

El edificio PETER. Un ejemplo de integración de las energías renovables en la edificación

F. López-Rodríguez*	Doctor Ingeniero Industrial
F. Cuadros*	Doctor en Ciencias Físicas
C. Segador*	Ingeniero Industrial
A. Ruiz Celma*	Doctor Ingeniero Industrial
J. García Sanz-Calcedo*	Doctor Ingeniero Industrial
A. Mena**	Doctor Ingeniero Industrial
S. Sotullo***	Licenciado en Ciencias Físicas
E. Giacola***	Arquitecto
J.A. Ferrer***	Licenciado en Ciencias Físicas
M.R. Heras***	Doctor en Ciencias Físicas

*Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Extremadura. Campus Universitario, Avda. de Elvas s/n. Badajoz.Spain.

**Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Huelva

***Unidad de Investigación sobre Eficiencia Energética en Edificación. CIEMAT. Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas

RESUMEN.

El objetivo principal del presente artículo es mostrar y dar a conocer las aplicaciones de la edificación bioclimática, sus ventajas y características. Para ello, se muestra el proyecto de Construcción de un Edificio Inteligente de “Energía Convencional Cero” (“Bioclimático”) de unos 1700 m² en el Campus de la Universidad de Extremadura en Badajoz. Se pondrán en práctica los conceptos sobre ahorro y eficiencia energética en la edificación, así como la integración de las energías renovables en el edificio PETER. Además se mostrará como es posible en ciudades de clima extremo (como es la ciudad de Badajoz, con necesidad de calefacción en invierno y de refrigeración en verano), climatizar edificios aplicando medidas que minimizan el consumo energético.

Finalmente, se lleva a cabo un proceso de simulación energética que permite comprobar el comportamiento energético del edificio.

Palabras clave: Integración, Edificio de energía cero (EEC), Eficiencia Energética en la edificación

PETER building. An example of integration of renewable energies into the edification

ABSTRACT

The present article is intended to show the main features, advantages and applications of bioclimatic architecture as well as the integration of renewable energies into the edification. For such purpose, the Project of an approximate 1 700 m² *intelligent zero-conventional-energy* ("*Bioclimatic*") building (referred to as *PETER Project* (Experimental Transborder Park on Renewable Energies)), to be located in the Campus of the University of Extremadura in Badajoz, is described. Specific principles directly relating building design, like energy saving, energy efficient and integration of renewable energy sources, are put in practice. In addition will be shown as it is possible in cities of extreme climate (as it is the city of Badajoz, with necessity of heating in winter and refrigeration in summer), to acclimate buildings applying measures that diminish the power consumption.

Finally, a description of the energy response of the building is carried out via computer simulation techniques.

Keywords: *Integration, Renewable Energy, Zero Energy Building (ZEB), Energy Efficiency in Edification*

1. Introduction

Los edificios son grandes consumidores de energía. En los países con mayor nivel de desarrollo, el consumo de los edificios representa de un 35 al 40 % de la energía final que se consume en el país. Así por ejemplo, considerando los edificios de viviendas (residencial) y los terciarios (no residencial), en EE. UU. el consumo total es del 40 %, mientras que en Europa-15 es del 37 %. En España, si se considera también el transporte de los materiales de construcción del edificio, se estima que el consumo final de energía atribuido a la edificación es de un 35% [1-2].

Ante esta situación, todos los gobiernos de Europa han diseñado estrategias de ahorro y eficiencia energética para los edificios, en cumplimiento de la Directiva 2002/91/CE de eficiencia energética [3], que pretende conseguir la reducción de la demanda de los edificios de nueva construcción.

En España se utiliza una herramienta muy importante como es el Código Técnico de la Edificación (CTE) [4], con el que se pretende que los edificios de nueva construcción rebajen su demanda energética en un 25%. Para ello se deben implementar medidas para reducir la demanda (se trata de construir bien de forma que los edificios dispongan de un buen aislamiento), al mismo tiempo que se establece un rendimiento mínimo de las instalaciones energéticas, haciendo obligatoria la energía solar térmica, con el fin de que el consumo final se rebaje considerablemente.

Así pues, se tiende a construir edificios energéticamente sostenibles, donde el balance energético sea nulo o el más bajo posible, tras la implementación de técnicas bioclimáticas. Algunos antecedentes sobre edificio “zero” emisiones o energéticamente sostenibles se presentan a continuación:

- PSE- ARFRISOL [5]. Arquitectura bioclimática y frío solar. Es un proyecto Singular y Estratégico dentro del Plan Nacional del Ministerio de Educación y Ciencia Español coordinado por la “Unidad de Eficiencia Energética en la Edificación” del CIEMAT. En este proyecto participan 12 socios, entre los que se encuentran empresas tecnológicas del sector de la construcción y de la energía solar, así como grupos de investigación procedentes de diferentes Universidades.

- Proyecto GREEN BUILDING CHALLENGE SPANISH TEAM [6], donde se han llevado a cabo estudios sobre el comportamiento medioambiental de edificios.

- Concurso de ideas para el desarrollo de la eficiencia energética en una vivienda social rural en Chile [7]. Se trata de edificar una vivienda (en el medio rural) siguiendo principios de sostenibilidad y ahorro energético.

-Ciudades para un futuro más sostenible [8]. Se trata del sitio web del Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio (Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid de la Universidad Politécnica de Madrid) junto con el Ministerio de la Vivienda.

-Agenda de la Construcción Sostenible [9]. Es el portal web realizado por el Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona, Escuela Técnica Superior de Arquitectura del Vallés, Asociación de Estudios Geobiológicos y el Instituto Cerdá.

-Proyecto Regen-Link [10] Se trata de una rehabilitación de viviendas y locales comerciales en San Cristóbal de los Ángeles (Madrid), también con la participación de CIEMAT.

-Ecociudad de Sarriguren [11]. Promovida por el Departamento de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda del Gobierno de Navarra. La coordinación de los trabajos de redacción del planeamiento así como de la gestión de suelo ha recaído en la empresa pública Navarra de Suelo Residencial (NASURSA).

-Forum Barcelona [12], un reciente proyecto que creó suelo urbano para la ubicación de los edificios de nueva construcción que sirvieron de sede de dicho evento.

No obstante, y para cualquier edificio de estas características, es necesario conocer el comportamiento termodinámico del mismo de forma precisa antes de su construcción. Cualquier actuación que arroje buenos resultados en un edificio tras la aplicación de la metodología contemplada en el CTE, necesita validarse, no solo monitorizando adecuadamente el edificio una vez construido y comprobando experimentalmente los resultados, sino antes de construirlo; es decir, teóricamente, para lo cual son de extraordinaria ayuda las herramientas de simulación de forma que se optimiza el diseño energético adaptándolo a su entorno.

