

ESTUDIO ENERGÉTICO, ECONÓMICO Y AMBIENTAL MEDIANTE SIMULACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE RECUPERADORES DE CALOR APLICADOS A UN CENTRO DE SALUD.

F. J. Rey, C. Cano, E. Velasco, F. Flores Murrieta, F. Varela Diez, E. Hernandez Gallego

E.T.S.I.I., Universidad de Valladolid, C/Paseo del Cauce s/n. rey@eis.uva.es

RESUMEN

Este trabajo aborda un estudio integral, en un sistema de climatización combinado con un equipo de recuperador de energía, mediante tres indicadores como son el energético, el impacto medioambiental y la rentabilidad económica.

El objetivo que se persigue en este estudio es la selección de un equipo recuperador de energía integrado en una instalación de climatización todo aire aplicada a un centro de salud.

Para realizar este estudio se ha utilizado un programa de simulación energética denominado eQUEST (the QUick Energy Simulation Tool) aprobado por el estado de California (USA) en el año 2005 y de reconocimiento internacional.

Esta potente herramienta nos ha permitido simular los consumos energéticos del edificio para una instalación de climatización multizona de volumen constante con cinco tipos diferentes de recuperadores de energía, permitiéndonos realizar una comparación para cada uno de los sistemas.

Los recuperadores de energía que se han estudiado son: de placas sensible, de placas entálpico, rotativo sensible, rotativo entálpico y heat pipes.

Mediante la simulación se han obtenido los índices energéticos, medioambientales y económicos permitiéndonos la selección óptima del equipo recuperador de calor utilizado en el sistema de climatización del centro de salud.

INTRODUCCIÓN

El alto nivel de consumo energético en las instalaciones de climatización alcanzado en las últimas décadas y la problemática medioambiental originada por el efecto invernadero y el cambio climático provocado por éste, han llevado a un elevado interés por el desarrollo e investigación de técnicas que impliquen la reducción del consumo energético y por lo tanto de la contaminación ambiental que éste produce.

No es ya tan sólo un aspecto económico, que siempre es importante, sino más bien una necesidad impuesta por la legislación y por el propio sentido común que lleva a pensar que es imprescindible reducir el consumo energético bien sea a través de fuentes de energía alternativas o a través de sistemas más eficientes desde el punto de vista energético, como pueden ser los equipos recuperadores de energía en climatización.

Se entiende por **recuperador de energía** a aquel dispositivo que permite la reutilización del calor residual de un sistema y cuyo objetivo final es alcanzar la eficiencia máxima de la instalación, dicho de otra forma, es un aparato de transferencia térmica destinado a recuperar energía residual.

Estos se emplean para la transferencia de calor entre dos fluidos (aire, gases de combustión, etc.) aplicados en climatización permitiendo una mejora en la calidad del aire interior, IAQ.

Los recuperadores se calculan y seleccionan de forma individual para cada aplicación y la recuperación debe ser superior al 45% de rendimiento, en las condiciones más extremas de diseño.

Según el tipo de energía que recuperen se clasifican en:

De calor sensible.

De calor total.

Se debe tener en cuenta que toda recuperación de calor constituye un sistema integrado dentro de un proceso, de manera que se reduzca el consumo de energía con un costo global aceptable. Como consecuencia de esto, la recuperación de calor sólo podrá considerarse efectiva como parte integrante de un esquema bien concebido y cuidadosamente diseñado.

Los tipos de recuperadores que vamos a estudiar son:

- **Recuperador por "tubo de calor" (HEAT PIPE)**: la captación de energía se produce a través de una batería intercambiadora, cargada con un fluido bifásico (gas refrigerante), que incorpora una separación intermedia que la divide en dos zonas, por donde se harán pasar el aire expulsado y el aire exterior.

Los flujos de aire se establecen a contracorriente.

El fluido bifásico, en fase líquida, recibe el flujo caliente, se evapora, pasando en fase gaseosa al flujo frío y cediéndole calor. Al cederle calor, condensa y cae por gravedad en fase líquida para reiniciar el ciclo.

Sus rendimientos oscilan entre el 50 y 60%.

Tiene la ventaja de que su funcionamiento es autónomo, sin necesidad de aportes energéticos exteriores, es de fácil adaptación a un Climatizador o en conductos y carece de mantenimiento mecánico.

El sistema permite recuperar calor sensible.

- Recuperador estático de placas: el intercambio de calor se produce a través de una placa corrugada, al provocarse dos flujos de aire cruzados que no llegan a mezclarse.

Consiste en una trama de canales cuyas paredes siempre están bañadas por aire primario en una cara y por aire secundario en la otra, con una disposición que impide la mezcla de flujos y garantiza la absoluta separación de los aires.

Los rendimientos de recuperación suelen ser más elevados que en los casos anteriores, situándose entre el 60 y 70%, aunque inferiores a los del recuperador rotativo.

Para caudales de aire no muy elevados tiene una buena relación precio/prestaciones y la ventaja adicional de carecer de elementos móviles, lo que provoca un mantenimiento mínimo.

Este sistema recupera calor sensible y si las placas son de material poroso también calor latente y serían entálpicos..

- Recuperador rotativo/entálpico: el intercambio energético se produce por termoacumulación en una aleación resistente a la corrosión revestida de un absorbente inorgánico.

La masa acumuladora permeable, capta calor del flujo de aire caliente y al girar, lo cede al flujo de aire frío.

