

## El Contenedor-Demostrador de Investigación SP5-ARFRISOL, un edificio de consumo de energía casi cero.

Roberto Bosqued<sup>1</sup>  
María Rosario Heras<sup>2</sup>

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)

### Resumen

El objetivo principal del proyecto ARFRISOL, es demostrar que se pueden construir edificios capaces de consumir entre un 10 % y un 20 % de energía convencional, procedente de fuentes fósiles, frente a aquellos otros de referencia, realizados mediante sistemas constructivos convencionales, que consumen el 100%. El PSE-ARFRISOL se ha convertido en referencia, a nivel europeo, en este tipo de actuaciones. Recién concluido el proyecto en junio de 2012, la comunicación que nos ocupa, presenta como se gestó, se diseñó y se construyó, uno de los Contenedores-Demostradores de Investigación (C-Ddl) llevados a cabo en ARFRISOL, el SP5 Fundación Barredo.

Mediante el uso de herramientas de simulación energética y la utilización de estrategias pasivas y activas dimanadas de la investigación llevada a cabo en los últimos 25 años, e inteligentemente aplicadas, ha obtenido no solo calificación energética A, sino un ahorro de energía convencional, procedente de fuentes fósiles, del 100%, constituyéndose así, junto con los cuatro restantes edificios de ARFRISOL, como uno de los primeros en España de consumo de energía casi cero.

**Palabras clave:** *diseño; reducción demanda; ahorro energético.*

**Área temática:** *Eficiencia energética en edificación y rehabilitación*

### 1. Introducción

El CIEMAT y en particular su Unidad de Eficiencia Energética en Edificación (UiE3), con más de 25 años de experiencia en investigación sobre reducción de la demanda energética en edificios basada en el diseño arquitectónico y constructivo (sistemas pasivos), en la eficiencia energética de las instalaciones, renovables o convencionales (sistemas activos) y en la integración de energías renovables, culmina esa labor investigadora, participando en 2005 como Coordinadora General y Científica en El Proyecto Científico-Tecnológico Singular y de carácter Estratégico sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar (PSE-ARFRISOL), primero de los aceptados por el Plan Nacional de I+D+i 2004-2007 y 2008-2011, cofinanciado con Fondos FEDER y subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN).

En el PSE ARFRISOL, se han construido 5 Contenedores-Demostradores de Investigación (C-Ddl's) en distintas localizaciones españolas con diferentes climatologías y condiciones del entorno, dos de ellos en Almería, en la Universidad (UAL), al borde del mar, en un clima mediterráneo húmedo suave y en la Plataforma Solar de Almería (PSA), en un clima

desértico, uno en el CIEMAT-Madrid, en un clima continental medio, otro en Soria, en un clima continental más severo y finalmente el que presentamos en esta comunicación en Asturias en un clima Atlántico suave. El edificio representó a España en el Sustainable Building Challenge (SBC08) de Melbourne y posee el Gran Premio ENDESA a la promoción inmobiliaria mas sostenible en su edición de 2010.

En ARFRISOL se plantearon tres aspectos de I+D, en primer lugar la utilización de estrategias pasivas basadas exclusivamente en el diseño arquitectónico y constructivo, para disminuir significativamente la demanda energética del edificio, en segundo lugar el empleo de sistemas energéticos para acondicionamiento interior alimentados con fuentes de energía renovable, fundamentalmente la solar, y en tercer lugar la utilización de sistemas energéticos convencionales de apoyo, si ello fuera necesario.

