,450 € |
| Internal Rate of Return (IRR) | [%] | 43.2% |
| Simple Payback Time (SPT) | [y] | 2.3 |

| Energy Savings | NPV | IRR | SPT |
|----------------|----------|-------|------|
| 1% | -3,875 € | -5.6% | 24.6 |
| 2% | -1,775 € | 2.6% | 12.3 |
| 3% | 326 € | 8.7% | 8.2 |
| 4% | 2,426 € | 14.0% | 6.2 |
| 5% | 4,526 € | 18.8% | 4.9 |
| 6% | 6,626 € | 23.3% | 4.1 |
| 7% | 8,727 € | 27.7% | 3.5 |
| 8% | 10,827 € | 32.0% | 3.1 |
| 9% | 12,927 € | 36.2% | 2.7 |
| 10% | 15,028 € | 40.4% | 2.5 |
| 11% | 17,128 € | 44.5% | 2.2 |
| 12% | 19,228 € | 48.6% | 2.1 |
| 13% | 21,329 € | 52.7% | 1.9 |
| 14% | 23,429 € | 56.8% | 1.8 |
| 15% | 25,529 € | 60.9% | 1.6 |
| 16% | 27,629 € | 65.0% | 1.5 |
| 17% | 29,730 € | 69.1% | 1.4 |
| 18% | 31,830 € | 73.1% | 1.4 |
| 19% | 33,930 € | 77.2% | 1.3 |
| 20% | 36,031 € | 81.3% | 1.2 |

4. RESULTADOS

- Estimación de ahorros
 - Energéticos 23,916 [kWh/año]
 - Económicos de 2,593 [€/año]
 - 10.7% anual
- Mejora del EER estacional
 - Aumento del 8.7%, del 3.91 al 4.25.
- Económico-financieros
 - Valor Actual Neto (VAN) de 16,450 €
 - Tasa Interna de Retorno (TIR) del 43.2%
 - Período de Retorno Simple de (PRS) de 2.3 [años]
 - Inversión inicial necesaria de 5,975€.





5. CONCLUSIONES

- MAE aconsejable en térmicos energéticos y económico-financieros
- Proyecto retador
 - Sin mucho margen de mejora por la característica de las curvas
 - Solo dos enfriadoras
 - Enfriadoras de tamaño mediano
- Sin contadores energéticos (salvo validación de modelos)
 - abre la posibilidad a abordar proyectos que no dispongan de ellos inicialmente.
- Beneficios adicionales
 - aumento de la vida útil de los equipos al ecualizar sus horas de funcionamiento a lo largo del año
 - incremento de la estabilidad del sistema al operar los equipos coordinadamente

