

DESARROLLO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA RED DE REFRIGERACIÓN Y CALEFACCIÓN URBANA PARA EL BARRIO DE EMPRENDEDORES DE CARTAGENA.

MOLINA VALVERDE, Rafael; ILLÁN GÓMEZ, Fernando

rmolinalvalverde@gmail.com

Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos.

RESUMEN

Este trabajo se enmarca dentro del acuerdo de colaboración suscrito entre la Universidad Politécnica de Cartagena, el Ayuntamiento de Cartagena y otras entidades para el lanzamiento del proyecto CTracción, con el objeto de la creación de un Centro de Innovación Urbana.

El objetivo de este trabajo consiste en el desarrollo un modelo para la simulación dinámica del funcionamiento de una red urbana de calefacción y refrigeración en la ciudad de Cartagena, que incluye los edificios que integran la Universidad Politécnica de Cartagena así como el futuro Barrio de Emprendedores.

Las redes de distribución urbanas permiten reducir el consumo energético de un conjunto de edificios debido al uso de equipos de gran potencia que ofrecen rendimientos muy superiores a los que brindarían equipos de potencia inferior instalados de manera individual en edificios. El modelo desarrollado permite obtener el balance energético de la red incluyendo las pérdidas energéticas en los conductos de distribución, energía consumida en el bombeo del fluido caloportante y en los equipos de generación de calor.

La red de calor se ha modelizado en TRNSYS, un software que permite realizar simulaciones de sistemas transitorios, a partir de los componentes disponibles en este. Partiendo de los datos horarios de demanda de los edificios de componen la red, obtenidos con Calener GT, se ha desarrollado un submodelo que permite caracterizar la carga térmica que suponen los edificios y se ha dimensionado los equipos de generación de calor y los conductos de la red.

Dentro del modelo de los equipos de generación se han incluido datos de funcionamiento a carga parcial, así como de las temperaturas del evaporador y condensador en el caso de las enfriadoras en la red frío, lo que permite obtener la variación de la eficiencia de los equipos y su consumo a lo largo del periodo de funcionamiento analizado. En el caso de la red frío se ha considerado el uso de enfriadoras condensadas por agua, debido a la cercanía de Cartagena al mar.

El modelo resultante ha permitido obtener el consumo energético global de la red, el cual puede ser modificado para analizar distintas alternativas de generación que den lugar al sistema más eficiente para la red.

Palabras clave: Eficiencia energética; Red urbana.

1. Introducción y objetivos

El objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo de simulación dinámica de una red de distribución urbana de calor y frío, en el que se incluyan los edificios que integran la Universidad Politécnica de Cartagena así como el futuro Barrio de Emprendedores de Cartagena. En este trabajo se busca dimensionar los componentes de esta red.

Las redes de distribución de frío y calor permiten reducir el consumo energético de un conjunto de edificios debido principalmente al uso de equipos de gran potencia que ofrecen rendimientos muy superiores a los que brindarían otros de potencia inferior que se instalan de manera individual en cada edificio. De esta manera, el consumo energético de la red es inferior a la suma de consumos individuales.

En España existen 247 redes instaladas, de las cuales 84 se encuentran en Cataluña, mientras que la Región de Murcia es la única comunidad autónoma que no dispone de redes de distribución, junto con las Islas Canarias, cuyo clima suave justifica la excepción.

El principal objetivo del trabajo es desarrollar un modelo que permita simular dinámicamente el comportamiento de la red, obteniendo el consumo energético de ésta en un periodo determinado. Para alcanzar este objetivo es necesario caracterizar la demanda de los edificios, así como dimensionar los equipos de generación de calor y frío, red de tuberías y grupos de bombeo.

El modelo se va a desarrollar en TRNSYS, un software que permite la simulación dinámica del comportamiento de sistemas térmicos y que ya ha sido empleado anteriormente para analizar este tipo de problemas [1]. Este software dispone de varios componentes que permiten desarrollar el modelo de la red de distribución urbana de frío y calor teniendo en cuenta variables como la evolución de la demanda horaria de los edificios que forman la red, los parámetros de funcionamiento de enfriadoras y calderas, energía perdida en los conductos y consumo de bombas a lo largo del periodo estudiado.