La eficiencia del recuperador varía con velocidad de rotación, la velocidad frontal del aire y la densidad del rotor.

La velocidad de rotación puede ser constante, tarado por el fabricante o variable mediante regulación electrónica, que optimiza la eficiencia del intercambio térmico.

El recuperador cuenta con una cámara de purga, que impide las fugas de aire como consecuencia de la rotación.

Estos recuperadores captan la temperatura y la humedad del aire de extracción y su rendimiento puede llegar al 80%.

Ocasionalmente se utilizan como recuperadores de calor sensible (eficiencia 0.6 a 0.85%) pero pueden convertirse en recuperadores entálpicos, si su masa de intercambio es absorbente (eficiencia 0.7 a 0.9%).

Dadas las características del edificio se ha optado por una instalación todo aire MULTIZONA , con temperatura variable y caudal constante.

Conocidas las características de los tipos de recuperadores más usuales, para cada caso particular será oportuno estudiar distintas soluciones para poder llegar a la elección que implique el menor coste económico, ahorro energético y más reducido impacto ambiental.

En este estudio se han elegido los recuperadores de calor:

1. Recuperador de placas de calor sensible.
2. Recuperador de placas entálpico.
3. Recuperador rotativo sensible.
4. Recuperador rotativo entálpico.
5. Recuperador Heat Pipe.

Los recuperadores de energía que simularemos en este estudio serán:

Recuperador entálpico de placas de Mitsubishi electric, modelo LOSSNAY LGH-200RX₃ con una eficiencia del 70%, para un caudal de ventilación de 4.000 m³/h y un coste económico de 5.630 €.

Recuperador sensible de placas de Morgui, modelo IC12620/71 con una eficiencia del 70%, para un caudal de 4.500 m³/h y un coste económico de 4.390 €.

Recuperador entálpico rotativo de Sedical, modelo TOTOTHERM SR2900B70, con una eficiencia comprendida entre el 70 al 90%, un caudal de ventilación de 5.000 m³/h y un coste económico de 6.500 €.

Recuperador sensible rotativo de Sedical, modelo 31TE0040, con una eficiencia del 74%, un caudal de ventilación de 4.400 m³/h y un coste económico de 4.200 €.

Recuperador de tubos de calor (HEAT PIPES) de FANTECH, modelo KMP20000, con una eficiencia del 65%, un caudal de ventilación de 4.500 m³/h y un coste económico de 6.325 €.

DESCRIPCIÓN DEL CENTRO DE SALUD

El edificio objeto de estudio es un centro de salud situado en Valladolid. Consta de dos plantas de 939 y 679 m², en la planta baja y en la primera planta respectivamente.

En la figura 1, se representa el plano de situación del edificio, donde se puede ver que la fachada delantera del edificio tiene orientación Sureste, mientras que la trasera tiene orientación Noroeste.

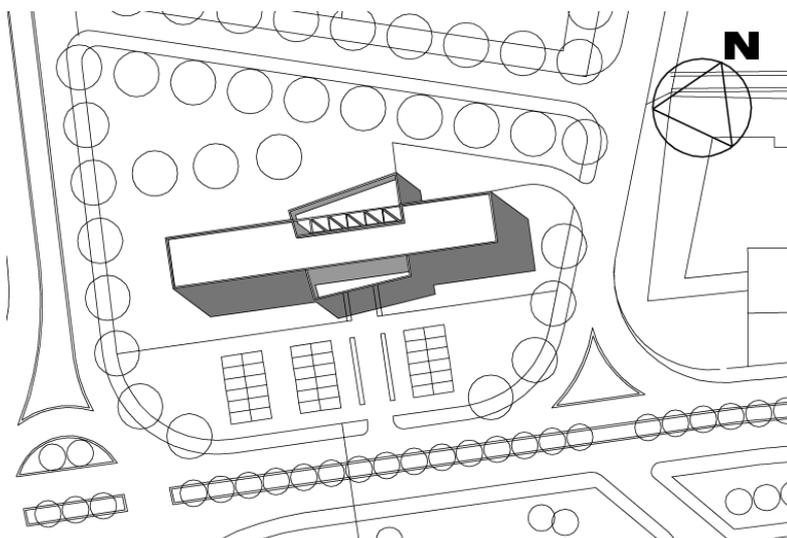


Figura [1]. Vista superior del centro de salud

En la tabla 1 se muestran las zonas consideradas en el centro de salud.

Tabla [1]. Zonas Consideradas en el Edificio de Estudio.

PLANTA BAJA	ESPACIO	NUMERO	ÁREA(m²)
ZONA1 (PB-CONSULTAS)	PB-CONSULTA-SESW	1	19,8
	PB-CONSULTA-SE	8	19,8
	PB-SALAESPERA-SWNW	1	15,8
	PB-SALAESPERA-NW-1	5	15,8
	PB-DESCANSO	1	15,8
ZONA2 (PB-SALAESPERA)	PB-CONSULTA-WNW	1	23,625
	PB-SALACINESITERAPIA	1	169,42
	PB-SALAESPERA-NW-2	1	14,4
	PB-SALAESPERA-NW-3	1	14,4
	PB-SALAESPERA-NW-4	1	14,4
ZONA3 (PB-SALA CURAS)	PB-SALA CURAS	1	83,74
ZONA4 (PB-RECEPCIÓN)	PB-RECEPCIÓN	1	330,18
PRIMERA PLANTA			
ZONA5 (P1-CONSULTA)	P1-CONSULTA-SESW	1	19,8
	P1-CONSULTA-SE	5	19,8
	P1-DESPACHO	4	19,8

