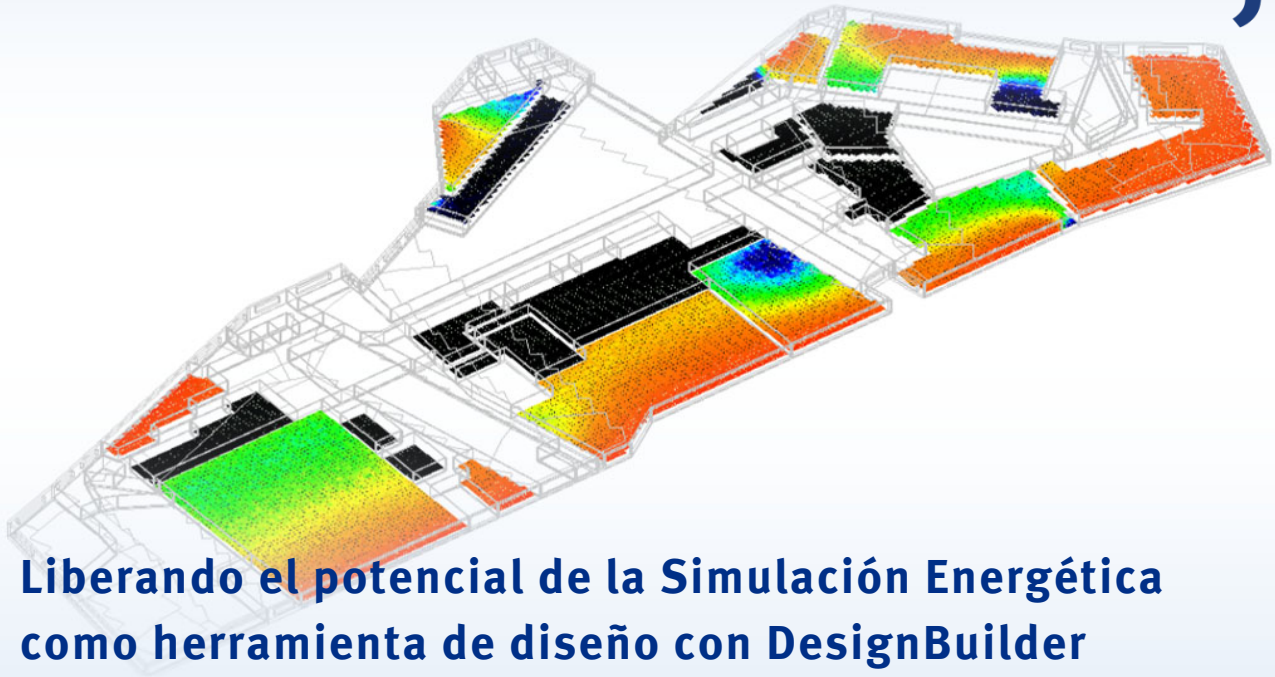




Liberando el potencial de la Simulación Energética como herramienta de diseño con DesignBuilder

PRIMERA PARTE | 01-2025 | Por Adela Casanova, Marta Montoliu y Albert Artús.

Introducción

El consumo energético de los edificios representa actualmente entre el 20% y el 40% del consumo energético global. En los edificios terciarios, aproximadamente el 43% de la energía se destina a la climatización de los espacios y a la producción de agua caliente sanitaria (ACS).

Además, la demanda de refrigeración sigue en aumento debido al calentamiento global y al crecimiento de economías emergentes en países cálidos. Esto ha llevado a que el consumo energético destinado al enfriamiento sea el que más ha crecido, una tendencia que se espera que continúe en los próximos años.



Para JG la reducción del consumo energético se ha convertido en un objetivo prioritario en el diseño de instalaciones sostenibles y eficientes. Bajo este contexto, los programas de simulación energética representan una herramienta fundamental para el proceso de diseño de edificios, más aún si el objetivo son edificios Net Zero. Esta metodología de diseño participa en las primeras etapas de diseño arquitectónico y de instalaciones, y evoluciona en paralelo durante toda la fase de diseño como ayuda a la toma de decisiones de cada aspecto que pueda afectar al consumo energético del edificio.

Objetivo

Desde hace unos años, se ha extendido el uso de motores de simulación como *DesignBuilder* (DB) para llevar a cabo estudios de simulación de comportamiento energético de los edificios. Sin embargo, algunos sistemas ampliamente utilizados en edificios terciarios que cumplen con la normativa actual no están previstos en el programa.

El objetivo de este documento es presentar una metodología para la modelización de tres sistemas tan comunes como: circuito de agua primario y secundario, bombas de calor 2 tubos conectadas a sistemas a 4 tubos, y recuperación de calor en plantas enfriadoras. De esta manera, el objetivo es obtener modelos realistas, que permitan evaluar el ahorro energético que estos sistemas generan, así como su impacto en la sostenibilidad y el confort de los espacios.

Por otro lado, un aspecto muy importante en cualquier tarea de modelado, especialmente cuando se están intentando encontrar soluciones alternativas a los sistemas que vienen por defecto en el programa, es establecer parámetros de verificación para asegurar que el programa esté calculando adecuadamente y los resultados sean coherentes. En este estudio presentamos también metodologías de validación para cada solución.

Muchas soluciones y metodologías de verificación que presentamos en este artículo requieren de algoritmos de programación que permite el propio programa través del módulo de scripting.

Para llevar a cabo el estudio hemos empleado la herramienta informática de simulación *DesignBuilder*, interfaz de Energy+. Esta herramienta permite llevar a cabo estudios de simulación del comportamiento energético de los edificios desde las etapas iniciales de conceptualización hasta las etapas finales de diseño.

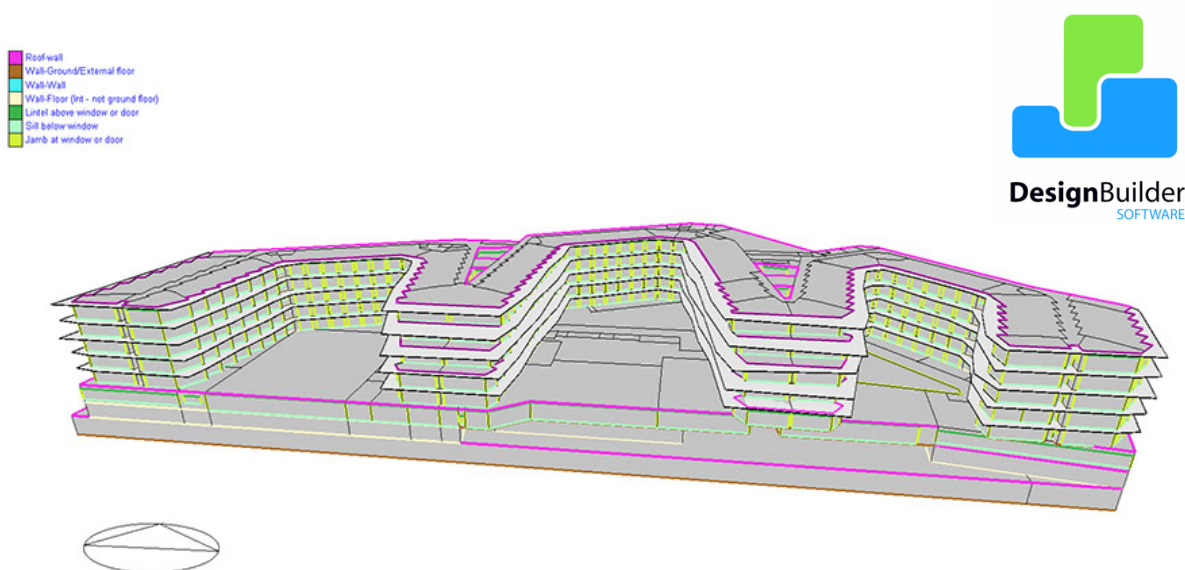


Figura 1: Simulación energética *DesignBuilder* - Proyecto nueva construcción Hotel Fórum (2025).

Modelización de una instalación con circuitos de agua primarios y secundarios

Para la distribución de agua fría o caliente desde los equipos de producción de energía (calderas, enfriadoras, bombas de calor) hasta los elementos terminales de climatización (fan-coils, inductores, climatizadores) se emplean dos configuraciones de circuitos hidráulicos: sistemas de circuito único y sistemas con doble circuito primario-secundario.

Los sistemas con circuito único son adecuados para instalaciones sencillas y homogéneas. Pero en edificios más complejos se utiliza muy a menudo el sistema primario-secundario.