Con este propósito, los firmantes del presente trabajo han diseñado el edificio PETER, basándose en otros trabajos previos [13-17]. Un edificio construido con materiales ligeros, sostenible energética y medioambientalmente, y que son totalmente reciclables. Se describirán los sistemas de climatización del edificio, aunque la finalidad de este trabajo es la de estudiar la demanda energética del mismo, comparando su evolución en relación al modelo tradicional en donde los materiales ligeros se sustituyen por los materiales convencionales o de alta inercia térmica, estudiándose la influencia de los aspectos bioclimáticos sobre la demanda (situación, sombreamiento, cerramiento, etc.), dejando para trabajos posteriores la influencia de las instalaciones (captadores solares, máquina de absorción, etc.).

Otro de los objetivos de este trabajo es comparar los resultados obtenidos tras la aplicación del CTE, con la simulación efectuada utilizando el programa TRNSYS (The Transient Energy System Simulation Tool) [18], llevándose a cabo en evolución libre, dejando que el edificio se comporte libremente, sin utilizar ningún sistemas de climatización tanto en invierno como en verano.

2. Descripción y tecnología

En este capítulo se muestran las características y tecnologías utilizada para la construcción del edificio PETER, que consta de dos plantas de unos 600 m² cada una, y una planta sótano de unos 500 m². Dispone de una zona para laboratorios y oficinas, orientada hacia el sur, y zonas generales tales como baños, salas de reuniones, orientadas hacia el norte. El edificio es de forma rectangular presentando su fachada más amplia orientada hacia el Sur. En la Figura 1 se aprecian distintas vistas del edificio tal como se construirá finalmente. Se describirán las instalaciones, aunque no es objeto

del presente estudio el presentar la influencia de las mismas en la climatización del edificio, como ya se ha indicado anteriormente.

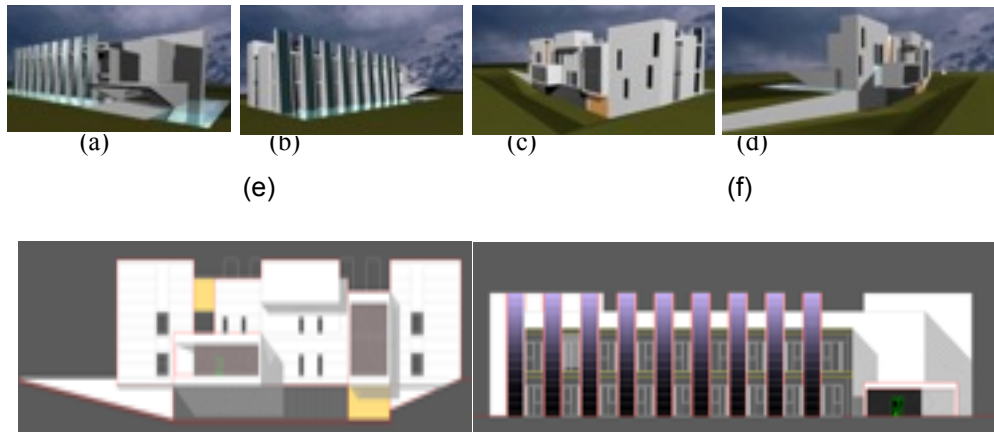


Figura 1: Vistas del edificio PETER.

Las características del edificio se resumen a continuación:

- Se construirá, teniendo en cuenta las características climáticas de la ciudad de Badajoz.
- Se aplicarán los conceptos de captación solar pasiva. Fachada sur ventilada con instalación de superficies fotovoltaicas que se situarán entre las ventanas. Estas instalaciones fotovoltaicas actuarán como chimeneas.
- Se dotará al edificio de buen aislamiento térmico, evitando puentes térmicos.
- Se hará un sombreado de ventanas y cubierta
- Se hará uso de la iluminación natural el mayor tiempo posible y en la totalidad de las dependencias.
- Instalación de suelo radiante para calefacción y de rejillas de aire para refrigeración.

- Climatización mixta solar-biomasa. Instalación de una superficie de captación térmica y de una caldera de biomasa (pellets), de 35 KW de potencia térmica, que alimentarán a una máquina de absorción.
- Monitorización completa del edificio.
- Volcado de datos sobre la temperatura interior del edificio en tiempo real a la red.

2.1 Calefacción y climatización

Para disminuir el consumo energético del edificio, como ya se ha indicado anteriormente, se ha hecho uso de distintas técnicas de aprovechamiento energético como son, por ejemplo, las del uso del aire caliente de las chimeneas solares fotovoltaicas en los lugares comunes.

Así, como se aprecia en la vista f, figura 1, el aire caliente que se acumula por detrás de los módulos fotovoltaicos situados en la fachada sur, asciende hacia la parte superior del edificio. En invierno, este aire caliente se recogerá y se dirigirá hacia los lugares comunes (hall de entrada y pasillos) a través de conductos, mediante ventilador, y en verano se conducirá hacia el exterior del edificio.

Del mismo modo, en verano, se usan rejillas situadas en la misma fachada y en la posterior, para utilizar el flujo de aire frío, provocado durante la noche, que se obtiene por contacto con la lámina de agua del lago que se situará en la zona sur.

El sistema de calefacción empleado para el edificio PETER será una combinación de los siguientes elementos:

- Sistema de suelo radiante
- Utilización de colectores solares térmicos
- Apoyo con caldera de biomasa

El aporte de calor al edificio se efectuará por medio de suelo radiante, que viene a ser el sistema que más se aproxima al perfil de calefacción ideal, consiguiendo el máximo confort térmico para las personas. Además, el suelo radiante es el sistema de intercambio de calor que mejores rendimientos proporciona cuando se trata de calefacción solar térmica.

Teniendo en cuenta las necesidades energéticas en invierno y en verano, se ha calculado una superficie de captación de 56,40 m², que se aproxima a 50 m². O sea, 25 colectores de 2 m² cada uno. La energía necesaria para calefacción del edificio se muestra en la figura 2.