ZONA6 (P1-SALAESPERA)	P1-SALAJUNTAS	1	27,3
	P1-SALAESPERA-SWNW	1	15,8
	P1-SALAESPERA-NW	5	15,8
	P1-DESCANSO	1	15,8
	P1-BIBLIOTECA	1	28,44
	P1-ALMACÉN	1	14,4
	P1-ADMINISTRACIÓN	1	28,8
ZONA7 (P1-RECEPCIÓN)	P1-RECEPCIÓN	1	271,42

Las demandas energéticas del edificio están condicionadas, en gran medida, por la composición de muros, tabiques, cubiertas, techos, suelos, ventana y demás elementos.

Los parámetros característicos, que influyen en la transferencia de calor entre espacios que tienen distinta temperatura son el calor específico, la conductividad térmica y la densidad.

Cada elemento, ya sean muros, ventanas, etc, está formado a su vez por distintos materiales que deberán tratarse de forma independiente.

GANANCIAS DE CALOR INTERNAS DEL EDIFICIO.

Son las producidas por ocupantes iluminación, máquinas, motores y otros aparatos , así como por la propia instalación.

Así, todos estos elementos modifican la carga interior del edificio, tanto la carga sensible como la carga latente.

Iluminación.

Los espacios del edificio están iluminados con fluorescentes, que incorporan reactancias.

La ganancia de calor de iluminación será de 20 W/m² para consultas, sala de cinesiterapia, sala de curas, despachos, sala de juntas, biblioteca y administración.

Para el resto de las salas, salas de espera, recepciones y almacén la ganancia estimada es de 15 W/m².

El multiplicador utilizado es 1,2. Como coeficiente de simultaneidad se supone un 0,9, lo que indica que el 90% de las luces están encendidas al mismo tiempo.

En el caso de la iluminación, la carga producida es, en su totalidad, carga sensible, es decir, solamente afecta a la temperatura.

Al ser fluorescente con reactancia se debe añadir un 20% de calor cedido por convección en la reactancia (sin inercia y si esta se encuentra en el recinto.)

Equipos eléctricos.

Para labores de administración el Centro de Salud tiene otros aparatos eléctricos, que además de consumir energía eléctrica, suponen una ganancia de calor.

En el edificio se considera que en cada consulta, despacho y recepción de la planta baja hay un ordenador personal de 250 W, dos en la biblioteca y en la oficina de administración. Por otra parte en cada sala de descanso hay una nevera de 600 W.

El coeficiente de simultaneidad de los equipos eléctricos es de 0,8.

Ocupación.

Para obtener la ganancia de calor producida por la ocupación, se debe conocer el número de personas presentes en cada espacio y la actividad física que realizan.

En la tabla 2 se pueden observar los niveles de ocupación supuestos, teniendo en cuenta la utilidad del centro de salud.

Para realizar el estudio se supone que las personas que ocupan el edificio se encuentran sentadas realizando trabajo ligero, o de pie, situación para la que se estima un desprendimiento de calor sensible de 71 W y un calor latente de 60 W.

Tabla [2]. Datos de ocupación.

PLANTA BAJA	ESPACIO	PERSONAS
ZONA1 (PB-CONSULTAS))	PB-CONSULTA-SESW	2
	PB-CONSULTA-SE	2
ZONA2 (PB-SALAESPERA)	PB-SALAESPERA-SWNW	3
	PB-SALAESPERA-NW-1	3
	PB-DESCANSO	2
	PB-CONSULTA-WNW	2
	PB-SALACINESITERAPIA	10
	PB-SALAESPERA-NW-2	3
	PB-SALAESPERA-NW-3	3
	PB-SALAESPERA-NW-4	3
ZONA3 (PB-SALA CURAS)	PB-SALA CURAS	6
ZONA4(PB-RECEPCIÓN)	PB-RECEPCIÓN	9
PRIMERA PLANTA		
ZONA5 (P1-CONSULTA)	P1-CONSULTA-SESW	2
	P1-CONSULTA-SE	2
	P1-DESPACHO	1
	P1-SALAJUNTAS	3
ZONA6 (P1-SALAESPERA)	P1-SALAESPERA-SWNW	3
	P1-SALAESPERA-NW	3
	P1-DESCANSO	2
	P1-BIBLIOTECA	2
	P1-ALMACÉN	0
	P1-ADMINISTRACIÓN	2
ZONA7 (P1-RECEPCIÓN)	P1-RECEPCIÓN	3

En el caso de los ocupantes, la carga total será la suma de la carga latente y la carga sensible y, dependerá de la actividad y las condiciones térmicas del edificio.

Horarios.

Para conocer las ganancias internas de calor del edificio, se debe definir un horario de funcionamiento del edificio, su horario de apertura y cierre.

En el caso del centro de salud, se consideran dos días tipo, en cuanto a horario de funcionamiento, días de diario y los sábados y festivos. Éstos últimos serán considerados de la misma manera.

Además, la planta baja y la primera planta tienen distintos horarios de funcionamiento y, el nivel de ganancias internas no será el mismo para todas las horas de apertura del edificio.