En esta configuración el sistema primario circula agua entre los equipos de producción y los colectores de distribución, mientras que el secundario circula el agua entre el colector de distribución y los elementos terminales.

Esta solución tiene desde el punto de vista energético y de funcionamiento las siguientes ventajas:

- 1. Eficiencia Energética:** cada circuito (primario y secundario) puede operar de forma independiente y reducir el consumo de bombeo significativamente, gracias a un mejor rendimiento de las bombas, mejor ajuste a la demanda de los elementos terminales y su reducción del caudal mínimo de bombeo. Aunque también puede llegar a configurarse un único primario a caudal variable asegurando un caudal mínimo requerido por cada equipo de producción, este valor siempre será superior al necesario en los equipos terminales.
- 2. Estabilidad operativa:** mayor control de los parámetros térmicos (temperatura de los circuitos) y presión. Permite tener dos circuitos secundarios a temperaturas de trabajo distintas, como por ejemplo climatizadores y suelo radiante/ inductores.

Sin embargo, al modelar este tipo de instalación en *DesignBuilder*, surge una limitación importante: el software no incluye un modelo específico para la simulación de circuitos primarios y secundarios. En su lugar, solo permite un único circuito de bombeo, que dista mucho del funcionamiento real de la instalación.

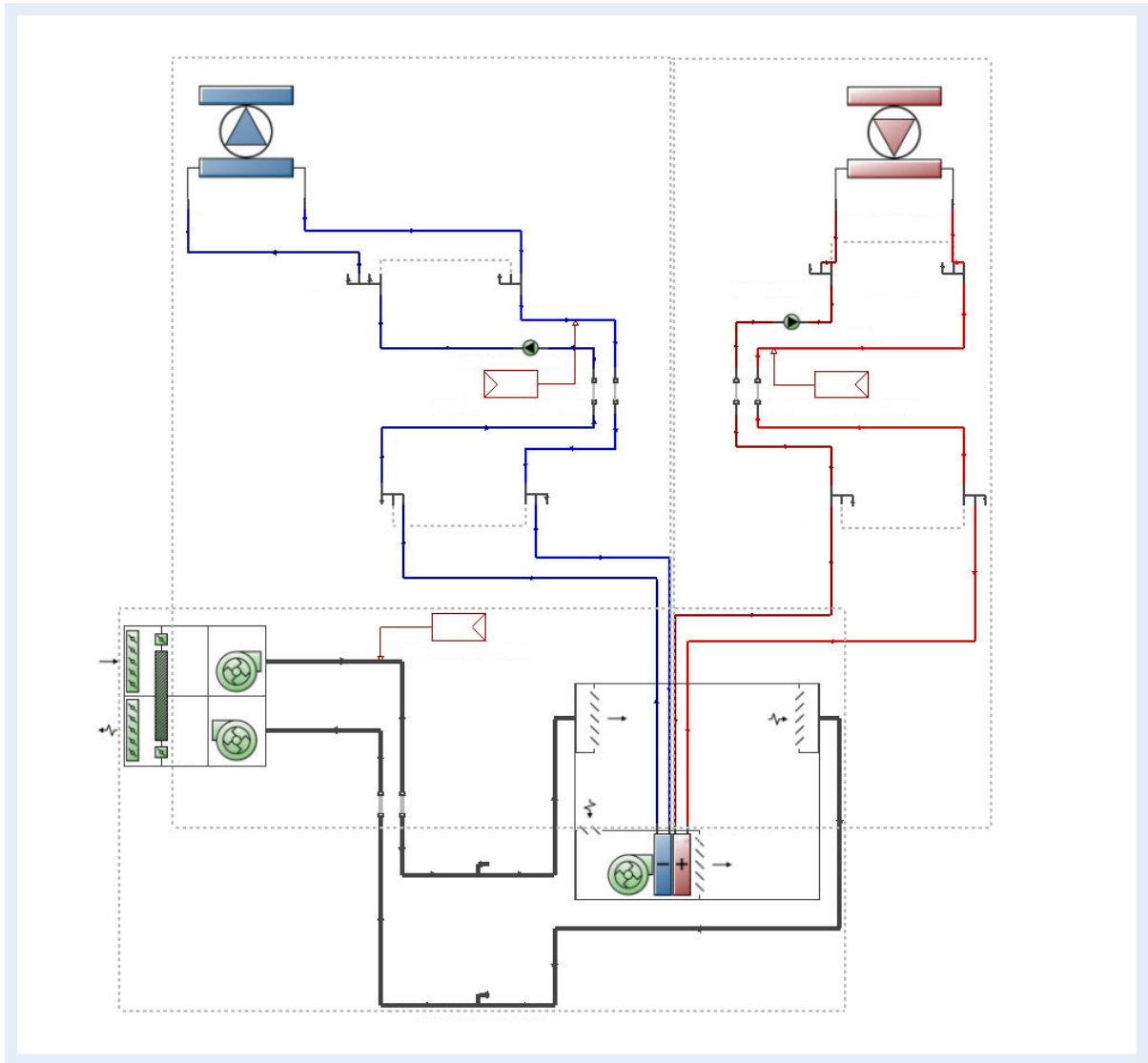


Figura 2: Esquema circuito primario para frío y calor.

Una opción para simular el sistema primario-secundario sería intentar generar una bomba única equivalente en el esquema propuesto por DB, que incluyera los caudales y pérdidas de carga tanto del primario como del secundario. Según nuestra experiencia, esta aproximación suele resultar en un cálculo impreciso del consumo cuando la instalación está funcionando a cargas parciales.

Para resolver esta situación, proponemos el modelo representado en la figura 2. Este incluye un intercambiador de calor ideal entre los circuitos primario y secundario, que actúa como el colector de distribución. Esta configuración permite modelar de forma independiente las bombas de cada circuito, representando el sistema real con más precisión.

El ejemplo presentado corresponde a un sistema compuesto por un circuito primario con una bomba de calor y una planta enfriadora, conectadas a dos circuitos secundarios: uno destinado a alimentar las baterías de los fan coils y otro a las baterías de los climatizadores. Este modelo es escalable, lo que permite añadir tantos circuitos primarios y secundarios como sean necesarios, adaptándose a las necesidades específicas de cada proyecto.