2. Método de trabajo

El desarrollo se ha realizado tomando como base la demanda de los edificios que forman la red. Esta demanda se ha empleado para dimensionar el resto de componentes de la red urbana de calor y frío.

2.1. Caracterización de la demanda

El objetivo de esta sección es conseguir un modelo que permita obtener la temperatura a la que retornará el agua a la red principal tras haber suministrado energía a un edificio.

La demanda se ha obtenido mediante Calener GT. Este software de calificación energética permite obtener la demanda de un edificio basándose en distintos parámetros como la geometría, orientación y cerramientos del edificio. Los modelos de los edificios que forman la red habían sido creados previamente en Calener GT, por lo que se ha podido obtener la demanda horaria de estos realizando algunas modificaciones en los ficheros de entrada de datos a DOE2, motor de cálculo empleado por Calener GT.

Para modelizar el consumo energético de los edificios en la red se ha recurrido al modelo mostrado en la Figura 1, que se basa en una red secundaria (que forma parte del sistema de climatización del edificio) por la que circula agua desde un intercambiador de placas (1) que intercambia calor con una red principal, para transportarla hacia otro intercambiador (2) que en la práctica podría intercambiar calor con la red de climatización del edificio o ser directamente esta red. Este modelo se ha realizado considerando que los sistemas de climatización del edificio son *fancoils*, por lo que el intercambiador “terminal” (2) se ha modelizado como si fuera un único *fancoil* que suministra energía a una masa de aire equivalente a la de todo el edificio.

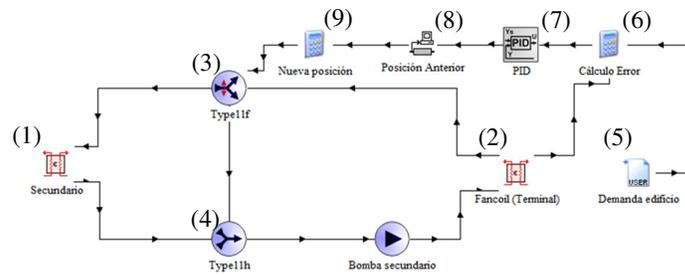


Figura 1: Modelo del edificio.

El sistema de regulación empleado en la red secundaria consiste en una válvula de tres vías (3) controlada mediante PID, lo que permite recircular parte del caudal que se dirige hacia el intercambiador “secundario” (1), mezclando el agua que sale de este intercambiador con la de la que retorna del “terminal” (2) en la T (4), adaptando la temperatura del agua que entra en el “terminal” de forma que la potencia suministrada por este se adecúe a la demanda del edificio debido a la modificación del salto de temperatura que se produce en el “terminal” (2).

Para conseguir la regulación de la válvula de tres vías, se compara la potencia suministrada por el “terminal” (2) con la demanda horaria del edificio (5), obtenida de Calener GT e introducida como un archivo de texto, en el componente (6). Esta diferencia entre potencia y demanda se envía al PID (7), que genera una señal de control proporcional a esta diferencia. Esta señal se envía al componente (8), que almacena tanto la señal en el instante anterior como la señal de control de ese momento, y a su vez estas dos señales se envían al componente (9), que le suma a la señal anterior la del instante actual. Por último, la señal de control definitiva se envía a la válvula de tres vías (3), produciendo la apertura o cierre parcial de la válvula en función de la demanda.

Mediante este modelo se consigue la temperatura de salida en el lado de la red principal en el intercambiador “Secundario” (1), lo que permite obtener la temperatura de retorno del agua de la red principal en función de la energía demandada por un edificio de la red.

Este modelo se ha utilizado para caracterizar la demanda de cada edificio que forma parte de la red y obtener la temperatura a la que le llega el agua a los equipos de generación de calor y frío tras circular por toda la red.

3. Modelizado de la red de tuberías

Para el modelo se ha establecido una red de conductos de cuatro tubos enterrados, dos para refrigeración y dos para calefacción (impulsión y retorno). Las tuberías que se han empleado son tuberías preaisladas de acero recubiertas con un aislamiento de poliuretano. El trazado usado para la simulación es el que se muestra en la Figura 2.