Con todas estas consideraciones se tiene que el horario de la planta baja es de 8 a 21 horas de lunes a viernes y de 9 a 17 horas sábados y festivos. El nivel de ganancias internas es de 14 a 16 y de 20 a 22 horas de 75 %, mientras que el resto de horas en las que el edificio está abierto el nivel de ganancias es del 100%.

Para la primera planta el horario de funcionamiento es de 8 a 20 horas los días laborables, mientras que permanece cerrada los sábados y festivos. En este caso el nivel de ganancias internas disminuye a un 75 % de 14 a 16 horas frente al 100 % del resto de las horas de apertura del edificio, en este tipo de días.

Para apreciarlo con mayor claridad se resumen las tablas 3 y 4:

Tabla [3]. Horarios en Planta Baja.

PLANTA BAJA												
HORA	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
LABORABLE	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
FESTIVO	0	0	0	0	0	0	0	0	75	75	75	75
HORA	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
LABORABLE	100	75	75	100	100	100	100	75	75	0	0	0
FESTIVO	75	75	75	75	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla [4]. Horarios en la Primera Planta.

PRIMERA PLANTA												
HORA	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
LABORABLE	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
FESTIVO	0	0	0	0	0	0	0	0	75	75	75	75
HORA	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
LABORABLE	100	75	75	100	100	100	100	0	0	0	0	0
FESTIVO	75	75	75	75	0	0	0	0	0	0	0	0

SIMULACIÓN ENERGÉTICA MEDIANTE EL PROGRAMA eQUEST

El programa elegido para realizar la simulación del sistema de climatización considerado ha sido el eQUEST, the Quick Energy Simulation Tool, debido a que dentro de sus opciones plantea la posibilidad de analizar distintos sistemas de recuperadores de energía que son la base de este estudio.

Equest es un sofisticado programa, aunque fácil de utilizar, que nos permite realizar una simulación y posterior análisis del uso de la energía en un edificio. eQUEST consta de dos motores principales, uno que implica el diseño del edificio y sus instalaciones, y otro que realiza un estudio del rendimiento

energético (EEM) todo ello representado por medio de gráficos que facilitan la interpretación y comparación de los resultados.

Equest es una versión simplificada de DOE-2, de hecho utiliza muchas de sus herramientas como base para su funcionamiento.

EQUEST 3.55 fue aprobado por la Comisión de la energía de California en 2005.

Contiene un modo detallado de interfaz de usuario que permite de forma sencilla introducir los datos descriptivos del edificio a estudiar que incluye una representación bidimensional y tridimensional de la geometría del edificio, además de permitir importar archivos de CAD para no tener que definir la geometría del edificio de nuevo, permite la visualización del equipo de climatización que simulo y el acceso a todos los parámetros de entrada tanto de características físicas del edificio como de características climáticas del entorno donde se ubica el edificio, así como la posibilidad de obtener un informe de los resultados con distribución horaria.

Esto implica seguir una serie de pasos que nos ayudan a describir las características de diseño que afectarán al uso de la energía:

- Diseño arquitectónico

- Equipo de la HVAC

- Tipo y tamaño del edificio

- Distribución y disposición de las plantas del edificio

- Materiales de construcción

- Uso y ocupación del área

- Sistema de iluminación

Primero solicita la información de carácter general relacionada con el diseño del edificio y a continuación va solicitando más detalles para conseguir un análisis más profundo. En este proceso además de la descripción detallada del edificio, se incluye para cada hora la ocupación, iluminación, equipo y ajustes de termostato. Nos proporciona una simulación muy detallada de rasgos tales como la incidencia del sol, las ventanas, el material de construcción del edificio tanto interior como exterior (fachadas), la iluminación natural y demandas de iluminación. El proceso de descripción incluye 23 pasos de entrada de datos, cada uno representado por una pantalla, que facilita las distintas opciones del sistema y del componente para que el usuario elija la opción que desea para su edificio.

Después de compilar la descripción del edificio, eQUEST proporciona una simulación detallada del edificio, así como una estimación del consumo energético necesario para el funcionamiento del edificio y sus instalaciones. El proceso de simulación comienza desarrollando un modelo del edificio basado en los proyectos y los datos especificados, asumiendo un nivel mínimo de eficacia (por ejemplo un valor mínimo según ASHRAE 90.1), que toma como base para calcular posteriormente los ahorros de energía estimados.

Dentro de eQUEST, el motor de cálculo Doe-2 realiza una simulación hora a hora del consumo de energía del sistema diseñado durante un año entero (8670 horas) teniendo en cuenta además los datos meteorológicos para la ubicación dada.

Durante la simulación, eQUEST calcula la energía del edificio según los distintos usos asignados, por ejemplo:

Iluminación

El consumo eléctrico (PCs, copiadoras, aparatos eléctricos en general)

Calefacción

Refrigeración

Ventilación

eQUEST evalúa los resultados mediante gráficos. Por ejemplo, permite visualizar gráficos de la energía total estimada del edificio sobre una base anual o mensual. Es posible también comparar el funcionamiento de diseños alternativos del edificio para así analizar su eficacia y elegir la mejor combinación de alternativas. Además el software permite realizar simulaciones múltiples visualizando los resultados de cada una de ellas en gráficos continuos.

Permite la estimación del coste energético, ya que contiene las tarifas residenciales y comerciales del gas y la electricidad.