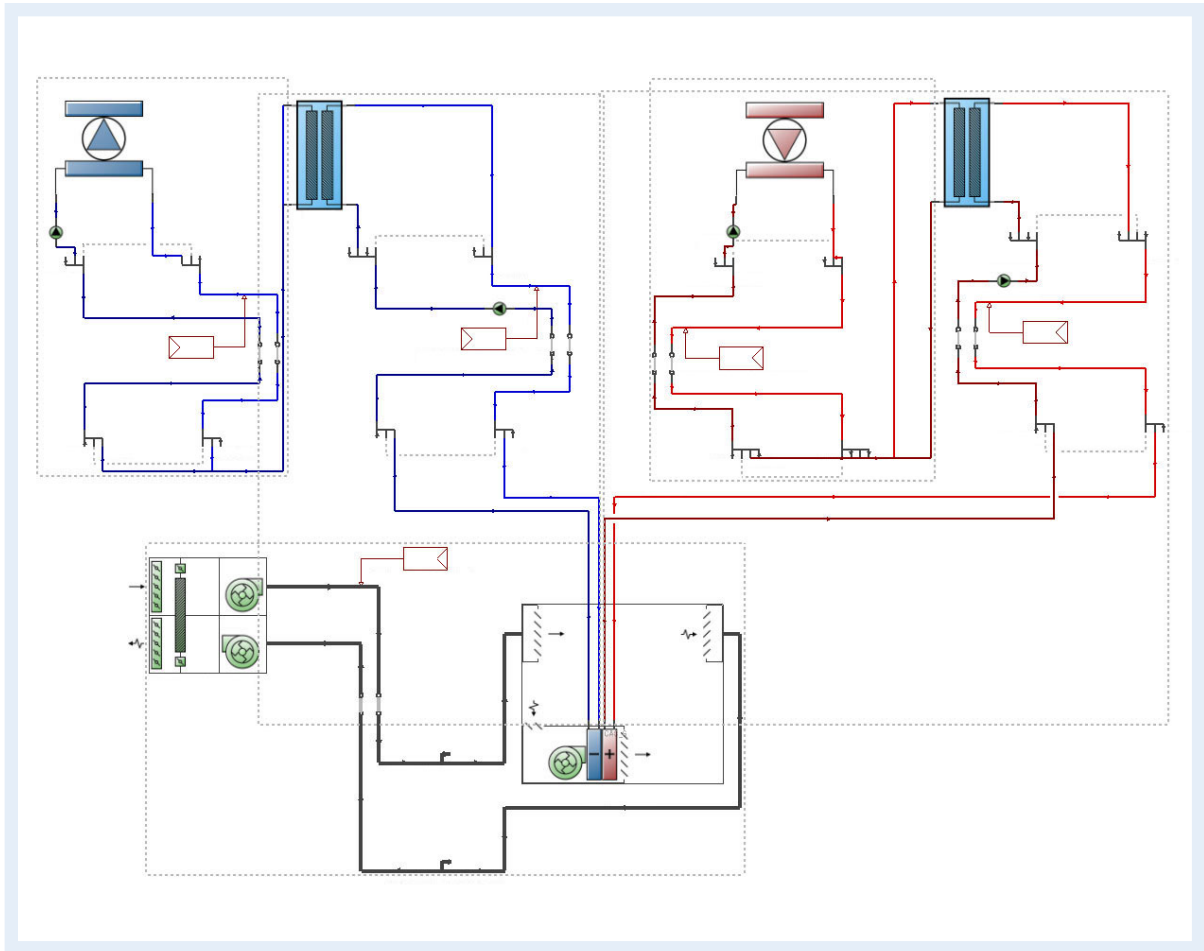


Figura 3: Esquema circuito primario y secundario para frío y calor.

A partir de este esquema de modelado es posible establecer circuitos de caudal constante y caudal variable, gracias a la clara separación de las bombas de recirculación. Para ello, basta con definir el tipo de circuito (caudal constante o variable), el tipo de bomba de recirculación (caudal constante o variable) y el caudal mínimo correspondiente.

La configuración más común de este sistema consiste en el uso de bombas de velocidad constante en el circuito primario y de velocidad variable en el circuito secundario. Sin embargo, cada vez más se están empezado a implementar bombas de caudal variable también en el circuito primario, reduciendo considerablemente el consumo asociado al bombeo en el edificio. Con la metodología de modelado propuesta resulta posible implantar estos modos de funcionamiento, considerando:

- Caudal mínimo en el primario: 50% del caudal nominal de los equipos (restricción fabricante).
- Caudal mínimo en el secundario: 10% del caudal de diseño.

A continuación, presentamos los resultados de los caudales en las bombas para el circuito primario y secundario, en las siguientes configuraciones:

1. Circuito primario a caudal constante y secundario a caudal variable.
2. Circuito primario y secundario a caudal variable.

Como se puede ver en las figuras 3 y 4, en ambos casos, se han respetado los caudales mínimos establecidos.

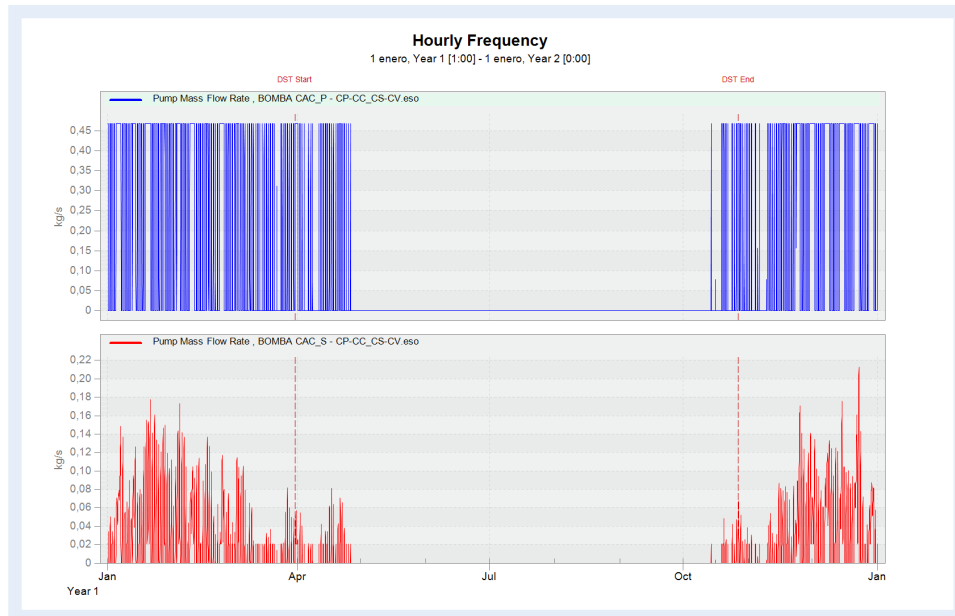


Gráfico 1: Resultados horarios de simulación con un circuito primario de calor a caudal constante, circuito secundario a caudal variable.

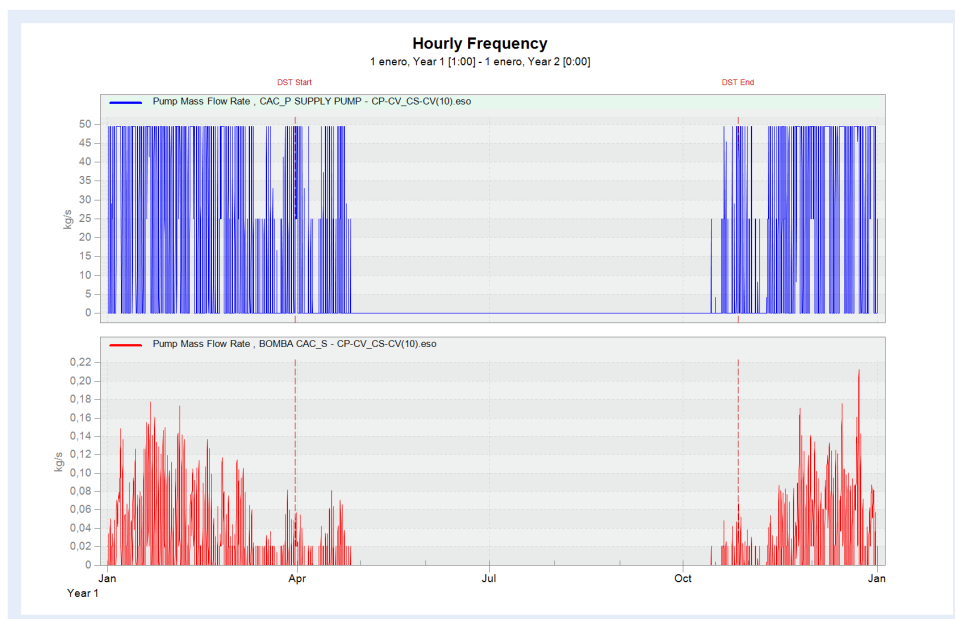


Gráfico 2: Resultados horarios de simulación con un circuito primario y secundario de calor a caudal variable.

Verificación del modelo

Para verificar el correcto funcionamiento del modelo de circuito primario y secundario se puede verificar el caudal de las bombas (Heat Pump Load Side Mass Flow Rate) a través del siguiente script:

```
Output:Variable, *, Pump Mass Flow Rate, Hourly;
```

Además, para comprobar que el resto del sistema funciona correctamente, los resultados que habría que revisar son el consumo de cada una de las bombas y las temperaturas de los circuitos.

Modelización de una instalación con bomba de calor aire-agua 2 tubos para un sistema 4 tubos

Una bomba de calor 2 tubos es un sistema de climatización que utiliza un único circuito hidráulico para proporcionar calefacción o refrigeración, según la demanda del edificio. En esta configuración, el agua fría o caliente se distribuye de manera alternada, lo que la hace adecuada únicamente para aplicaciones donde no se requieran ambas funciones al mismo tiempo.

En contraste con las bombas de calor 4 tubos (bomba de calor polivalente), que ofrecen mayor capacidad de adaptación, las bombas 2 tubos son más compactas y requieren menos mantenimiento. DB permite modelar bombas de calor a 2 tubos con un circuito a 2 tubos. Lo que proponemos es modelar una bomba de calor aire-agua a 2 tubos para un circuito a 4 tubos que permita dar frío y calor de forma simultánea.

Una alternativa frecuentemente usada es instalar dos bombas de calor a 2 tubos en un sistema a 4 tubos, donde los circuitos de agua caliente y fría están separados. Esta solución permite operar las bombas en diversos modos, ajustándose a las necesidades del edificio: ambas en modo de refrigeración, ambas en calefacción o una en cada modo.

DesignBuilder, por defecto, solo permite modelar bombas de calor para calefacción y refrigeración por separado. Para simular un sistema de 2 bombas de calor a 2 tubos conectadas a un sistema a 4 tubos, se propone la solución de la figura 5, donde una bomba de calor de refrigeración y calefacción representa la función combinada de una única bomba en la realidad.