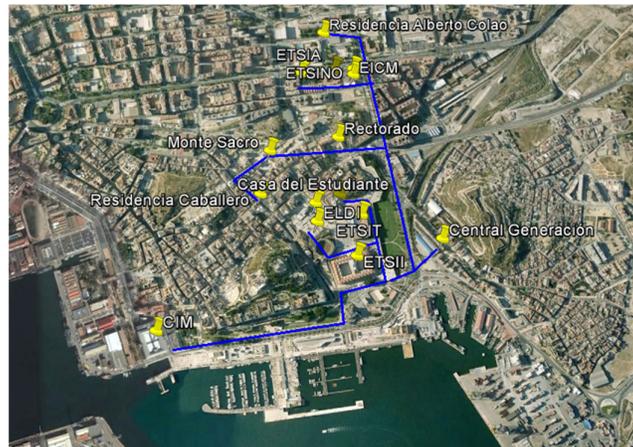


Figura 2: Trazado de la red.

El modelo de la red en TRNSYS es el siguiente:

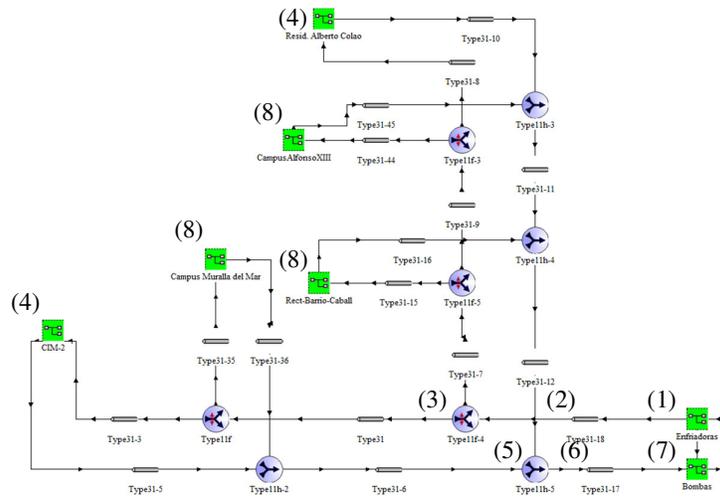


Figura 3: Modelo completo de la red.

El modelo completo de la red se muestra en la Figura 3 y, como se aprecia en esta figura, está compuesto por varios submodelos: el modelo de las enfriadoras y caldera (1), los sistemas secundarios (4) que modelizan los edificios, el modelo del grupo de bombeo (7) y modelos de otras ramificaciones (8) que incluyen a su vez parte del trazado y los sistemas secundarios a los que llegan, que no han sido posible insertar en el modelo principal por limitaciones en el espacio de trabajo de TRNSYS.

El trazado de la red se compone de las tuberías de impulsión (2), que proceden de los equipos de generación (1). Estas desembocan en válvulas de tres vías (3), que permiten dividir el caudal para enviarlo a otras ramificaciones o a los puntos de consumo (4). Una vez que el agua llega hasta los edificios, vuelve a los equipos de generación a través de las tuberías de retorno (6), mezclándose con el agua procedente de otros edificios en las Ts (5), hasta llegar al grupo de bombeo (7).

Para el dimensionado de la red se ha usado la ecuación de Darcy-Weisbach, con un criterio de dimensionado de 100 Pa/m y el caudal que tiene que circular en los intercambiadores de los consumos. Con estos datos se ha podido obtener con conductos de cada tramo de la red. Para determinar el coeficiente de pérdidas de las tuberías se ha empleado el software AISLAM a partir de los datos ofrecidos por el catálogo de tuberías preaisladas empleado.

4. Modelo del sistema de generación de frío

Los equipos usados para generar frío en el modelo son enfriadoras condensadas por agua, con compresores de tornillo gemelos alimentados por variador de frecuencia. Estos equipos ofrecen rendimientos superiores a los que tienen los equipos similares condensados por aire. La proximidad de la ciudad de Cartagena al mar permite emplear el agua del mar en el condensador, evitando el uso de torres de refrigeración. La viabilidad de esta solución en redes urbanas de refrigeración ya ha sido analizada previamente por otros autores [2].