DEFINICIÓN DEL PROYECTO CENTRO DE SALUD

El proyecto definitivo ha quedado definido como se observa en la figura 2:

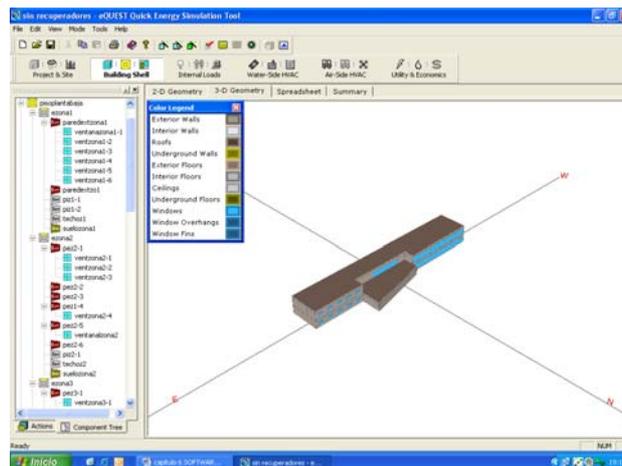


Figura [2] Imagen 3D del Centro de Salud.

El edificio está distribuido en siete zonas térmicas a considerar a la hora de diseñar la instalación. Para cada zona definimos el tipo de instalación que queremos simular permitiendo establecer distintos sistemas en cada una de ellas.

Cada una de las zonas térmicas definidas puede visualizarse en la figura del edificio y comprobar que geometría y ubicación abarca cada una de ellas.

El análisis energético puede ser realizado para una amplia variedad de sistemas y tipos de equipos.

El sistema seleccionado ha sido: MULTIZONA debido a sus características propias, sistema todo aire, que mantiene constante el volumen de aire y permite variaciones de su temperatura lo que implica una mayor flexibilidad de adaptación a las características térmicas del edificio.

Para cada una de las siete zonas térmicas planteadas se diseña el sistema combinado con recuperadores de calor.

Mediante eQUEST se han simulado seis casos posibles:

Instalación sin recuperadores, que nos servirá como base de referencia.

Con recuperadores Entálpicos rotativos.

Con recuperadores Entálpicos de placas.

Con recuperadores Sensibles rotativos.

Con recuperadores Sensibles de placas.

Con recuperadores de tubos de calor (Heat Pipes).

El programa también nos da la posibilidad de simular el Enfriamiento gratuito o Free Cooling, otra forma de recuperar energía y aumentar la eficiencia energética de nuestro sistema.

En la figura 3 el programa representa un esquema HVAC multizona.

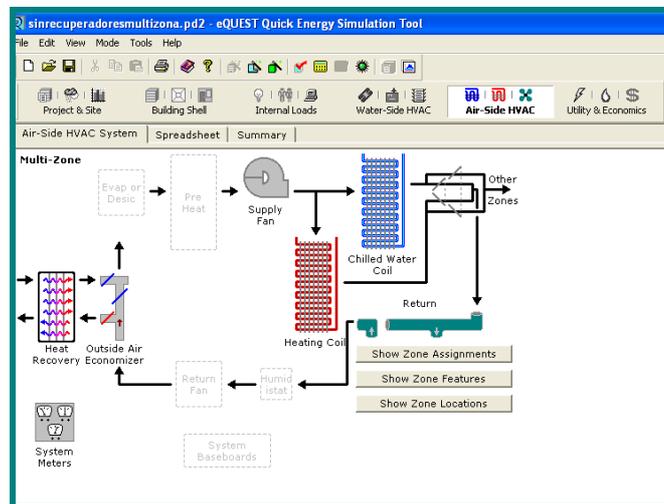


Figura [3] Esquema sistema HVAC MULTIZONA

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de la simulación pueden visualizarse en la figura 4. El programa ofrece distintos formatos, eligiendo a su vez la información que es necesario observar:

- consumo anual
- demanda anual
- consumo final por actividad
- demanda final por actividad
- picos de demanda

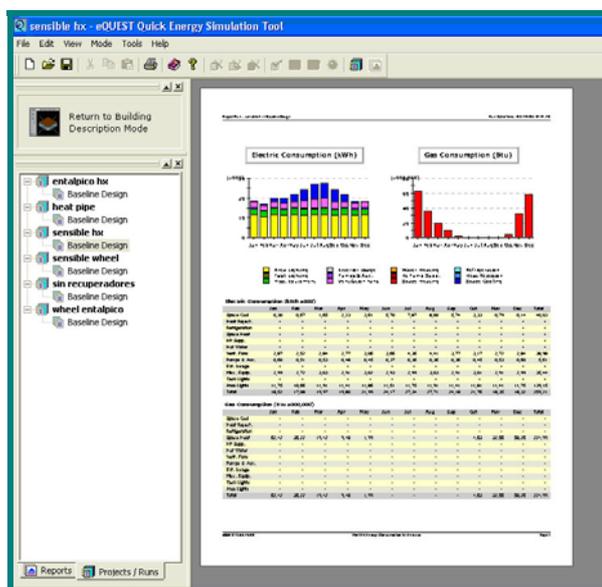


Figura [4] Consumo energético del sistema

ESTUDIO ENERGÉTICO

El programa de simulación nos ha dado el consumo energético de los seis tipos de instalaciones planteadas. Los datos aparecen en distintas unidades ya que dicho consumo se produce a través de dos fuentes de energía distintas: energía eléctrica y gas.