El principal inconveniente es que *DesignBuilder* gestiona los elementos por separado y solo permite asignarles prioridades, lo que puede ocasionar que una misma bomba de calor funcione simultáneamente en modo frío y calor, algo inviable en esta tipología de equipos. Para mejorar el control del sistema HVAC, es necesario utilizar el módulo de scripting, que ofrece un control más avanzado

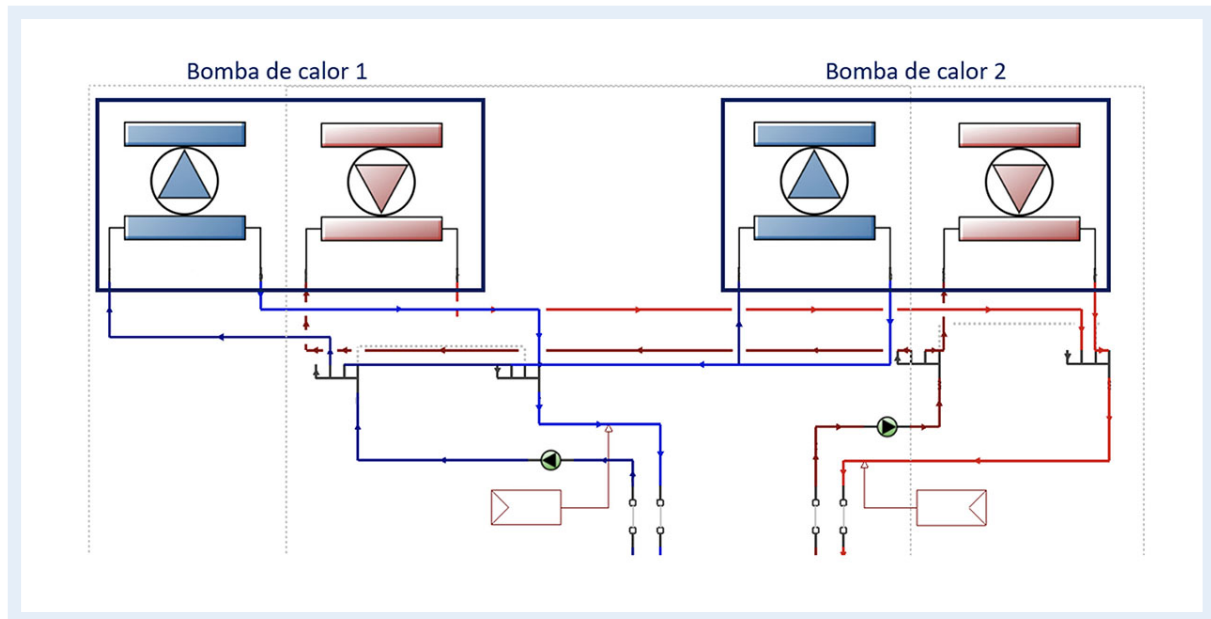


Figura 4: Esquema de modelado de una bomba de calor 2 tubos conectada a un sistema 4 tubos.

El script que resuelve esta situación incluye:

- Sensores: miden la demanda de calefacción y refrigeración de los circuitos de agua caliente y frío en todo momento.
- Actuadores: representan “interruptores” de funcionamiento de los modos de las bombas de calor. Se pueden encontrar en modo On/Off.
- Programa (lógica): usando los elementos anteriores se ha llevado a cabo la lógica de control del sistema a 4 tubos considerando los distintos escenarios que se pueden dar en el edificio.

Demanda Calor	Demanda Frío	BC1	BC2
0	0	0	0
0	$> 0.1 \cdot \text{CRBC2}$	0	1
0	$> 0.8 \cdot \text{CRBC2}$	1	1
$> 0.1 \cdot \text{CCBC1}$	0	1	0
$> 0.8 \cdot \text{CCBC1}$	0	1	1
> 0	> 0	1	1

Tabla 1: Lógica de funcionamiento de un sistema a 4 tubos.

CCBC1: capacidad de calefacción bomba de calor 1.

CRBC2: capacidad de refrigeración bomba de calor 2.

La lógica de control determina el funcionamiento de cada bomba según su capacidad de refrigeración/calefacción y la demanda general de frío y calor del edificio. También, prioriza que cada bomba de calor opere en un modo específico (frío o calor) para evitar cambios de régimen frecuentes que puedan afectar su rendimiento a largo plazo. En este caso, la bomba 2 trabaja

prioritariamente en modo frío y la bomba 1 en modo calor. Sin embargo, si, por ejemplo, la demanda de frío supera la capacidad de la bomba 2, la bomba 1 se activaría para cubrir la necesidad, siempre que no haya demanda de calefacción en el edificio. De esta manera se puede simular un formato de control más realista que proporcione unos resultados más adecuados de la simulación.

En el caso de una bomba de calor polivalente (4 tubos) a un circuito a 4 tubos (es decir que pudiera dar la misma bomba frío y calor a la vez), *DesignBuilder* tampoco permite su modelización de forma directa. No obstante, se podría utilizar la misma configuración presentada para la bomba de calor de 2 tubos, sin necesidad de limitar su funcionamiento “frío o calor” a través de la lógica de control presentada e incluyendo recuperación total de calor en los equipos.

Verificación del modelo

Para verificar que el sistema funciona adecuadamente, es necesario realizar diversas comprobaciones. En primer lugar, se debe asegurar que una misma bomba de calor no opere simultáneamente en modo frío y calor. Esto puede comprobarse fácilmente mediante los consumos, cuyos resultados en el programa son los siguientes:

- Heat Pump Electricity Rate [W].

Este dato debe verificarse para cada bomba de calor, tanto en modo frío como en modo calor, con el fin de asegurar que no se activen simultáneamente. En la figura 6 se presenta un ejemplo del funcionamiento de la bomba de calor 1, que opera principalmente en modo calefacción. Sin embargo, durante el verano, su función se cambia a modo refrigeración para complementar la operación de la bomba de calor 2.

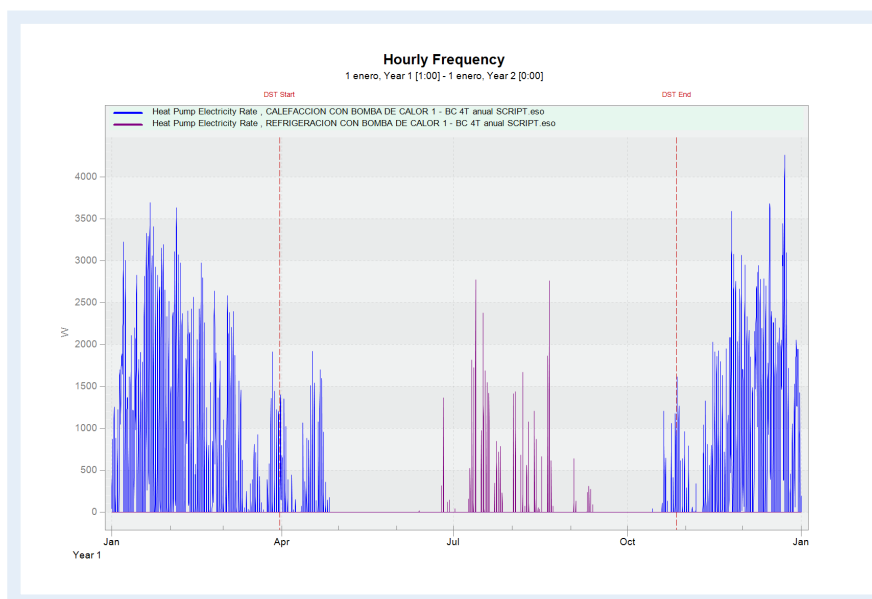


Gráfico 3: Resultados horarios de simulación comprobando la no simultaneidad de calefacción/refrigeración de una bomba de calor 2 tubos.