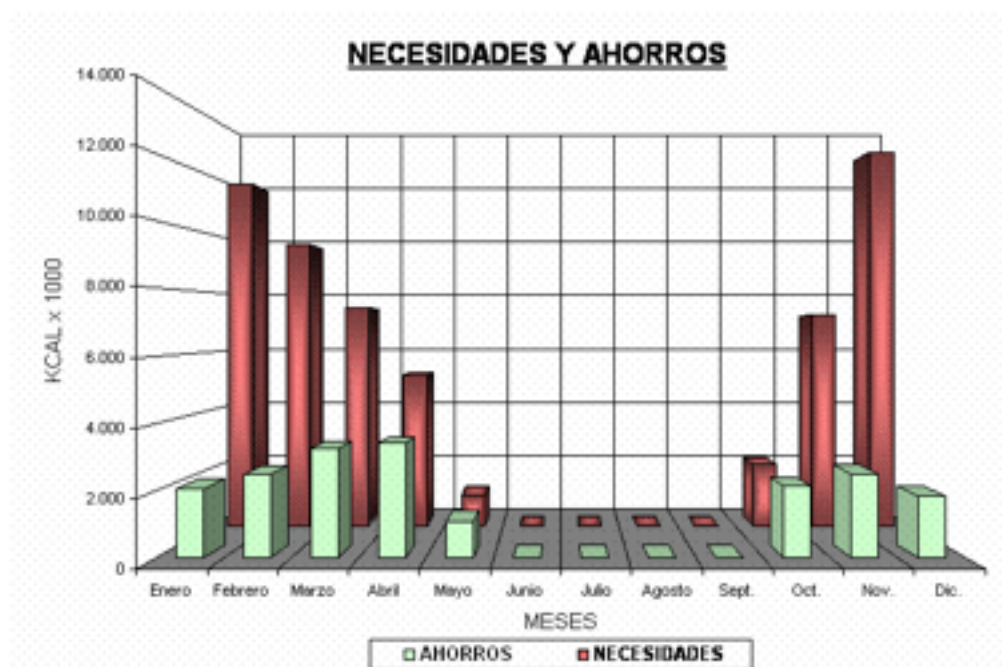


Figura 2: Necesidades de calefacción del edificio y energía aportada por los captadores

En cuanto a la refrigeración, se utilizará también parte de las instalaciones ya descritas anteriormente.

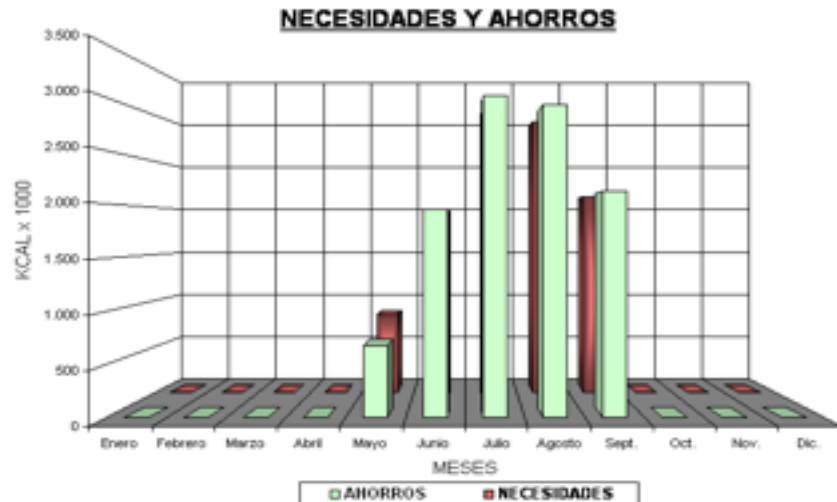
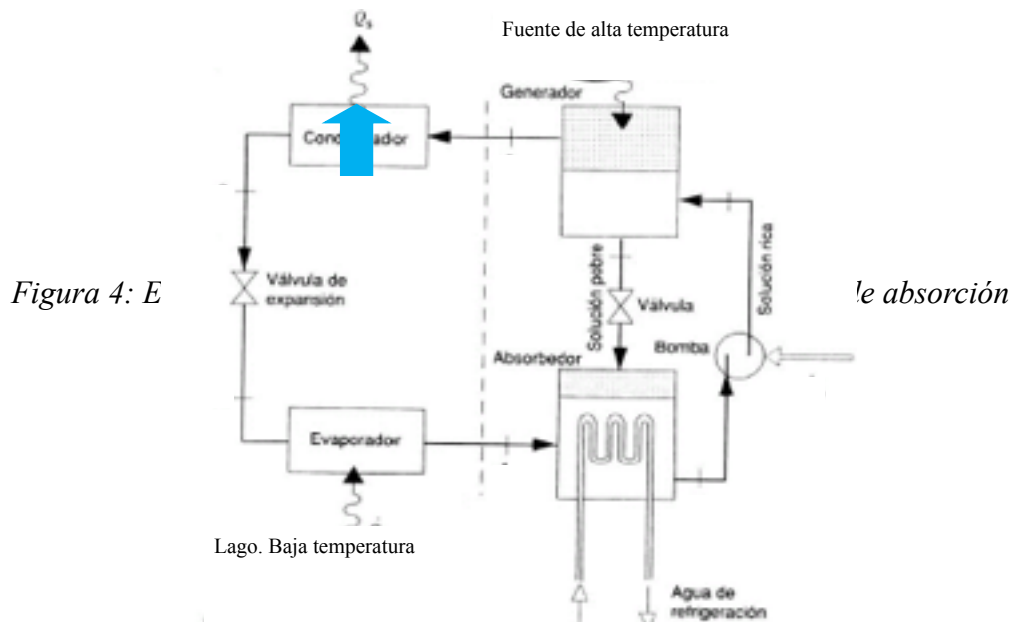


Figura 3: Contribución de los captadores solares térmicos para cubrir las necesidades de refrigeración.

- Sistema de refrigeración mediante suelo radiante
- Uso de una máquina de absorción de 20 kW de potencia máxima de refrigeración. Esta máquina estará alimentada por los 25 captadores térmicos, cuyas características han sido descritas en el apartado anterior, y con el apoyo de una caldera de biomasa
- Uso de un sistema automático de ventilación cruzada.

En la figura 3, se observa el cálculo y la aportación energética de los captadores solares térmicos (cobertura solar) para cubrir las necesidades de refrigeración. En este caso, la cobertura solar se acerca al 98,5% siendo el 1,5% restante aportado por la caldera de biomasa. La figura 4 describe el circuito de refrigeración del edificio.



Sin tener en cuenta los aportes de calor de las chimeneas fotovoltaicas, 25 colectores solares térmicos de alto rendimiento serían suficientes para cubrir el 32,7% de las necesidades de calefacción y el 98,5% de las necesidades de refrigeración. El resto de la energía necesaria, 67,3% y 1,5% de calefacción y refrigeración se suministra con la caldera de biomasa de 35 kW.

La refrigeración del edificio se realizará con una máquina de absorción de 20 kW de potencia máxima de refrigeración. El calor necesario para suministrar a la máquina se realiza con los captadores solares térmicos y si no fuera suficiente con la caldera de biomasa.

2.2 Resto de instalaciones

El edificio PETER contará también con una instalación de gestión y aprovechamiento del agua mediante:

- Recogida de aguas pluviales

- Almacenamiento en un pequeño lago. Enfriamiento del aire de ventilación por contacto con esta lámina de agua.
- Aprovechamiento de este agua de lluvia y reutilización de las aguas de los lavabos para su uso en el WC.

A fin de llevar a cabo una cuantificación global de todos los recursos de energía y de agua utilizados, así como de los rendimientos de los dispositivos de transformación de energía, al edificio PETER se le dotará de un completo sistema de monitorización y control. Las principales actuaciones serán:

- Regulación de la luz natural y artificial.
- Monitorización del rendimiento de la iluminación artificial.
- Control de la temperatura en los colectores solares térmicos, en la caldera de biomasa y en la máquina de absorción.
- Control de temperatura de la instalación solar fotovoltaica.
- Monitorización y visualización en pantalla display de la energía eléctrica producida por la instalación solar fotovoltaica. Visualización de los rendimientos instantáneos.
- Control de la ventilación nocturna forzada norte-sur.
- Control del sistema de entrada de la radiación solar al edificio (regulación por lamas).
- Control del sistema de calentamiento de las zonas comunes con el aire proveniente de las chimeneas fotovoltaicas de la cara sur.