Debido a que se conoce la demanda máxima total del conjunto de edificios que forman la red, se ha podido dimensionar el número de enfriadoras a partir de su potencia nominal, así como el caudal que deberá circular por cada una para el salto térmico establecido. El modelo del grupo de enfriadoras es el que se muestra en la Figura 4.

Este modelo se compone de un horario tipo de temperatura de impulsión (1), lo que permite impulsar agua a temperaturas superiores a la nominal en condiciones de baja carga, mejorando así la eficiencia de la enfriadora, un archivo de texto con la evolución de la temperatura del agua del mar (2) a lo largo del año, que también influye en la potencia y eficiencia de las enfriadoras al usarse en el

condensador de estas, y un horario (3) que condiciona el funcionamiento de las enfriadoras a los meses de verano.

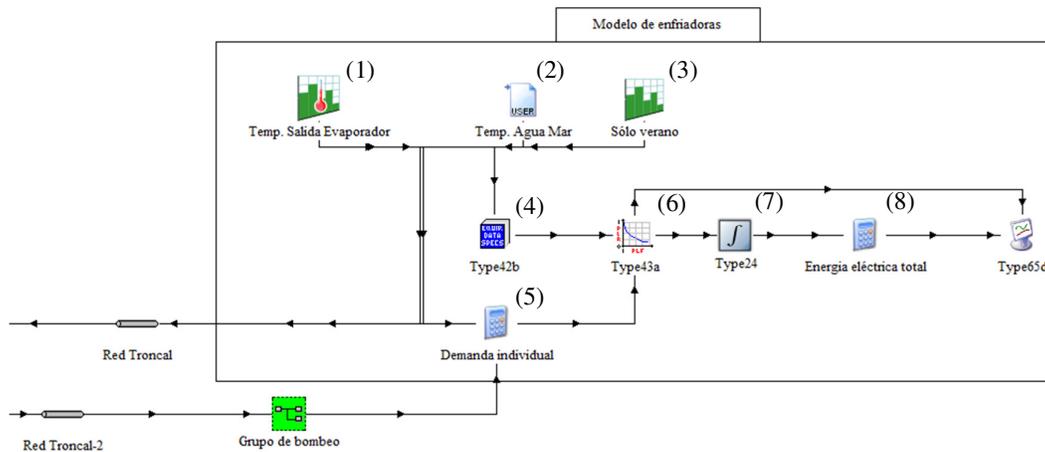


Figura 4: Modelo de enfriadoras.

Estos tres archivos se envían al *Type 42* (4), que permite obtener la potencia y eficiencia a carga total en función de la temperatura del evaporador de la enfriadora (temperatura de impulsión) y del condensador (temperatura del agua del mar). Para obtenerlos es necesario introducir varios puntos de funcionamiento en este componente, obtenidos del catálogo la enfriadora, lo que le permite interpolar para valores intermedios.

El componente (5) permite obtener la demanda de la red a partir del caudal de agua que le llega de ésta, la temperatura a la que llega, y la temperatura a la que se impulsa. Esta demanda se divide entre el número de enfriadoras, ya que las enfriadoras funcionan en paralelo y de esta manera todas reciben la misma carga.

Los valores de potencia y EER a carga total procedentes del componente (4), y la demanda que tiene que cubrir cada enfriadora (5) se envían al *Type 43* (6), que se encarga de obtener el comportamiento a carga parcial: eficiencia, energía suministrada a la red y energía eléctrica consumida para generarla. Este componente requiere de un “factor de carga parcial”, un coeficiente que se aplica al EER de la enfriadora a carga total que permite obtener el EER a carga parcial, y que se introducen en varios puntos de carga parcial que permiten interpolar para el resto.

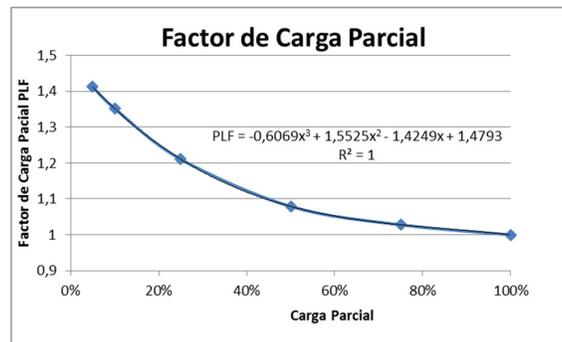


Figura 5: Factor de carga parcial en función del grado de carga.