Además, se debería comprobar el rendimiento de los equipos. Para ello, dado que DesignBuilder no proporciona directamente este resultado para las bombas de calor, habría que obtener, mediante el módulo de script, los siguientes resultados a nivel horario:

- Heat Pump Electricity Rate [W]

Output:Variable, *, Heat Pump Electricity Rate, Hourly;

- Heat Pump Load Side Mass Flow Rate [kg/s]

Output:Variable, *, Heat Pump Load Side Mass Flow Rate, Hourly;

- Heat Pump Load Side Inlet Temperature [$-\infty$ C]

Output:Variable, *, Heat Pump Load Side Inlet Temperature, Hourly;

- Heat Pump Load Side Outlet Temperature [$-\infty$ C]

Output:Variable, *, Heat Pump Load Side Outlet Temperature, Hourly;

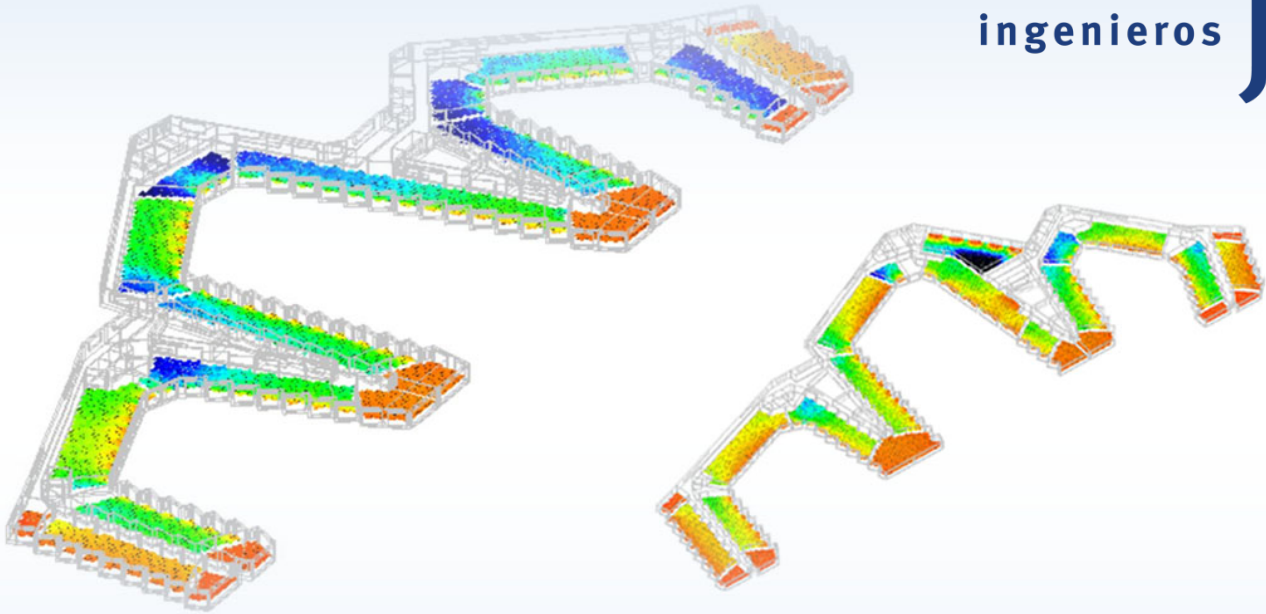
Para el cálculo del COP a nivel horario:

$$\text{COP} = \frac{Q[\text{W}]}{\text{Electricity energy} [\text{W}]}$$

$$Q[\text{W}] = \dot{m} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \cdot 4186 \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right] \cdot (T_{out} - T_{in}) [^\circ\text{C}]$$



Modelización de una instalación de planta enfriadora con recuperación de calor.
Presentaremos esta solución en un segundo estudio que será publicado próximamente.



Liberando el potencial de la Simulación Energética como herramienta de diseño con DesignBuilder

SEGUNDA PARTE | 02-2025 | Por Adela Casanova, Marta Montoliu y Albert Artús.

Introducción

En la primera parte de este estudio se presentó la solución para incorporar sistemas de instalaciones alternativos en el motor de *DesignBuilder*: circuito de agua primario y secundario (a caudal constante y caudal variable) y bombas de calor 2 tubos conectadas a sistemas a 4 tubos. En esta segunda parte se presenta la estrategia para la programación y verificación de un tercer sistema: recuperación de calor total y parcial en plantas enfriadoras.



Modelización de una instalación de planta enfriadora con recuperación de calor

Una enfriadora con recuperador de calor es un tipo de sistema que no solo proporciona agua fría para refrigeración, sino que también utiliza el calor residual disipado en el condensador del ciclo frigorífico. Este calor recuperado puede ser utilizado para climatizar espacios haciendo de soporte a los equipos de calefacción, para un precalentamiento del ACS o bien para procesos de recalentamiento en el control de humedad.

Al integrar la recuperación de calor, este tipo de configuración contribuye en el ahorro energético del edificio a un coste económico reducido en muchos casos.

En este estudio trabajamos con los dos sistemas básicos de recuperación: la total y la parcial. No obstante, en el mercado existen soluciones mixtas, que no se han contemplado pero que a partir de la metodología que se detalla a continuación se podrían emular de manera más o menos sencilla.

Recuperación total

Tradicionalmente, en este tipo de configuración se instala un intercambiador de calor en paralelo al condensador del equipo. En este caso se recupera el total del calor del gas refrigerante, tanto sensible como latente.

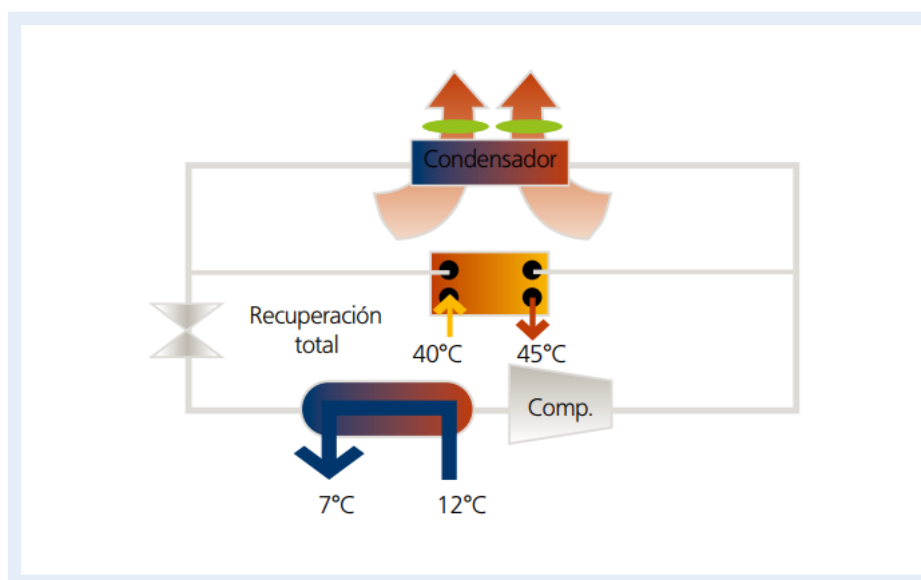


Figura 6: Recuperación total de calor en Planta Enfriadora.

La recuperación total permite establecer una temperatura de agua caliente, lo que resulta interesante en aquellas aplicaciones donde se requiere una temperatura del agua constante. Sin embargo, presenta unos inconvenientes destacables:

- Normalmente excede las necesidades de recuperación de calor que hay en un edificio y tiende a estar sobredimensionada. La inversión es altamente ineficiente.
- Los cambios de ciclos entre condensar con aire o con agua dañan la máquina y reducen su ciclo de vida.

Recuperación parcial

En su versión clásica, en este tipo de configuración se instala un intercambiador de calor de placas directamente en serie con el condensador de aire. En este caso, solo se recupera el calor sensible del gas refrigerante, es decir, el calor del sobrecalentamiento generado por el motor. Este proceso puede representar entre el 20% y el 30% del calor total de condensación.

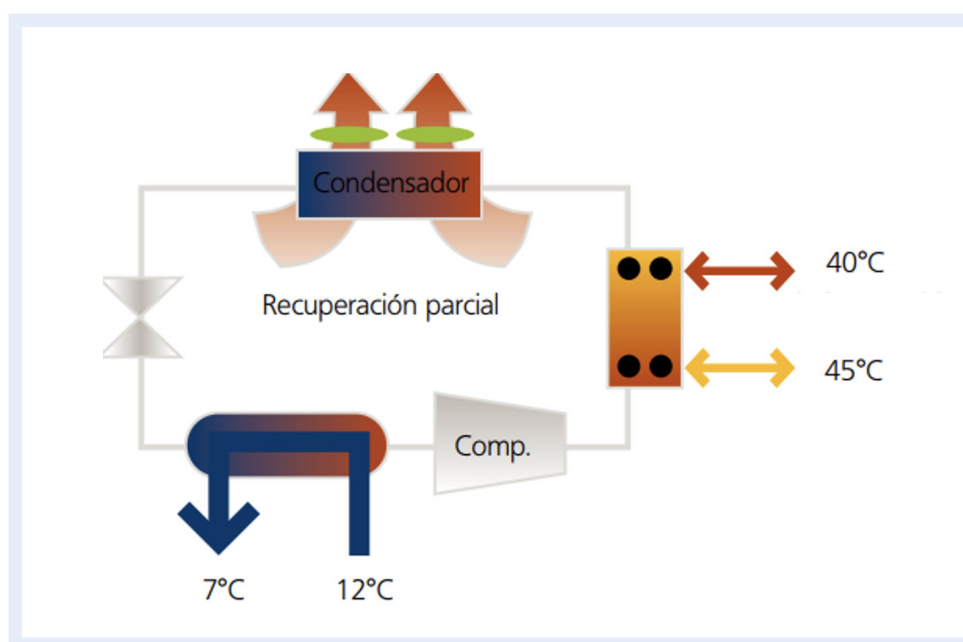


Figura 7: Recuperación parcial de calor en Planta Enfriadora.