3. Técnicas

En la construcción del edificio, se utilizarán los más modernos e innovadores desarrollos tecnológicos, permitiendo la utilización bioclimática del edificio, así como el empleo de aislamientos eficientes, control de los flujos energéticos y el uso de energías renovables. A continuación se exponen las diferentes estrategias que se seguirán en su construcción:

3.1 Uso de la radiación solar

Se ha simulado la posición del sol para todas las épocas del año con el fin de conocer su influencia y tomar las medidas necesarias para evitar calentamientos en los meses de verano y favorecer dicho calentamiento en invierno, sobre todo en las zonas orientadas al Sur, donde van a desarrollar su actividad diaria el mayor número de personas. En la figura 5 se observan las trayectorias solares a lo largo de los meses del año, vistas desde el lugar donde se construirá el edificio.

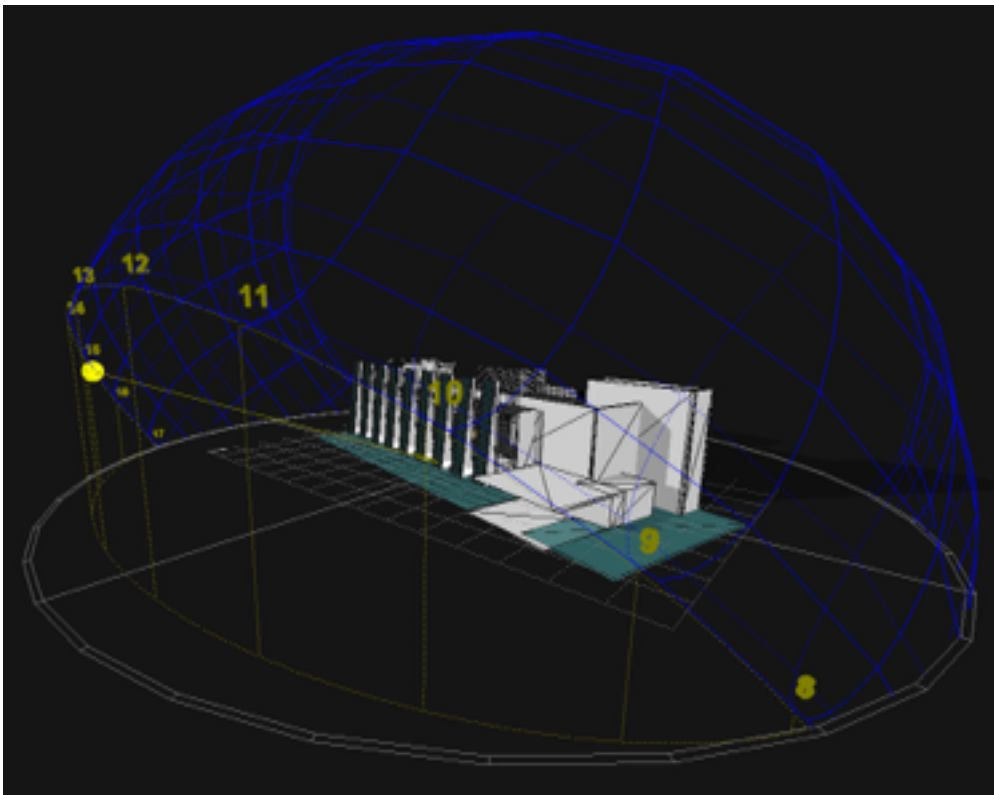


Figura 5: Posición del Sol en las diferentes épocas del año, protección contra la radiación solar según la altura del sol en verano, ganancias solares según la altura del sol en invierno.

Si se proyecta el horizonte que se observa desde este lugar sobre dichas trayectorias solares, se deduce que habrá sombras sobre el edificio PETER a primera hora del día y a última hora de la tarde, debido a los edificios y árboles circundantes. Estas sombras reducen la radiación solar sobre el edificio en un 7%, aproximadamente. Naturalmente, durante los meses de verano se rechazarán los rayos solares mediante el uso de persianas exteriores que se cerrarán automáticamente cuando la radiación solar incidente sobre la fachada sur y la diferencia de temperaturas dentro y fuera del edificio

alcancen un valor umbral (generalmente en el verano, y en tiempos de soleamiento inhabitual para la época). La situación opuesta se dará el resto del año (invierno, y en tiempos inhabitualmente fríos para la época), en el que se abrirán las persianas permitiendo la entrada del sol en las dependencias de mayor uso que estarán ubicadas al sur. Todas estas aplicaciones se han tenido en cuenta en los procesos de simulación del edificio.

3.2 Aislamiento

El proceso de transmisión de calor en un edificio de estas características se lleva a cabo principalmente por radiación en un porcentaje de hasta el 75 %, mientras que la conducción y convección solo ocupan el 25 % restante [19-20]. Por tanto, cualquier tipo de aislamiento de un edificio, debe detener principalmente el flujo de calor radiante, sin olvidar la transferencia de calor por conducción.

Entre los diferentes tipos de aislamiento, creemos que los de tipo reflectivo pueden ser los más adecuados y eficientes ya que, además de su alta capacidad de reflejar el calor, se une la estructura de burbujas de aire retenidas en su interior, proporcionando una alta resistencia al paso del calor a través de las superficies.

En el edificio PETER, la secuencia de materiales que configurarán las paredes, desde el exterior hacia el interior, es como sigue:

- Capa de mármol modelo Frontek de Venatto de espesor 2cm.
- Cámara de aire de baja emisividad ($\epsilon=0,03$) de 4 cm de espesor.
- Aislante reflectivo de 4 mm de espesor.
- Tablero de madera estructural de 12 mm de espesor.
- Aislante de fibra natural (kenaf) de 2,5 cm de espesor.
- Cámara de aire de baja emisividad ($\epsilon=0,03$) de 2 cm de espesor.
- Aislante reflectivo de 4 mm de espesor.
- Cámara de aire de baja emisividad ($\epsilon=0,03$) de 4 cm de espesor.
- Placa de yeso laminado de 15 mm de espesor.

La transmitancia térmica (valor de U) es para este caso de 0,31 W/m² °C, valor muy bajo comparado con los que resultan cuando se utilizan materiales tradicionales. (Lo

anterior indica que el edificio, a pesar de utilizar materiales de cobertura ligeros, dispone de un buen aislamiento térmico)

Si consideramos la transferencia total de energía a través de la epidermis completa diseñada para el edificio PETER y lo que se obtendría aplicando el CTE (Programa LIDER) [21], se alcanzarán porcentajes de reducción de dicha transferencia energética del 48% en invierno y del 80% en verano, respecto a los valores de referencia.