El consumo eléctrico de este componente se envía al *Type 24* (7), que permite obtener la energía suministrada a la red así como la energía eléctrica consumida por una enfriadora a lo largo del periodo de funcionamiento, que se multiplica por el número de enfriadoras de la red en el componente (8), obteniendo la energía total consumida por las enfriadoras.

Una vez obtenidos los puntos de funcionamiento mostrados en la Figura 8, se ha podido determinar la potencia consumida por las bombas, dato que se envía a un integrador para obtener la energía eléctrica absorbida por las bombas. También se ha analizado la red con bombas de caudal variable, controladas mediante un PID con un funcionamiento similar al de los sistemas secundarios, que mantiene el salto de temperatura entre la impulsión y retorno a la enfriadora en 5 K.

7. Resultados

Los resultados más destacables obtenidos en las simulaciones se muestran en la Figura 9.

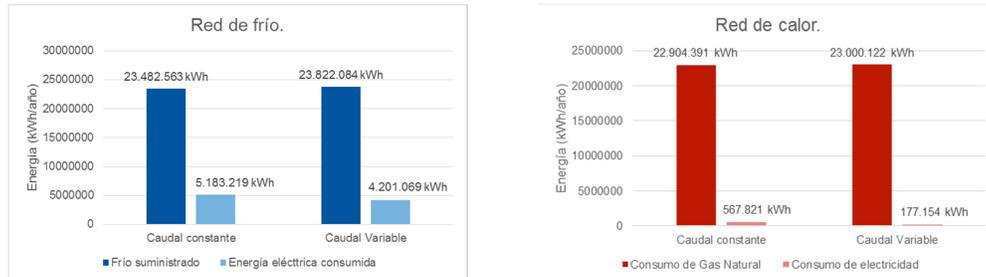


Figura 9: Energía suministrada y consumida anualmente para la red de frío y calor.

El primer resultado interesante que se aprecia en esta imagen es que los valores de potencia entregada a la red, tanto para el caso de refrigeración como para el de calefacción, son mayores para el modelo de caudal variable. Esto es debido a que, en condiciones de muy baja demanda y empleando un grupo de bombeo a caudal constante, el PID encargado del control (elemento 7 en la Figura 1) no es capaz de adaptarse a esos requisitos y hace que el sistema deje de entregar potencia. Cuando se emplea un grupo de bombeo a caudal variable el sistema es capaz de adaptarse mejor a la demanda de la red, por lo que continúa entregando potencia incluso cuando la demanda es muy baja, de forma que aumenta la potencia total entregada. Este efecto se aprecia nuevamente en la Figura 10, en la que se observa como en el sistema a caudal variable aumenta ligeramente el consumo eléctrico de las enfriadoras, pero este aumento se ve sobradamente compensado por la reducción en el consumo del sistema de bombeo, que disminuye su consumo en más de 2/3, pasando de representar un 29 % del consumo total para el sistema caudal constante a solo un 12 % del consumo total para el sistema de caudal variable.

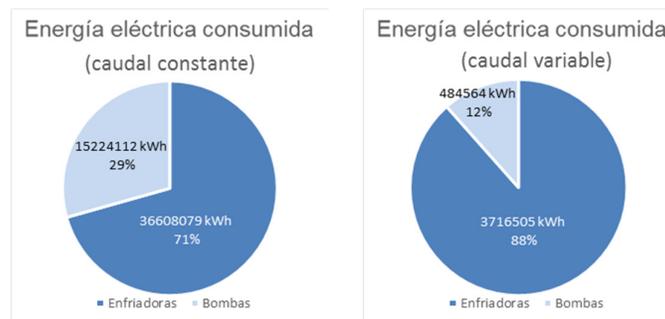


Figura 10: Energía consumida por los equipos de generación y bombeo para la red de frío.