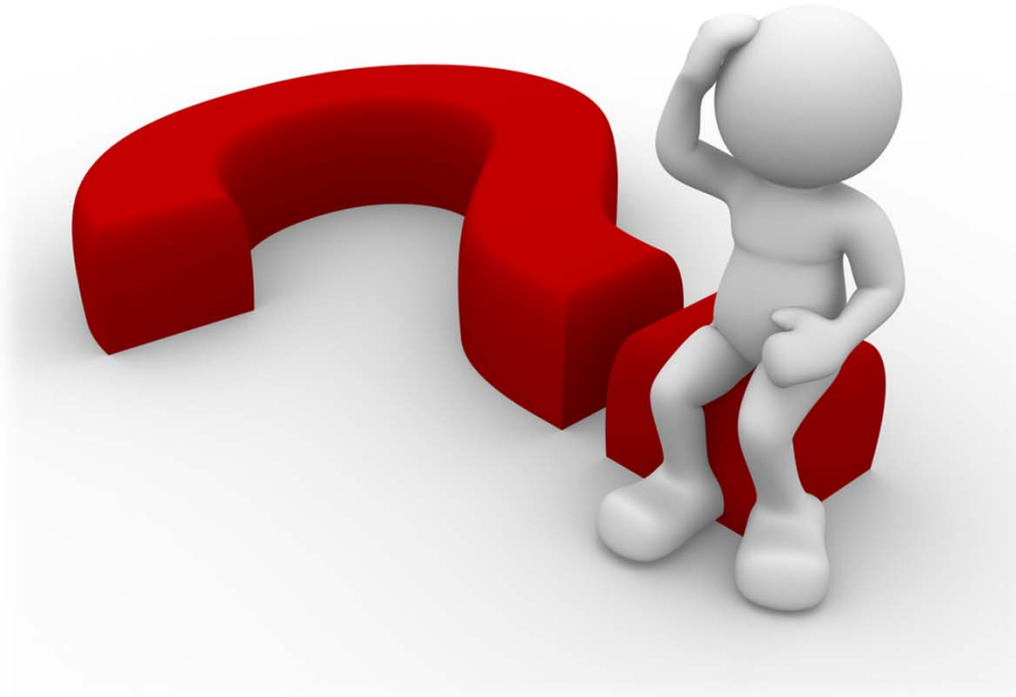


5. CONCLUSIONES

- Limitaciones del presente trabajo
 - Validación de modelos de simulación de las enfriadoras con lecturas aportadas por usuario final
 - Estimación anual basada en período de medida 3, representa el 94.9% de los datos anuales, se ha extrapolado el 5.1%
 - Se obvia el impacto de los períodos transitorios



Q&A



iENER'18

I Congreso Ingeniería Energética



GRACIAS POR SU ATENCIÓN



www.aeespain.org



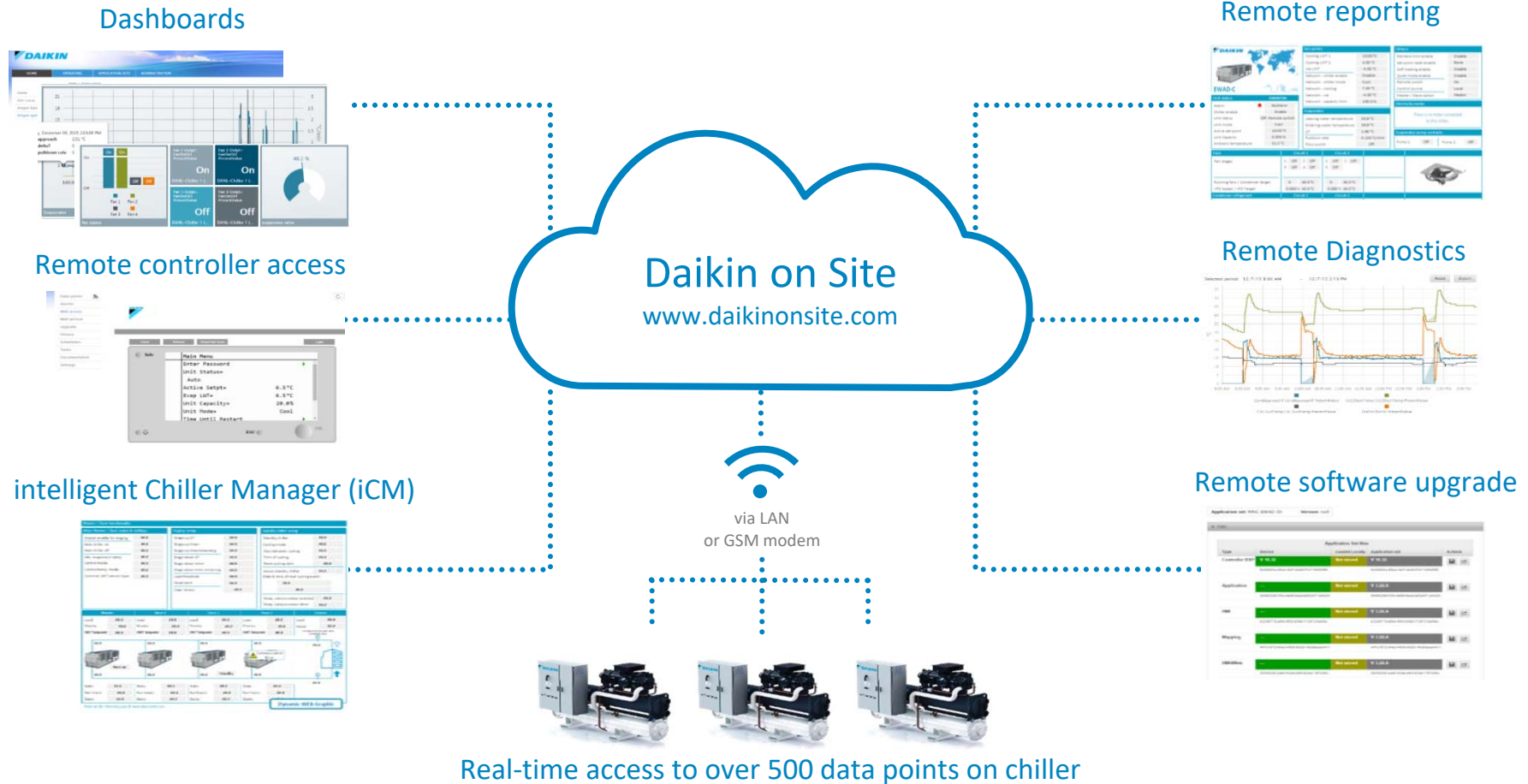
Fundación de la Energía
de la Comunidad de Madrid