Los datos obtenidos se transforman para poder hacer una valoración del consumo de energía total y de la cantidad de energía recuperada en las distintas alternativas planteadas de instalación sin recuperadores o con los cinco tipos posibles, como se muestra en la tabla 6.

Recuperador	Consumo eléctrico (kWh x 1000)	Consumo gas (kWh)
Sin recuperadores	380,01	694.703
Entálpico de placas	463,38	284.084,01
Entálpico rotativo	447,55	283.896,49
Sensible de placas	464,17	284.896,49
Sensible rotativo	448,76	258.733,65
Tubos de calor (Heat pipes)	469,65	405.306,90

Tabla [6]. Datos de consumo de energía obtenidos en la simulación.

Recuperador	Consumo total (kWh)	% AHORRO
Entálpico de placas	747.276,49	30,47%
Entálpico rotativo	706.283,65	34,28%
Sensible de placas	748.254,01	30,38%
Sensible rotativo	800.477,20	25,52%
Tubos de calor (Heat pipes)	874.956,90	18,59%

Tabla [7]. Ahorro logrado con los recuperadores.

Existe un tipo de recuperador que destaca claramente con respecto al resto, es el recuperador entálpico rotativo. El porcentaje de recuperación obtenido por esta instalación es claramente superior al del resto, algo por otra parte previsible debido a las propias características técnicas de cada tipo de recuperador planteado. En la figura 5 se muestra el ahorro energético de los cinco recuperadores de energía.

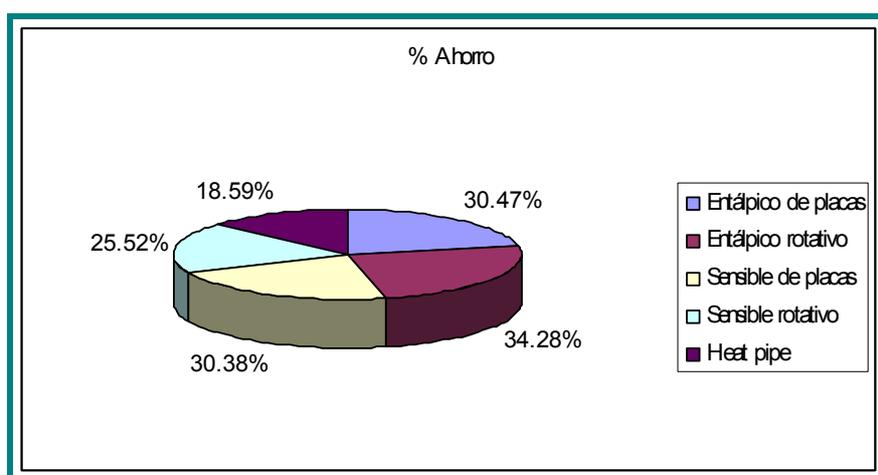


Figura [5]. Ahorro energético de los cinco recuperadores.

ESTUDIO ECONÓMICO

Para poder realizar este estudio económico de viabilidad de la inversión y calcular los plazos de recuperación de la misma es necesaria la utilización de una serie de datos básicos como son:

Tarifas eléctricas y de gas.

Precios de los distintos recuperadores.

Hay que valorar el ahorro en términos económicos. Teniendo en cuenta las tarifas de gas y electricidad vigentes, el precio del kW/h es:

Electricidad: Suponiendo que se contrata la tarifa de baja tensión, tipo 3.0, es decir, general, tendremos un Término de potencia= 1,494345 €/kW mes y un Término de energía= 0,087479 €/kW, a esto hay que añadir un impuesto sobre la electricidad de l 16% de I.V.A.

Gas natural: Si consideramos que el consumo de nuestro edificio es del tipo 3.4, la factura tendrá un término fijo de 61,77 €/mes, más el término de energía de 0,030100 €/kW. El programa eQUEST nos da el consumo de gas en BTU por lo que habrá que realizar un cambio de unidades para calcular la equivalencia de consumos en kWh.

El cálculo del coste energético de electricidad y gas natural viene dado en la tabla 7:

<i>Recuperador</i>	<i>Consumo eléctrico (€/año)</i>	<i>Consumo de gas (€/año)</i>
Sin recuperadores	52.237,17	25.116,09
Entálpico de placas	63.908,39	10.7772,37
Entálpico rotativo	60.383,36	9.983,78
Sensible de placas	64.011,62	10.778,92
Sensible rotativo	61.998,10	13.140,40
Tubos de calor (Heat pipes)	64.727,64	15.011,53

Tabla [7]. Consumo energético en €/año

El cálculo del ahorro energético valorado económicamente de cada tipo de recuperador en relación con el sistema sin recuperadores se muestra en la tabla 8:

<i>Recuperador</i>	<i>Ahorro consumo eléctrico (€/año)</i>	<i>Ahorro consumo de gas €/año)</i>	<i>Ahorro total (€/año)</i>
Entálpico de placas	-11.671,22	14.343,72	2.672,50
Entálpico rotativo	-8.146,19	15.132,31	6.986,12
Sensible de placas	-11.774,25	14.337,17	2.569,92
Sensible rotativo	-9.760,93	14.343,72	4.582,79
Tubos de calor (Heat pipes)	-12.490,47	10.104,56	- 2.385,91

Tabla [8]. Ahorro energético en €/año

La instalación con los diferentes tipos de recuperadores implica un consumo energético adicional para su funcionamiento, de ahí que el consumo eléctrico aumente en los sistemas con recuperadores; el verdadero ahorro se produce en el consumo de gas natural.