La cantidad de calor recuperado depende de la carga de la unidad y la temperatura de entrada del agua de recuperación al intercambiador; cuanto más baja sea esta temperatura, mayor será la energía recuperada.

Por otro lado, a medida que la temperatura del aire de condensación disminuye, el compresor trabaja menos, lo que reduce significativamente los gases a recuperar. De hecho, resulta muy difícil obtener calor a temperaturas de aire exterior inferiores a 20°C.

Modelización de la recuperación total

Por defecto, *DesignBuilder* solo contempla la recuperación total de calor en plantas enfriadoras. El modelo que se propone para representar esta recuperación se muestra en la Figura 8.

En esta se puede observar que el circuito de agua caliente consiste en el circuito conectado a la bomba de calor (rojo) y el circuito de recuperación de calor de la enfriadora (amarillo). Este último está conectado a un calentador de agua definido como instantáneo (sin tanque y sin resistencia

eléctrica) y que utiliza únicamente el calor recuperado. Ambos circuitos están conectados a través de un intercambiador de calor ideal que funciona como un colector.

Como se puede ver, el programa solo permite la conexión del circuito de recuperación de calor a uno de tipo ACS, lo que resulta una limitación importante al querer conectarlo con otros circuitos, teniendo que utilizar un tanque de agua y un intercambiador de calor.

También, uno de los principales inconvenientes es que el software solo permite la recuperación de calor en enfriadoras condensadas por agua, mientras que la mayoría de las enfriadoras utilizadas en los proyectos se basan en soluciones condensadas por aire. Para solucionar esto, hemos desarrollado un procedimiento que permite obtener una enfriadora condensada por agua equivalente, con un rendimiento y capacidad similares a la enfriadora condensada por aire.

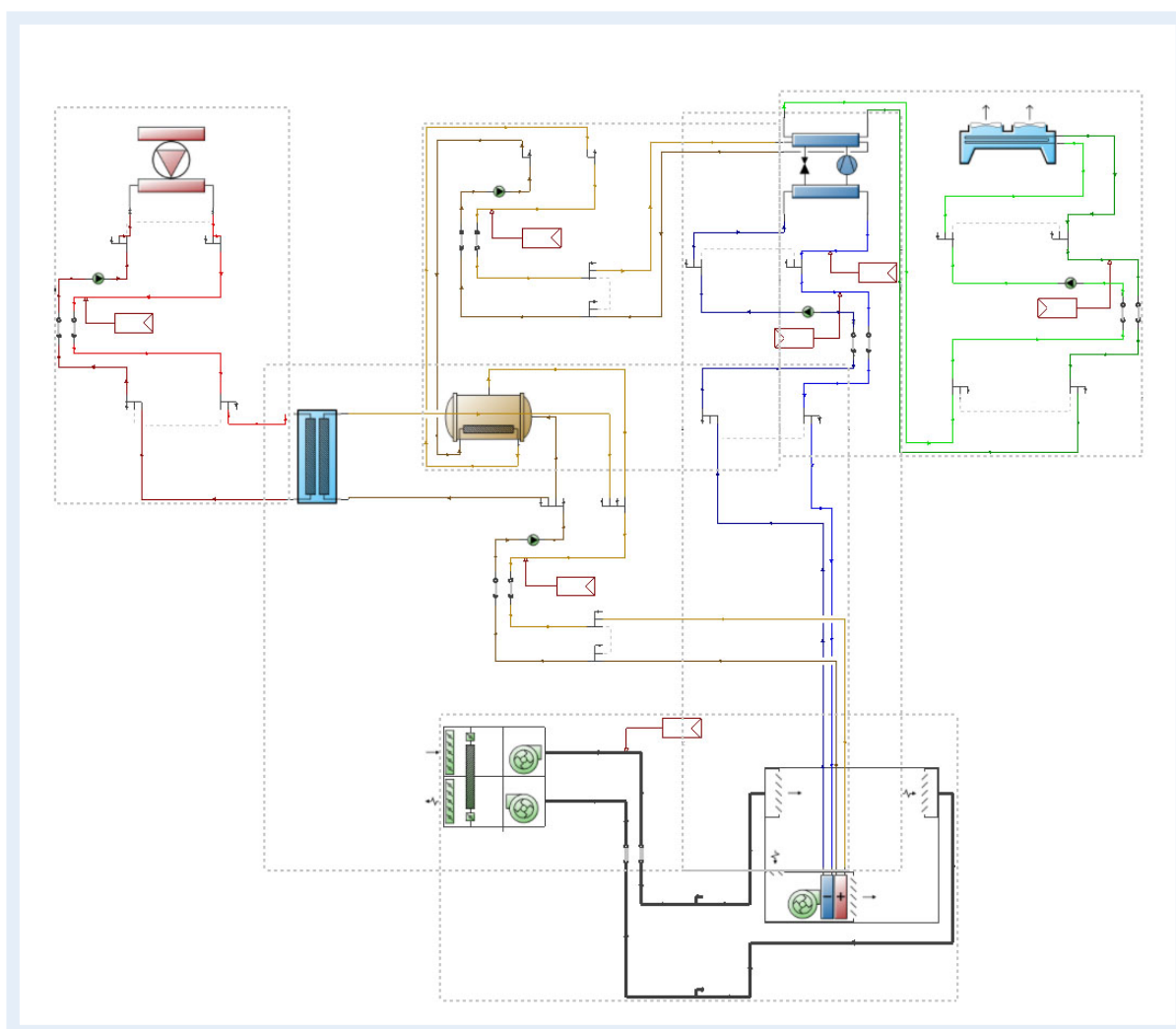


Figura 8: Esquema *DesignBuilder*: Recuperación de calor total en Planta Enfriadora para uso de calefacción.

La lógica del sistema propuesto es priorizar el uso de calor recuperado para climatizar las zonas que lo demanden siempre que sea posible. En caso de que el calor recuperado no sea suficiente, entonces interviene la bomba de calor.

El modelo propuesto no representa la única solución posible para la recuperación de calor. Este circuito también podría utilizarse, por ejemplo, en un sistema de demanda de agua caliente sanitaria (ACS).

Verificación del modelo

Para comprobar que el sistema de recuperación total está funcionando correctamente el siguiente balance se debe cumplir a nivel horario. En este se establece que la suma del calor recuperado y el calor disipado en el circuito de condensación es igual a la suma del calor extraído del ambiente a través del evaporador y el trabajo del compresor.

$$Q_{Rec} + Q_{Cond} - Q_{evap} - W_{compresor} = 0$$

A través de scripts, se pueden obtener los resultados necesarios para hacer la comprobación.

- Calor transferido al circuito de condensación (Q_{Cond}):

Output:Variable, *, Chiller Condenser Heat Transfer Rate, Hourly;

- Calor transferido al circuito de recuperación de calor (Q_{Rec}):

Output:Variable, *, Chiller Total Recovered Heat Rate, Hourly;

- Calor absorbido en el evaporador de la enfriadora (Q_{evap}):

Output:Variable, *, Chiller Evaporator Cooling Rate, Hourly;

- Trabajo del compresor de la enfriadora/consumo de la enfriadora ($W_{compresor}$):

Output:Variable, *, Chiller Electricity Rate, Hourly;

Además, para verificar qué proporción del calor recuperado se transfiere efectivamente al circuito de agua caliente a través del tanque de agua y, en consecuencia, se aprovecha realmente para su uso en las baterías de calor de los fan-coils, hay que pedir los siguientes resultados a través de scripts:

- Calor transferido al tanque por el lado del circuito de recuperación de calor (debería ser igual a Q_{Rec}):

Output:Variable, *, Water Heater Source Side Heat Transfer Rate, Hourly;

- Calor transferido del tanque al circuito de ACS:

Output:Variable, *, Water Heater Use Side Heat Transfer Rate, Hourly;

Un resultado típico al utilizar el calor recuperado de la planta enfriadora en las baterías de calor de elementos terminales tipo fancoils, por ejemplo, es que solo se aproveche el calor en épocas intermedias o invierno, cuando el edificio requiere simultáneamente calefacción y refrigeración. Esto se puede comprobar en el Gráfico 4.