Se aprecia también en la Figura 9 que, como cabe esperar, la energía eléctrica consumida por los equipos de bombeo es muy inferior para el caso de calefacción. Esto es debido a que la red de calefacción se ha diseñado con un salto de temperatura constante de 20 K, mientras que la red de refrigeración se ha diseñado con un salto de temperatura que oscila entre 5 y 8 K en función de las condiciones de carga parcial, lo que supone que el caudal en refrigeración es unas 3 veces superior al caudal en calefacción. En cualquier caso, lo que sí se mantiene es la reducción en el consumo de los equipos de bombeo, que en el caso de funcionamiento en calefacción y caudal variable representa menos de 1/3 del que se tiene operando a caudal constante.

Es también destacable el hecho de que los valores de frío suministrado a la red y consumo de gas natural son muy similares, si bien este hecho obedece a los valores de demanda de refrigeración y de calefacción obtenidos con CALENER GT y empleados como dato de entrada al modelo desarrollado en TRNSYS.

Finalmente, uno de los resultados más interesantes que pueden extraerse de la Figura 9 es la relación entre el frío entregado y la electricidad consumida. Descontando el consumo de los equipos de bombeo, esta relación toma prácticamente el mismo valor (6.41) independientemente de que se trate del sistema a caudal constante o a caudal variable. Este valor es ligeramente inferior al rendimiento medio estacional (SEER) aportado por el fabricante del equipo en su catálogo (6.85), lo que puede explicarse por las diferencias entre las condiciones de operación con las que se ha elaborado el modelo y las condiciones teóricas con las que se calcula el SEER

Sin embargo, cuando se tiene en cuenta el consumo de los equipos de bombeo, las diferencias en el rendimiento de ambas opciones son claras, con un rendimiento que para la instalación a caudal constante toma un valor de 4.53, ascendiendo hasta un valor de 5.67 para la instalación a caudal variable. De acuerdo con estos valores, la instalación a caudal constante presentaría un rendimiento global similar al SEER de los mejores equipos condensados por aire, que podrían instalarse independientemente en cada uno de los edificios considerados sin necesidad de formar parte de una red urbana de refrigeración, de forma que la elevada inversión que supone el montaje de una red de este tipo sería difícilmente justificable. Para el caso de la instalación a caudal variable el rendimiento supera claramente el de los mejores equipos condensados por aire y por tanto una red de este tipo podría llegar a ser económicamente viable.

8. Conclusiones

Como resultado de este trabajo se ha desarrollado un modelo que permite simular el comportamiento de una red de frío y calor mediante TRNSYS a partir de las demandas de calefacción y refrigeración obtenidas empleando CALENER GT para un conjunto de edificios existentes. Los valores de rendimiento global obtenidos con el modelo desarrollado están en buena consonancia con los que proporcionan los catálogos de los equipos empleados.

En el caso de la red de frío, la solución propuesta mejora el rendimiento de las mejores opciones disponibles en el mercado para ser instaladas en cada edificio de forma individual.

En el caso de la red de calor se ha considerado una caldera convencional, por lo que su rendimiento no mejora al de cualquier alternativa que pueda ser instalada en un edificio y por tanto los costes de bombeo y las pérdidas energéticas asociadas a la red de calefacción harán económicamente inviable esta solución. Es necesario por tanto explorar otras alternativas que justifiquen la inversión necesaria para desarrollar una red de este tipo.

Son muchos los potenciales de mejora para una red urbana de refrigeración y calefacción, entre ellos el uso de energías renovables, la recuperación de frío y calor de desecho o el uso de equipos de cogeneración [3]. El modelo desarrollado puede usarse como base para futuros trabajos en los que se puedan analizar algunas de estas alternativas, así como otros equipos, trazados y sistemas de control que permitan mejorar el rendimiento de la red y obtener un sistema más eficiente y económicamente viable.

9. Referencias

- [1] CHOW, T.T. ET AL. *Energy modelling of district cooling system for new urban development*. Energy and Buildings 36 (2004) 1153-1162.
- [2] ZHEN, LI ET AL. District cooling and heating with seawater as heat source and sink in Dalian, China. Renewable Energy 32 (2007) 2603-2616.

- [3] REZAIE, BEHNAZ Y ROSEN MARC A. *District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements*. Applied Energy 93 (2012) 2-10.