www.fenercom.com

ADDENDUM



Daikin on Site



Modelo EER

SUMMARY OUTPUT EER Regression Model

| <i>Regression Statistics</i> | |
|------------------------------|------|
| Multiple R | 0.88 |
| R Square | 0.78 |
| Adjusted R Square | 0.77 |
| Standard Error | 0.33 |
| Observations | 600 |

| ANOVA | | | | | |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|
| | <i>df</i> | <i>SS</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>Significance F</i> |
| Regression | 5 | 227.34577 | 45.46915 | 413.20163 | 0.00000 |
| Residual | 594 | 65.36440 | 0.11004 | | |
| Total | 599 | 292.71017 | | | |

| | <i>Coefficients</i> | <i>Standard Error</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-value</i> | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> |
|-----------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|
| Intercept | 2.28975 | 0.19413 | 11.79508 | 0.00000 | 1.90849 | 2.67101 |
| PLR | 0.05542 | 0.00445 | 12.45788 | 0.00000 | 0.04668 | 0.06415 |
| EEWT | 0.21505 | 0.02071 | 10.38525 | 0.00000 | 0.17438 | 0.25571 |
| OAT | -0.05165 | 0.00431 | -11.98713 | 0.00000 | -0.06011 | -0.04319 |
| PLR*EEWT | -0.00377 | 0.00037 | -10.31539 | 0.00000 | -0.00448 | -0.00305 |
| PLR*OAT | -0.00029 | 0.00007 | -4.20558 | 0.00003 | -0.00043 | -0.00016 |



Modelo PI

SUMMARY OUTPUT

PI Regerssion Model

Regression Statistics

| | |
|-------------------|------|
| Multiple R | 1.00 |
| R Square | 0.99 |
| Adjusted R Square | 0.99 |
| Standard Error | 1.85 |
| Observations | 600 |

ANOVA

| | df | SS | MS | F | Significance F |
|------------|-----|---------------|--------------|--------------|----------------|
| Regression | 4 | 260,407.54132 | 65,101.88533 | 18,968.46959 | 0.00000 |
| Residual | 595 | 2,042.10580 | 3.43211 | | |
| Total | 599 | 262,449.64712 | | | |

| | Coefficients | Standard Error | t Stat | P-value | Lower 95% | Upper 95% |
|-----------|-----------------|----------------|------------------|---------|-----------------|-----------------|
| Intercept | 17.64990 | 0.62007 | 28.46458 | 0.00000 | 16.43212 | 18.86769 |
| EER | -4.77219 | 0.19204 | -24.84993 | 0.00000 | -5.14935 | -4.39503 |
| PLR | 0.88022 | 0.02532 | 34.76781 | 0.00000 | 0.83050 | 0.92994 |
| PLR*EEWT | -0.02152 | 0.00180 | -11.93545 | 0.00000 | -0.02507 | -0.01798 |
| PLR*OAT | 0.00764 | 0.00027 | 28.78743 | 0.00000 | 0.00712 | 0.00816 |