Con los datos de la tabla 8, queda reflejado que la instalación con recuperadores tipo HEAT PIPE nunca será rentable económicamente, ya que no se produce ahorro económico sino un gasto de 2.385 €, esto es debido a que si bien se tiene un ahorro en consumo de gas, sin embargo los costes adicionales debido al consumo eléctrico son mayores, dando como resultado un balance negativo.

Para realizar el estudio económico de las distintas instalaciones, es necesario tener en cuenta que el edificio está zonificado con 7 sistemas HVAC, lo que implica que necesitamos 7 recuperadores de cada tipo en cada uno de los casos planteados.

Se van a considerar recuperadores que ya anteriormente han sido descritos con unos flujos máximos de aire de 4.000 a 5.000 m³/h.

Introduciendo los precios de los equipos como costes de inversión y analizando los costes de operación ya descritos obtenemos los ahorros económicos totales para cada tipo de recuperador.

Con estos datos, ya se puede realizar un estudio económico de rentabilidad de las distintas instalaciones.

Suponiendo una tasa de actualización del 4,5%, el precio del dinero actual, que el gasto por inversión se realiza el primer año y aplicando un aumento del IPC del 4% anual en las tarifas energéticas, se obtiene unos valores del VAN según se muestran en la tabla 10:

<i>Recuperador</i>	<i>VAN 3 AÑOS</i>	<i>VAN 6 AÑOS</i>
Entálpico de placas	$VAN \leq 0$	$VAN \leq 0$
Entálpico rotativo	$VAN \leq 0$	$VAN \geq 0$
Sensible de placas	$VAN \leq 0$	$VAN \leq 0$
Sensible rotativo	$VAN \leq 0$	$VAN \leq 0$
Tubos de calor (Heat pipes)	$VAN \leq 0$	$VAN \leq 0$

Tabla [10]. Rentabilidad económica

A 3 años ningún proyecto es rentable económicamente, ya que su amortización se obtiene más allá de los seis años de período de amortización para poder empezar a obtener beneficios.

ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL

El edificio estudiado en este proyecto consume energía eléctrica y gas natural, por lo que se calculará la producción de CO₂ que se ha evitado emitir a la atmósfera debido a las reducciones de consumo energético que se producen en las instalaciones con recuperadores.

Hay que tener en cuenta que en todos los casos el consumo de energía eléctrica aumenta produciéndose una disminución del consumo de gas natural, con lo que habrá que calcular la diferencia entre el CO₂ que se ha dejado de emitir por la reducción del consumo de gas natural y el que se ha emitido a mayores por el aumento de consumo de energía eléctrica.

Considerando que la producción media de CO₂ es de 0,545 Kg CO₂ / kWh. en lo que concierne a la energía eléctrica y de 0,203 Kg CO₂ / kWh. en el caso del gas natural, se obtienen los resultados que se presentan en la tabla 11.

<i>Recuperador</i>	<i>Aumento por energía eléctrica (Kg CO₂)</i>	<i>Ahorro por gas natural (Kg CO₂)</i>	<i>Reducción de emisiones (Kg CO₂)</i>
Entálpico de placas	+45.436,65	-83.393,72	-37.957,07
Entálpico rotativo	+36.809,30	-88.501,78	-51.692,48
Sensible de placas	+45.867,2	-83.355,65	-37.488,45
Sensible rotativo	+37.468,75	-69.626,31	-32.157,56
Tubos de calor (Heat pipes)	+48.853,8	-58.747,41	-9.831,61

Tabla [11] Impacto ambiental de las instalaciones.

Desde el punto de vista medioambiental todas las instalaciones son favorables ya que con todas se produce una disminución de emisiones de CO₂, reduciendo el impacto medioambiental.

En la figura 6 se aprecia con más claridad el porcentaje de reducción de CO₂ para cada recuperador de calor.

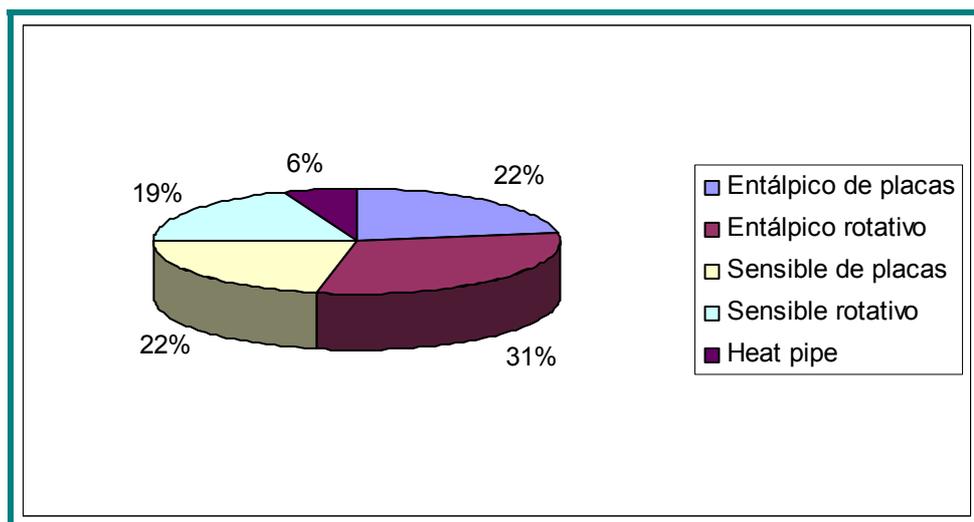


Figura [6] % de impacto medioambiental de los recuperadores

CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio energético, medioambiental y económico de cinco equipos recuperadores de energía como son: de placas sensible, de placas entálpico, rotativo sensible, rotativo entálpico y heat pipes, todos ellos integrados en un sistema de climatización de tipo aire aplicado a un edificio centro de salud.