Conviene resaltar que las mayores demandas de energía en esta zona de España se producen en verano, como consecuencia de un generalizado uso de aparatos de aire acondicionado. Tampoco se ha tenido en cuenta para dicho cálculo, la aportación de calor de las chimeneas fotovoltaicas, ya que si se tienen en cuenta, el porcentaje de reducción de la demanda energética podría pasar del 48% al 60%.

3.3 Modelos climáticos y de cargas.

Dado que no se ha empleado un programa específico para diseño del edificio, y con el fin de obtener los mejores resultados energéticos en la simulación, se ha llevado a cabo un análisis de la climatología del lugar de ubicación, unido a las estrategias que se establecerán a continuación, como consecuencia de los estudios previos que antes se han efectuado, y con el fin de conocer las cargas térmicas que posteriormente deben utilizarse con el TRNSYS. De esta forma, el edificio es concebido bajo parámetros de eficiencia energética, aplicando conceptos de arquitectura bioclimática y utilizando herramientas de simulación para apoyo al diseño y a su evaluación energética.

Badajoz está situado en el suroeste de España y limítrofe con Portugal. Su clima es mediterráneo continental con influencia atlántica, consecuencia de la proximidad de la costa portuguesa. Sus inviernos son suaves y los veranos son calurosos. Las

precipitaciones son irregulares, con una media anual de 463 mm. Los meses invernales son los que registran más precipitaciones mientras que los veranos son bastante secos. Tanto la humedad como los vientos son reducidos, no obstante, es frecuente la aparición de nieblas, especialmente durante el invierno.

Las figura 6 muestran la evolución de las temperaturas medias mensuales y la radiación solar global horizontal, datos obtenidos de la Agencia Estatal de Meteorología (España) [22] y del CTE.

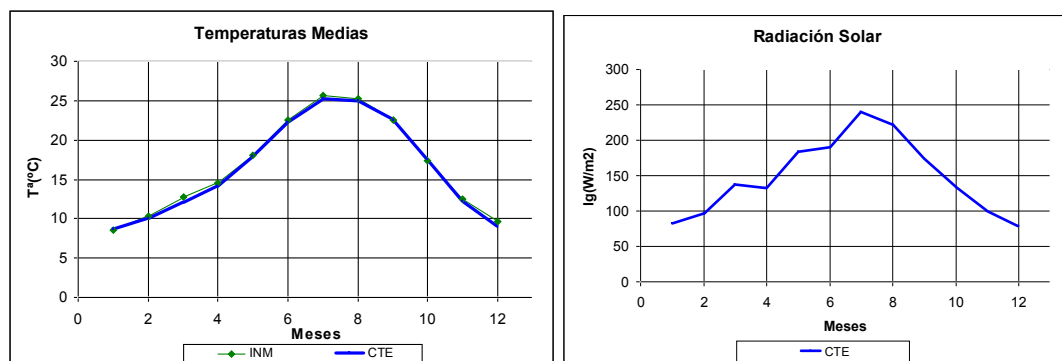


Figura 6. Temperatura media mensual y Radiación Solar Global Horizontal

Otra de las herramientas utilizadas en fase de diseño de las estrategias, es el análisis de Givoni o de los diagramas sicométricos. Son utilizados para ayudar al diseño del edificio, orientando hacia una u otra técnica de acondicionamiento con objeto de optimizar el grado de confort interior a lo largo de un año.

En la figura 7 se muestra el diagrama de Givoni obtenido para Badajoz. De acuerdo con este análisis para los diferentes meses del año, se obtienen unas pautas estacionales, que marcan las estrategias bioclimáticas a utilizar

Por tanto, con las temperaturas y radiación anteriores, las diferentes técnicas y estrategias que se aconsejan inicialmente, tras realizarse un análisis de Givoni, (figura 7), son las siguientes:

- En invierno se deberá obtener:
 - Temperaturas máximas dentro de la zona de calefacción por ganancias internas.
 - Temperaturas medias dentro de la zona de aprovechamiento pasivo de energía solar.
 - Temperaturas mínimas dentro de la zona de aprovechamiento activo de energía solar.
 - Uso de ganancias directas.
 - Recuperación de calor.
- En verano se deberá obtener:
 - Temperaturas medias en zonas de confort o próximas.
 - Ventilación nocturna con uso de masa como inercia térmica.
 - Baja incidencia de los sistemas evaporativos.
 - Producción de frío mediante máquina de absorción alimentada por el sistema de captadores solares.
 - Sombreamientos en función de la orientación.

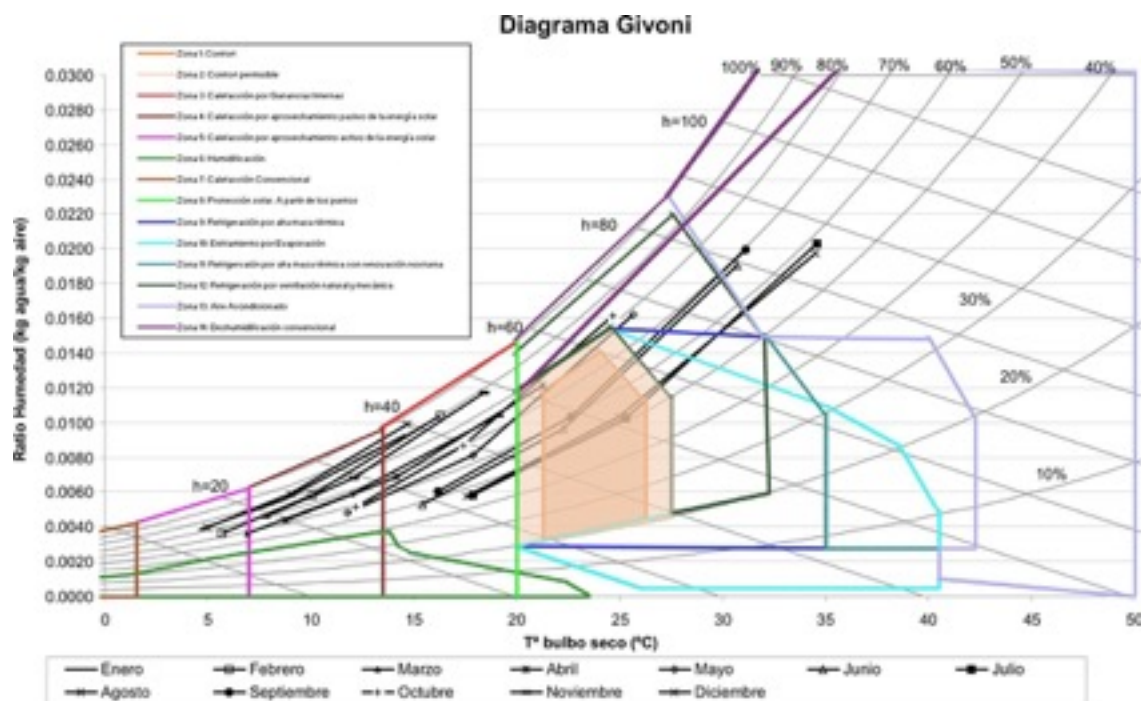


Figura 7. Diagrama sicométrico

4. Simulación energética del edificio

Un modelo de simulación es una representación abstracta de un sistema real que permite predecir el comportamiento energético de un diseño determinado. La simulación permite valorar desde un punto de vista energético las diferentes posibilidades de construcción de un edificio bajo unas condiciones climáticas concretas.