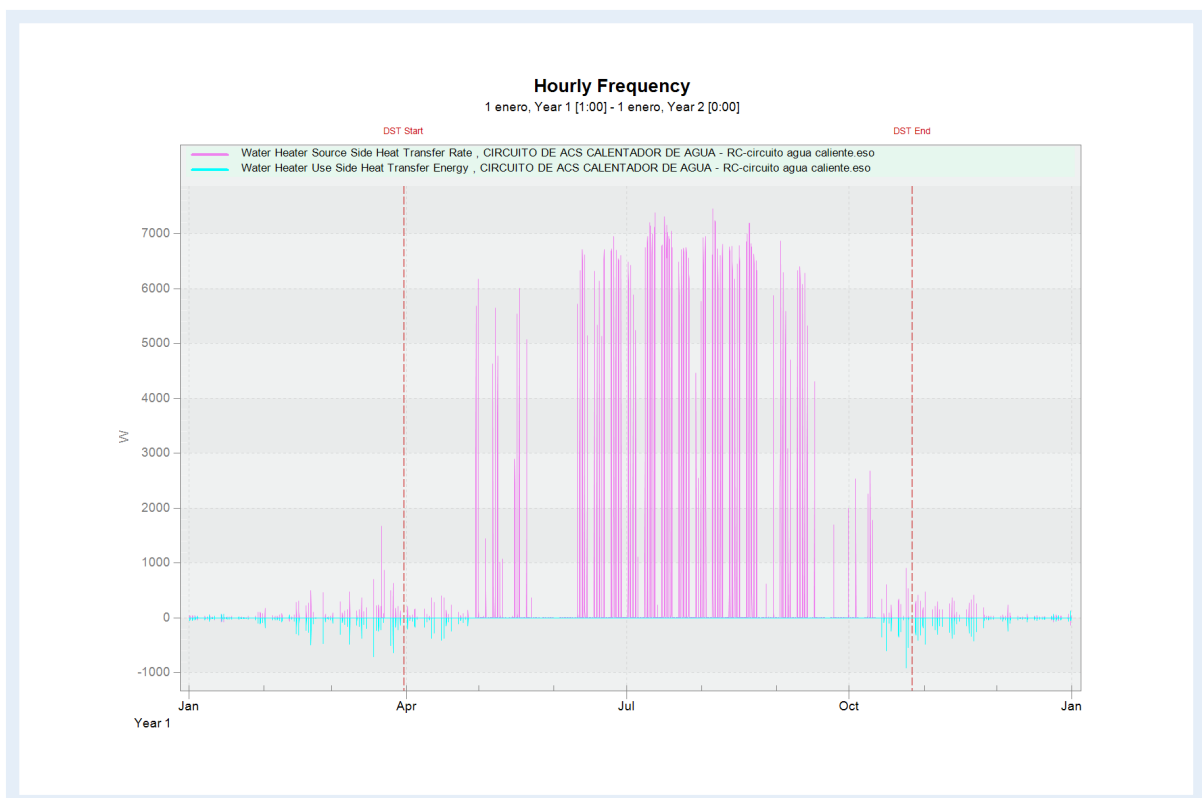


Gráfico 4: Resultado horarios de simulación del circuito de agua de recuperación de calor total.

Modelización de la recuperación parcial

Para la modelización de la recuperación parcial de calor en una planta enfriadora se ha utilizado la aproximación de que, para este tipo de configuración, se recupera entre el 20% y el 30% del calor total de condensación. En un proyecto real, este parámetro es intrínseco de cada equipo y debería ser consultado con el fabricante del equipo.

Tomando como ejemplo un edificio con una planta enfriadora de 100 kW con recuperación parcial, el enfoque consiste en dividir la capacidad en dos unidades: una enfriadora de 70 kW sin recuperación y otra de 30 kW con recuperación total, tal y como se muestra en la figura 9. Estas plantas enfriadoras se reparten la carga térmica de manera uniforme, ya que, en la práctica, funcionan como una sola unidad. Tal y como se ha comentado anteriormente la capacidad de recuperación parcial está estrechamente ligada a la temperatura del aire exterior. A través del módulo de scripting, la recuperación de calor se limita a temperaturas exteriores superiores a 20°C.

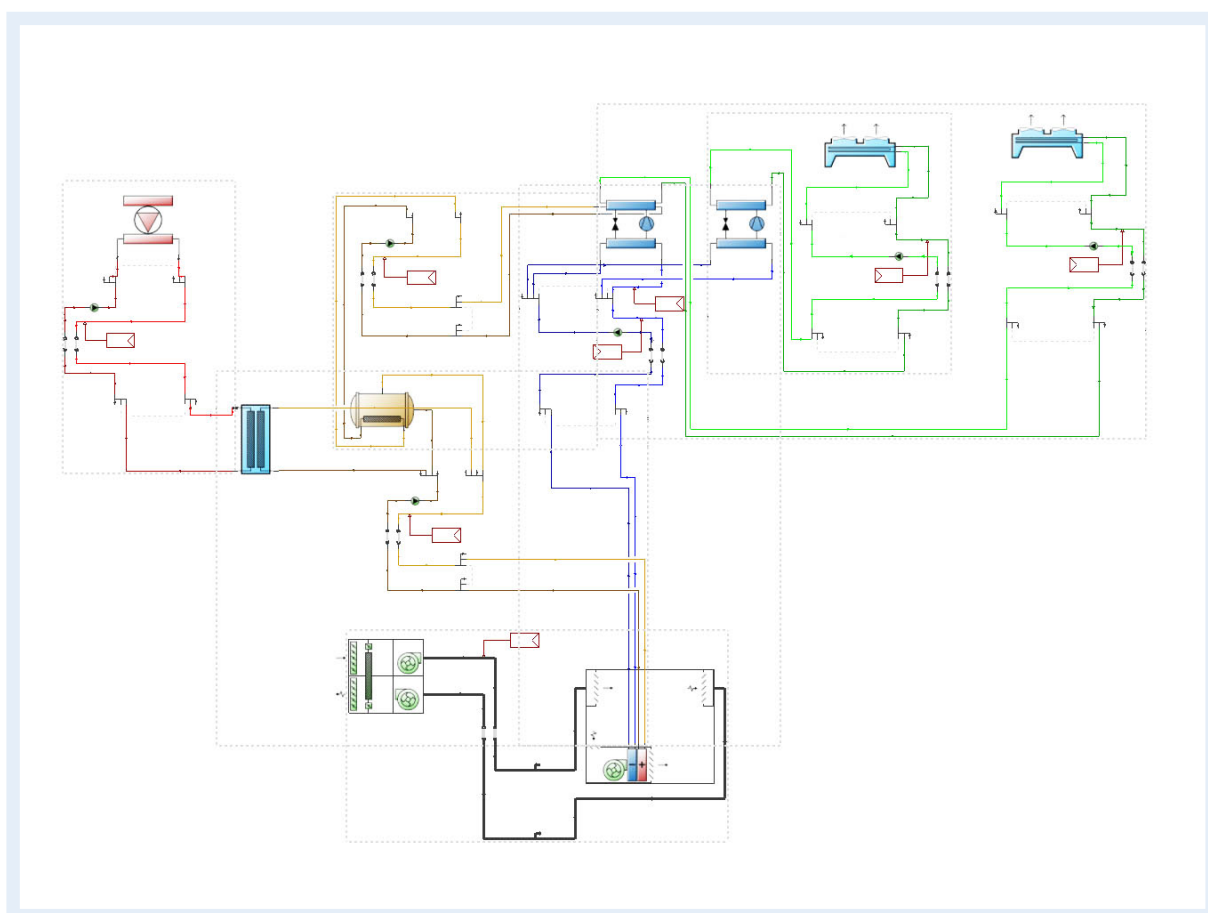


Figura 9. Esquema *DesignBuilder*: Recuperación de calor parcial en Planta Enfriadora para uso de calefacción.