Para llevar a cabo este estudio se ha utilizado un programa de simulación energética denominado eQUEST (the QUick Energy Simulation Tool) aprobado por el estado de California (USA) en 2005 y de reconocimiento internacional. Esta herramienta nos ha permitido simular el consumo de energía de una instalación de climatización todo aire con cada uno de los cinco recuperadores de calor.

Los índices energéticos, medioambientales y económicos nos han ayudado a seleccionar el equipo óptimo para el centro de salud y éste ha sido el recuperador rotativo entálpico.

Los recuperadores de energía a pesar de que ahorran energía disminuyendo el consumo de gas natural, éstos consumen energía eléctrica y siendo ésta de más elevado coste económico ya que el precio de la energía eléctrica es bastante más elevado que el del gas natural, la instalación no resulta tan rentable.

La instrucción ITE 02.4.2 expresa que hay que realizar el estudio económico de la inversión y recomienda un estudio de rentabilidad mediante los factores VAN o TIR.

Realizado el estudio de rentabilidad de la instalación de climatización con cada uno de los recuperadores de energía para un horizonte de seis años solamente el recuperador rotativo entálpico consigue un $VAN \geq 0$.

El recuperador rotativo entálpico es el que más energía recupera (latente y sensible) dentro de todos los sistemas elegidos presentando por consiguiente la máxima eficiencia.

A pesar del elevado coste económico de este recuperador su instalación es rentable ya que se amortiza en seis años.

Hay que destacar que debido a que los caudales de aire de las distintas zonas del Centro de Salud objeto del estudio son bastante bajos, de hecho ninguna de las 7 zonas térmicas definidas se acerca a los valores que indica el RITE como límites, no sería necesario la utilización de recuperadores de calor en la instalación de climatización empleada.

El caso más significativo, que aparece en este estudio, es el de los recuperadores heat pipes ya que si bien desde el punto de vista energético recuperan energía en un porcentaje de 18,59%, esta recuperación no se traducirá nunca en una rentabilidad económica, debido al incremento de consumo de energía eléctrica que se produce por su operatividad, aunque hay ahorro de consumo de gas natural este no se compensa con el gasto del equipo.

Desde el punto de vista medioambiental todos los recuperadores de energía planteados en este estudio presentan una reducción de las emisiones de CO₂ lo que resulta altamente positivo dada la situación actual y la obligación que existe de reducir éstas según el Protocolo de Kyoto.

BIBLIOGRAFÍA

Coscollano Rodríguez, José . *Ahorro energético en la construcción y rehabilitación de edificios*. Ed. Paraninfo, Thomson Learning. 2002

Ezquerri i Pizà, Pere. *Climatización de confort e industrial*. Marcombo. 1992

Fumadó Alsina, Juan Luis. *Climatización de edificios*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. Ediciones del Serbal. 1996

Jutglar, Iluis. *Bienestar y ahorro energético en climatización*. Ed Ceac. 2002

Pizzetti, Carlo . *Acondicionamiento del aire y refrigeración*. Teoría y cálculo de las instalaciones. 2ª Edición, Editorial Bellisco, 1991.

Torrella Alcaraz, Enrique. Navarro Esbrí, Joaquín. Cabello López, Ramón. Gómez Marqués, Francisco. *Manual de climatización*. AMV Ediciones. 2005

Universidad de Valladolid, GIR de Termotecnia. *Avances en ingeniería de climatización y refrigeración*. International Workshop. Editores: Francisco Javier Rey Martínez, Eloy Velasco Gómez. 2006

Cálculo y obtención de los parámetros de confort. El Instalador. Marzo 2004

Diseño de un sistema de climatización para conseguir el confort térmico. M.Chiner Dasi y R. Ferrer Durá. Universidad Politécnica de Valencia. Montajes e Instalaciones. Octubre 2004

Efectos medioambientales a los que contribuyen las aplicaciones energéticas. Conde Lázaro, Eduardo. Ramos Millán, Alberto. Reina Peral, Pablo. Medio Ambiente. 2005.

Selección de un sistema de climatización con el programa de simulación HAP. Javier Rey, Francisco. Velasco Gómez, Eloy. Herrero Martín, Ruth. Varela Díez, Fernando.

Catálogo 1995/1996 Soler & Palau.

Catálogo Viessmann. VITOTEC hojas de datos técnicos, 1997.

Catálogo Sedical. 2006.

Catálogo DAIKIN. Climatización industrial. 2006.

ASHRAE Handbook 2004

DTIE 8.01 *Recuperación de energía en sistemas de climatización*. Atecyr 1996.

DTIE 9.01 *Sistemas de climatización*. Alejandro Cabetas, Atecyr 2001.

DTIE 9.02 *Relación entre el edificio y el sistema de climatización*.