La evaluación teórica del edificio se ha realizado con el programa de simulación energética TRNSYS (The Transient Energy System Simulation Tool) [18]. Este software está especialmente diseñado para la evaluación térmica de edificios y de sistemas solares activos. Se le han suministrado los siguientes parámetros y variables de entrada:

- Año climatológico de Badajoz.
- Definición de las zonas térmicas o zonas con igual comportamiento térmico.
- Parámetros constructivos.
- Cargas internas:
 - Ocupación de oficina: 8-18h.
 - Iluminación según norma.
 - Equipos según norma.
- Horarios diferenciados para verano e invierno.
- Ventilación e infiltración según norma.
- Sombreamientos:
 - Exteriores.
 - En cubierta mediante captadores solares.
 - Persianas de lamas en ventanas durante el verano.
- Sistemas del edificio.

Para ello, se ha dividido el edificio en diferentes zonas térmicas atendiendo a su situación, uso, ocupación y comportamiento energético. Como ejemplo, la Figura 8, muestra la zonificación térmica de la planta baja del edificio.

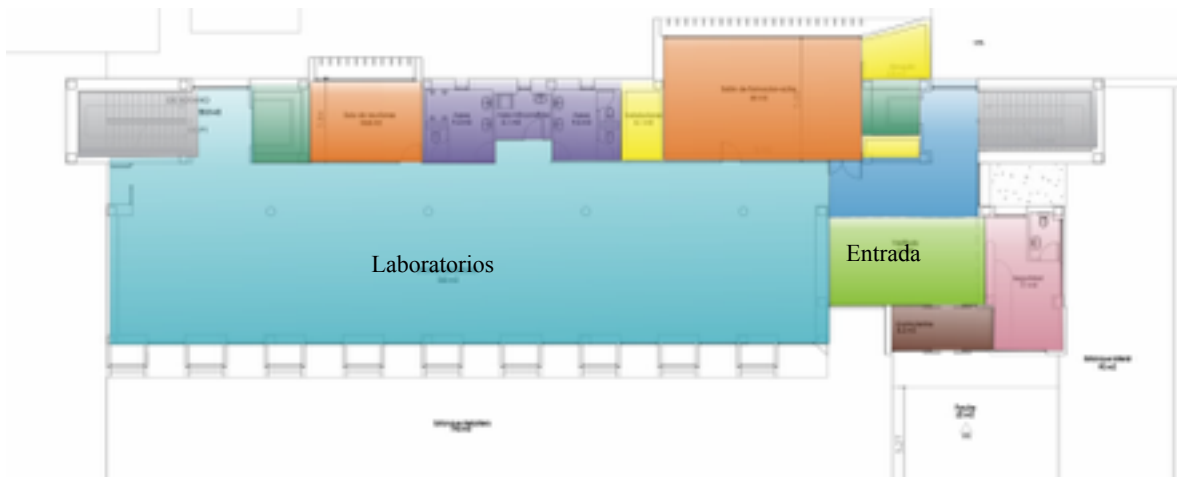


Figura 8: Zonificación térmica de la planta baja del edificio

Una vez introducido el modelo del edificio con sus parámetros característicos, los modelos climatológicos para el año meteorológico típico de Badajoz y los modelos para los diferentes elementos de sombreado, se han efectuado las simulaciones del edificio en evolución libre. Para ello se deja que el edificio se comporte libremente sin utilizar ningún sistema de climatización tanto en invierno como en verano.

Se han realizado simulaciones para diseños diferentes de cerramientos: 1.- Cerramientos formados por materiales convencionales o de alta inercia térmica; 2.- Cerramientos ligeros o de más baja inercia térmica (aislamiento reflectivo, muros ligeros). El objetivo es comprobar si la sustitución de elementos con valores más altos de inercia térmica, tales como los tradicionales de hormigón o el barro cocido con aislamiento tradicional, por otros más ligeros y con aislamiento reflectivo (como los descritos en el edificio

PETER), afectarán de forma determinante al consumo energético y a la climatización del edificio.

Finalmente, se establecen las técnicas y estrategias de partida, de acuerdo con la morfología, composición y resto de componentes o sistemas característicos que se han descrito para el edificio.

5. Resultados

Si consideramos las dos zonas más importantes mostradas en la figura 8, los laboratorios y el hall de entrada al edificio, los resultados que se obtuvieron van en el mismo sentido.

Por lo que respecta a la entrada, esta zona se encuentra ubicada en la planta baja del edificio, colindante con los laboratorios. Es un espacio a dos alturas cuya fachada principal aunque está orientada al Sur, no se trata de una gran zona acristalada, figura 8.

Hay que tener en cuenta que esta zona es una zona de paso, sin cargas internas y con una densidad de ocupación muy baja. Los resultados obtenidos con la simulación de esta zona con ambos cerramientos y durante unos días tipo de verano, muestran una mejora con el cerramiento inercial frente al ligero, centrando las temperaturas en la zona de confort térmico. Por el contrario, durante el invierno el cerramiento ligero se comporta ligeramente mejor que el inercial. Esto puede ser debido al aislamiento que lo compone, ya que es capaz de mantener más el calor en el interior.

Tomando como zonas más significativas del edificio PETER los laboratorios que están distribuidos en tres plantas (sótano, baja y primera), con fachada principal orientada hacia el Sur, colindante a los contrafuertes exteriores y que además de servir como

elementos de sombreadamiento pueden ser usados como sistemas recuperadores de calor, los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 9 y 10.