En resumen, el modelo planteado *DesignBuilder* para una enfriadora con recuperación parcial es el siguiente:

- La enfriadora con recuperación parcial se divide en 2 enfriadoras:
 - 1: 30% potencia nominal y recuperación total.
 - 2: 70% potencia nominal y sin recuperación.
- Se reparten la carga de manera uniforme.
- Se limita la recuperación de calor a temperaturas exteriores superiores a los 20°C.

Aunque podría parecer que la recuperación parcial se puede modelar usando el parámetro del programa *fracción de capacidad relativa del condensador*, este valor está relacionado con el tamaño físico del recuperador de calor. Si se define una fracción de capacidad de 0,3, el calor recuperable sería $0,3 \cdot (Q_{\text{evap}} + Q_{\text{comp}})$ cuando la enfriadora opera a máxima potencia. A potencias menores, el calor recuperable puede variar, permitiendo incluso recuperar hasta el 100% del calor en algunos casos, lo que no es aplicable al concepto de recuperación parcial.

Una vez definidas las plantas enfriadoras y asignado un reparto uniforme de las cargas, solo queda ajustar el horario de la enfriadora con recuperación mediante un *script*. Éste desactiva la enfriadora pequeña (conectada al sistema de recuperación) cuando la temperatura exterior es inferior a 20°C:

```
EnergyManagementSystem:Sensor,
  Temp_ext,
  Environment,
  Site Outdoor Air Drybulb Temperature;
```

```
EnergyManagementSystem:Actuator,
  Schedule_Value_CONTROL_TEMPERATURA_RP,
  CONTROL TEMPERATURA RP,
  Schedule:Compact,
  Schedule Value;
```

```
EnergyManagementSystem:ProgramCallingManager,
  Limitacion RCP temperatura,
  BeginTimestepBeforePredictor,
  ComputedHeatRecovery;
```

```

EnergyManagementSystem:Program,
  ComputedHeatRecovery,
  IF (Temp_ext < 20),
    SET Schedule_Value_CONTROL_TEMPERATURA_RP=0,
  ELSE,
    SET Schedule_Value_CONTROL_TEMPERATURA_RP=1,
  ENDIF;

```

Validación del modelo

Con los valores proporcionados por la simulación anual del edificio, es posible analizar el porcentaje de recuperación de calor que se produce a lo largo del año, que deberían representar entre un 20% y 30% del calor total de condensación. Para ello, es necesario extraer los siguientes resultados, que deberían haberse incorporado previamente para las verificaciones anteriores:

- Trabajo del compresor de la enfriadora/consumo de la enfriadora ($W_{compresor}$ con y sin recuperación de calor):

Output:Variable, *, Chiller Electricity Rate, Hourly;

- Calor absorbido en el evaporador de la enfriadora (Q_{evap} con y sin recuperación de calor):

Output:Variable, *, Chiller Evaporator Cooling Rate, Hourly;

- Calor transferido al circuito de recuperación de calor (Q_{Rec}):

Output:Variable, *, Chiller Total Recovered Heat Rate, Hourly;

El porcentaje de calor recuperado a nivel horario se puede calcular utilizando la siguiente formula:

$$\%Q_{rec} = \frac{Q_{rec}}{Q_{evap\ TOTAL} + W_{comp\ TOTAL}}$$

Para verificar el funcionamiento de recuperación de calor solo si la temperatura exterior es superior a 20°C hay que comparar los siguientes resultados:

- Calor transferido al circuito de recuperación de calor (Q_{Rec}):

Output: Variable, *, Chiller Total Recovered Heat Rate, Hourly;

- Temperatura aire exterior (Site Outdoor Air DryBulb Temperatura):

No es necesario script.

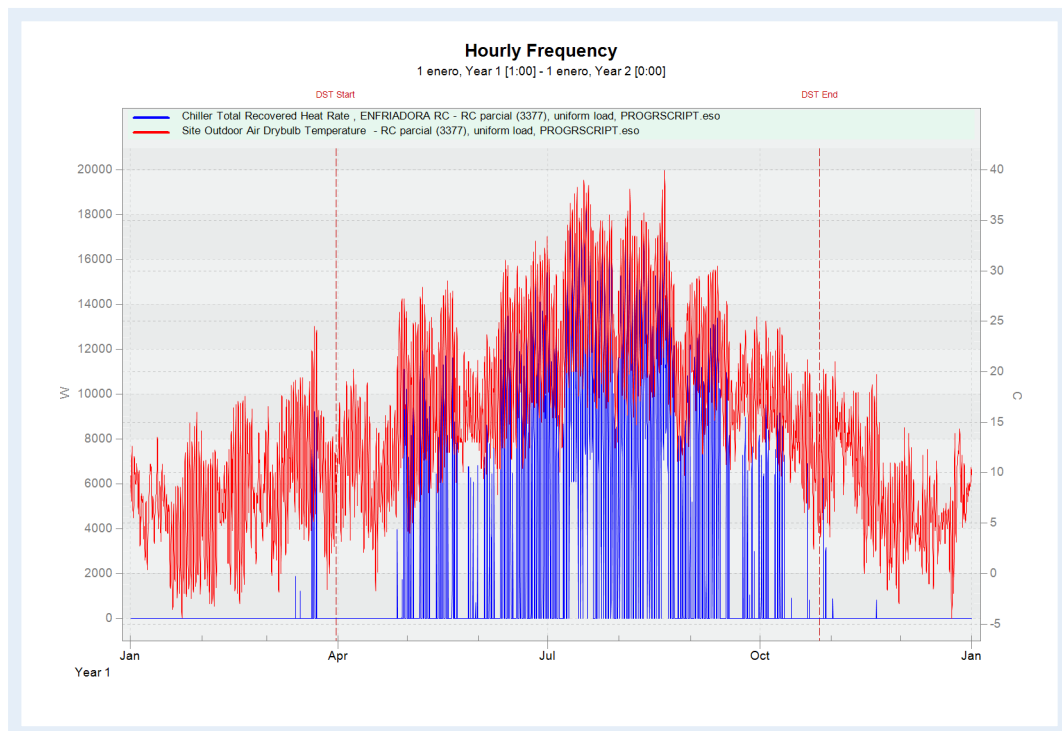


Gráfico 5: Resultado horario de simulación de la recuperación parcial en función de la temperatura exterior.

Conclusiones

A lo largo del estudio hemos profundizado sobre conceptos relacionados con la modelización energética de edificios terciarios. Las conclusiones principales a las que hemos llegado son:

- **Limitación del software:** *DesignBuilder* presenta limitaciones en cuanto a la simulación de sistemas ampliamente utilizados edificios terciarios.
- **Modelización de sistemas ampliamente utilizados:** se han presentado metodologías para modelar circuitos de agua primaria y secundaria, bombas de calor 2 tubos conectadas a un sistema 4 tubos, y sistemas de recuperación de calor en plantas enfriadoras.
- **Evaluación energética y confort:** las metodologías propuestas permiten analizar de manera realista los consumos y ahorros energéticos de los sistemas, así como su impacto en el confort de los ocupantes.
- **Validación de modelos:** la determinación de parámetros y metodologías de verificación de los modelos asegura la coherencia y precisión de los cálculos realizados por el programa. También permite la identificación y corrección de inconsistencias para ajustar el modelo a la realidad.
- **Módulo de scripting:** la incorporación de algoritmos personalizados a través del módulo de scripting de *DesignBuilder* ha demostrado ser una herramienta muy potente, permitiendo tanto la obtención de resultados detallados como un control más avanzado en ciertos sistemas.



En resumen, el estudio pretende resolver correctamente sistemas energéticos ampliamente utilizados pero que actualmente no tienen un modelado claro, ampliando significativamente las capacidades y el alcance de las simulaciones realizadas con *DesignBuilder*.

JG INGENIEROS, S.A.

JG es una empresa de consultoría e ingeniería para edificios de alta complejidad, fundada en 1970 en Barcelona por Juan Gallostra Pedemonte. Cuenta con un equipo de 160 profesionales trabajando en oficinas ubicadas en España, Chile, Perú, Panamá y Marruecos.

La empresa desarrolla su actividad en cuatro áreas de negocio:



Proyectos completos de edificación.



Ingeniería de instalaciones técnicas.



Consultoría y soluciones digitales para contribuir al bienestar de las personas.



La mejora de la productividad y la sostenibilidad ambiental.

Además, JG Ingenieros es miembro fundador del **First Q Network**, red de ingenierías europeas de instalaciones, que tiene como objetivo desarrollar proyectos comunes a nivel europeo.