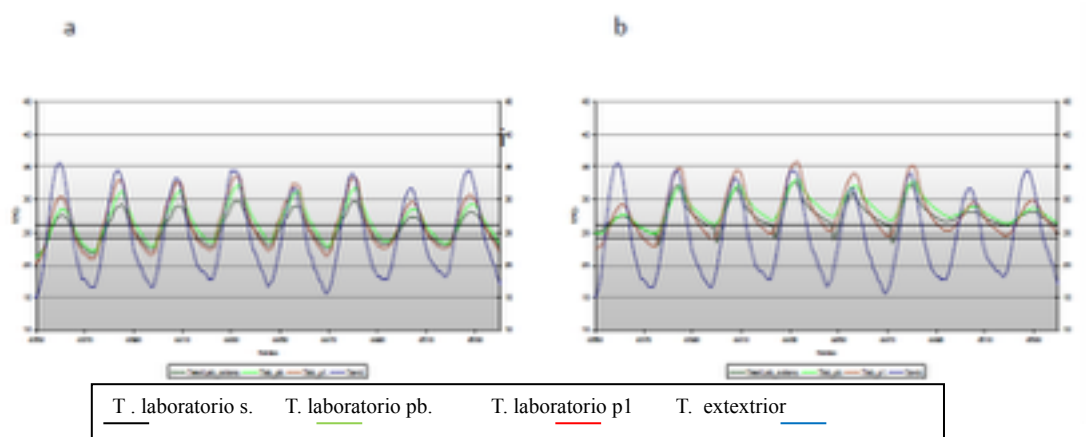


Figura 9: Temperatura en los laboratorios durante el verano usando a) Cerramiento inercial. b) Cerramiento ligero.

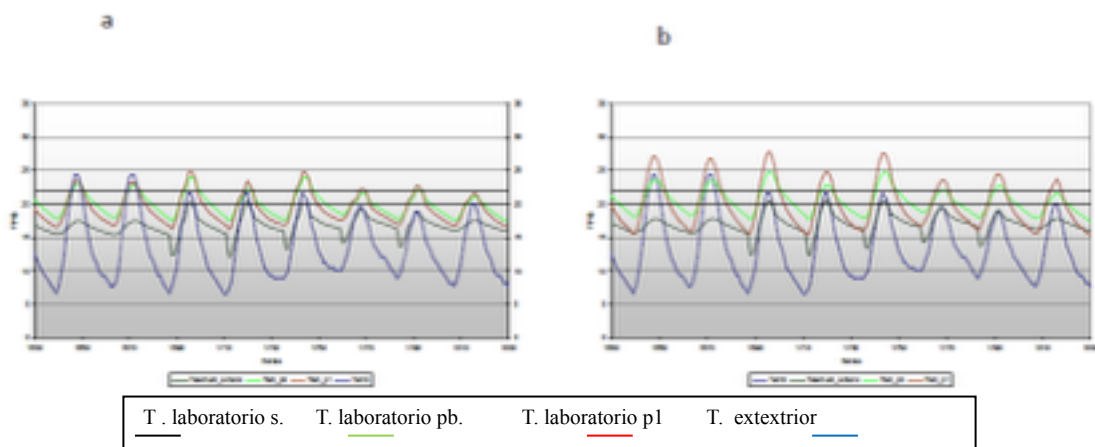


Figura 10: Temperatura en los laboratorios durante el invierno usando a) Cerramiento inercial. b) Cerramiento ligero.

Estas gráficas muestran una mejora durante el verano en los resultados obtenidos con el cerramiento inercial frente al ligero, especialmente en las primeras plantas, encontrándose aquéllos más próximos a la zona de confort térmico.

Durante el verano y dada la gran superficie a acondicionar en los laboratorios, el cerramiento inercial logra elevar lo suficiente la temperatura como mantenerla dentro de

la banda de confort interior. Mientras que el cerramiento ligero, al estar formado por materiales aislantes y cámaras de aire bajo emisivas, mantiene mucho el calor, lo que eleva la temperatura interior por encima de la banda de confort.

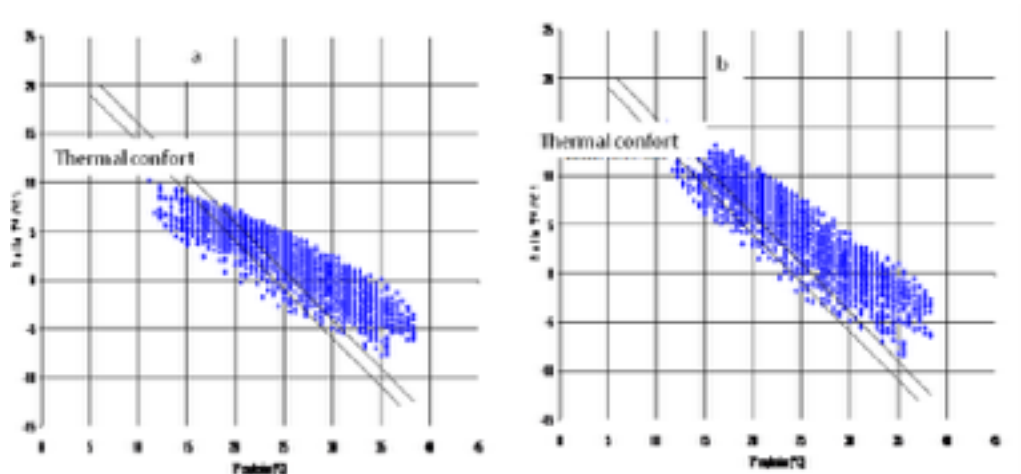


Figura 11: Distribución de temperaturas en el laboratorio durante el verano usando a) Cerramiento inercial. b) Cerramiento ligero.

La Figura 11 representa el balance energético obtenido en el interior de los laboratorios de la planta baja frente a la temperatura exterior en verano. En ellas se observa que el comportamiento obtenido con el cerramiento inercial está mucho más próximo a la banda de confort establecida (24-26°C), que el obtenido en el cerramiento ligero.

Es evidente, por tanto, que de cara al verano y con temperaturas exteriores que pueden puntualmente alcanzar incluso los 50°C, sería mejor utilizar materiales de mayor inercia térmica que los proyectados para el edificio PETER. Sin embargo, estamos interesados en un tipo de construcción sostenible energética y medioambientalmente, que integre las fuentes de energía renovables en la construcción, que use materiales totalmente reciclables como los aquí descritos, y que permitan una industrialización de la edificación.

Obviamente, este tipo de construcción requiere una energía para la climatización en verano, por eso se instala una máquina de absorción alimentada con energía solar

térmica y con biomasa (pellets), con el fin de descender la temperatura interior en verano. Además, el edificio dispondrá de un sistema de ventilación nocturna forzada sur-norte que inyectará aire húmedo en contacto con la lámina de agua proyectada al sur. La inercia térmica del forjado (suelo de los pisos), también ayudará a contener el calor diario para ser evacuado por la ventilación nocturna.

6. Conclusiones

Mediante la construcción de un edificio de estas características se pretenden utilizar las tecnologías más innovadoras existentes en la actualidad con el fin de minimizar la demanda energética durante la etapa de construcción, uso y desmantelamiento de dicho edificio al final de su vida útil.

Para un buen uso del edificio, es necesario construir teniendo en cuenta las características del clima local, la orientación del edificio, el tipo de actividad a la que estará destinado, etc. Una vez tenido en cuenta esos aspectos, y particularmente en las regiones del sur de Europa, hay que considerar el aislamiento como elemento clave en el diseño arquitectónico. Ello permitirá una máxima reducción de las necesidades energéticas, sobre todo en verano, donde la demanda de energía para refrigeración es muy alta.

Con este planteamiento general, el aporte de energía con tecnologías renovables se muestra como la elección más efectiva desde el punto de vista energético, medioambiental y económico. En especial, el uso de la energía solar térmica (activa y pasiva) y la energía solar fotovoltaica en la edificación, en regiones con abundante radiación solar, debe ser una opción potenciada desde las administraciones, locales, nacionales y europeas.

En la construcción del edificio PETER se van a utilizar materiales naturales (kenaf, tableros de madera, etc) y tecnologías renovables. Ello hace que este edificio sea reciclable 100%. También se utilizarán elementos prefabricados, de modo que la construcción del edificio sea poco intensiva, tanto en mano de obra como en energía, y se haga en un espacio corto de tiempo. Se trata, en fin, de “industrializar la edificación”, con consumos de energía y de tiempo mínimos.

De lo expuesto en este trabajo se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- 1.- Mediante simulación en evolución libre del edificio, se ha comprobado que su eficiencia energética es mayor, especialmente en verano, si se utilizan materiales de mayor inercia térmica en la construcción de su epidermis que los aquí propuestos, lo que no era previsible según el CTE, en donde la reducción de la transferencia energética en verano era superior a la del invierno, con valores excelentes, utilizando aislamiento reflectivo y materiales ligeros respecto a los valores de referencia que marca el CTE.
- 2.- Se ha optado por este diseño basado en materiales más ligeros y reciclables, cámaras de aire, tableros de madera, aislantes reflectivos, etc., que permiten reducir el tiempo y la energía empleados en la construcción.

Se han realizado estimaciones, que por motivos de extensión no se exponen, de costos de construcción, mantenimiento, y energía, así como de derribo y reciclado de materiales al final de vida del edificio, y el resultado conjunto es positivo para la solución adoptada de materiales ligeros, cuya elección se justifica además por motivos de índole social, como la promoción y difusión de nuevas técnicas de edificación, en un edificio singular de un campus universitario tecnológico.

- 3.- Esta demanda extra de energía será suministrada a partir de fuentes renovables de energía (colectores solares térmicos y pellets de biomasa) para suplir las necesidades de

calefacción, mediante suelo radiante –y de refrigeración- máquina de absorción. La potencia requerida para tales fines es muy pequeña: 50 m² de captadores solares y 35 kW térmicos de la caldera de biomasa, respectivamente. Es decir, se ha sacrificado en cantidades reducidas la demanda de energía renovable con tal de hacer un edificio en menos tiempo y con un bajo consumo de energía en su construcción. Hay que indicar que en esta simulación no se han tenido en cuenta las ganancias solares de las chimeneas fotovoltaicas en invierno ni la evacuación del calor acumulado durante los días de verano mediante la ventilación cruzada forzada sur-norte de aire húmedo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Unión Europea la ayuda concedida para la realización del Proyecto PETER (SP6.E53/03) a través del Programa INTERREG III A.

Referencias

- [1] Nuno, F. *Casas de muy bajo consumo energético*. Leonardo Energy. 2009. Disponible en Web: <http://www.leonardo-energy.org/espanol/07/casas-de-muy-bajo-consumo-energetico>
- [2] Bosqued R. *La eficiencia energética de edificios a través del diseño*. Unidad de eficiencia energética en la edificación. CIEMAT. III Simposio Nacional e Internacional de gestión ambiental en centros sanitarios. Badajoz. 2007.
- [3] Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios. Disponible en Web: http://www.maec.es/SiteCollectionDocuments/Espana%20y%20la%20Union%20Europea/Políticas%20Comunitarias/Energía/directiva2002_91.pdf
- [4] Código Técnico de la Edificación, Real Decreto 137/2007, de 19 de Octubre.

- [5] PSE-ARFRISOL, Arquitectura bioclimática y energía solar. CIEMAT. Disponible en Web: <http://www.energiasrenovables.ciemat.es/suplementos/arfrisol/pse-arfrisol.htm>
- [6] Romero M A. Evaluación del comportamiento medioambiental de los edificios GBC España, VII Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA VII). Madrid. 2004.
- [7] Concurso de ideas para el desarrollo de la eficiencia energética en una vivienda social rural en Chile . Disponible en Web:
<http://www.plataformaarquitectura.cl/2006/09/23/concurso-de-ideas-desarrollo-de-eficiencia-energetica-para-vivienda-social-rural/>
- [8] Ciudades para un futuro más sostenible. Website of the Department of Urban and Landscape Planning in the Superior Technical School of Architecture (Polytechnic University, Madrid) and Housing Ministry. Disponible en Web: <http://habitat.aq.upm.es>
- [9] Sostenibilidad y construcción: aplicaciones y líneas de trabajo. Gerona, Departamento de Arquitectura e Ingeniería Civil de la Universidad de Gerona. D.L., 2000. Disponible en Web: <http://es.csostenible.net/>
- [10] Proyecto Regen-Link . 2000. Disponible en Web:
http://e-core.cstb.fr/project_detail.asp?id=855
- [11] Redin J. La Ecociudad de Sarriguren. Disponible en Web: : <http://www.nasursa.es/es/Suleo/indexProyectos.asp?idp=2>
- [12] Forum Barcelona. Disponible en Web:<http://www.barcelona2004.org>
- [13] PETER. Parque Experimental Transfronterizo sobre Energías Renovables. Disponible en Web: <http://www.parquepeter.org>.
- [14] Cuadros F, López-Rodríguez F, Segador C, Marcos A. *A simple procedure to size active solar heating schemes for low-energy building design*. Energy and Building. 2007. Vol 39: 96-104.

- [15] López-Rodríguez F, Segador C, Marcos A, Cuadros F. *Cálculo y comparación de rendimientos para distintas aplicaciones*. Era Solar.2006; Vol 131: 73-77.
- [16] García Sanz-Calcedo J, Garrido S, Perez Atanet C, Lopez-Rodriguez F. *Gestión energética en Servicios de Salud*. Ingeniería Hospitalaria. 2007: Vol 34: 31-38
- [17] Cuadros F and Rosa R (Eds). *Las energías renovables a ambos lados de la raya*. Ed.IDAE; Madrid 2008: 37-45. Disponible en Web: http://www.idae.es/index.php/mod_publicaciones/mem.listadoDestacadas/reImenu.73
- [18] TRNSYS. The Transient Energy System Simulation Tool
- [19] Borbon Ana C, Cabanilles R., Perz J. *Modelación y simulación de transferencia de calor en muros de bloque de concreto hueco*. Información Tecnológica. 2010: Vol 21(3): 27-38.
- [20] Aislamiento reflectivo. Polynum. Disponible en Web: www.confortbalear.com/images/20pregunt.doc
- [21] LIDER. Programa informático para verificar la demanda de energía en edificios siguiendo el CTE. Disponible en Web: <http://www.codigotecnico.org/index.php?id=33>
- [22] Agencia Estatal de Meteorología (España). Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Medio Marino.