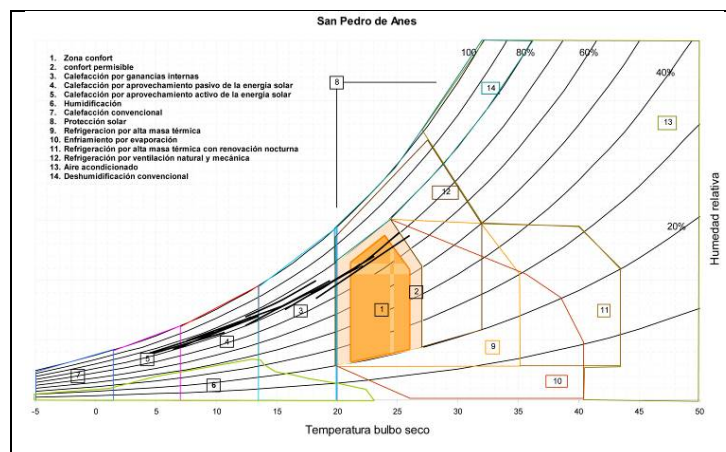
## 2. Objetivo

El objetivo de la comunicación es mostrar, con un caso práctico, la investigación llevada a cabo en el PSE-ARFRISOL centrada en uno de los C-Ddl del Proyecto, en concreto el Subproyecto 5 (SP5), sede de la Fundación Barredo, ubicada en S. Pedro de Anes, en Concejo de Siero (Asturias). La Fundación Barredo dedica sus esfuerzos a la investigación sobre incendios en túneles, para lo cual dispone, en los terrenos de S. Pedro de Anes, de un túnel de experimentación de 600 m de longitud.

## 3. Presentación de datos y resultados

Previamente a comenzar los primeros planteamientos de diseño, se realizó un estudio exhaustivo del clima de la zona, resumido en el siguiente diagrama de Giboni, del cual se desprenden las primeras estrategias para el diseño, como son: Captación solar pasiva, calefacción activa solar y ventilación natural.

Figura 1. Diagrama de Giboni para Siero

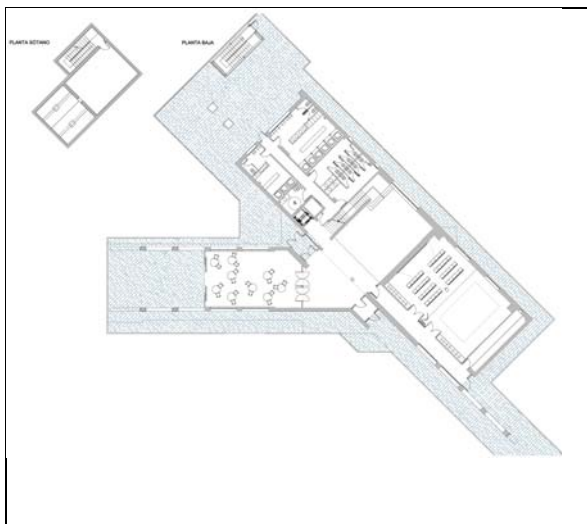


Una vez conocidas las estrategias previas, se realizaron los primeros diseños, a nivel de anteproyecto, planteando un edificio de tres plantas, en forma de Y. Con el anteproyecto concluido, se procedió a realizar los primeros estudios energéticos del mismo, consistentes en un análisis de sensibilidad que permite obtener los flujos más representativos que afectan al comportamiento térmico del edificio, elimina las variables más irrelevantes del comportamiento del edificio y facilita el planteamiento de estrategias más adecuadas.

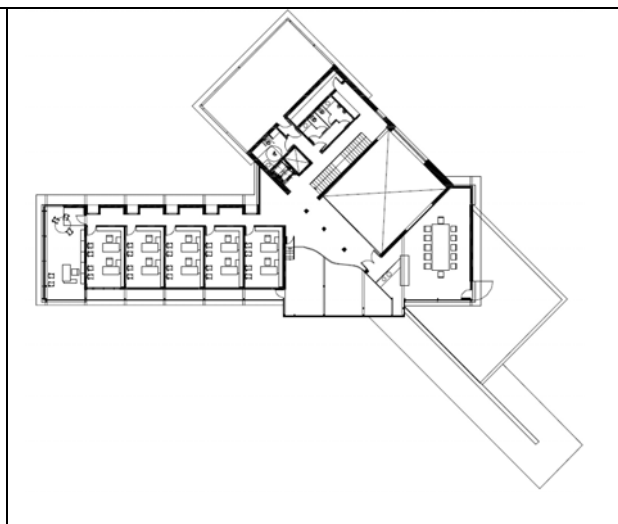
Posteriormente se realizó el cálculo numérico teórico (simulación), con los programas Trnsys, Doe2 LIDER y CALENER, modelizando el edificio y planteando estrategias pasivas y activas concretas, produciéndose así un importante avance para realizar el proyecto básico el cual vuelve a ser simulado energéticamente, optimizando las estrategias empleadas en el anteproyecto y finalmente con esta nueva simulación se plantean ya las estrategias definitivas, pasivas y activas, el proyecto de ejecución y la posterior construcción del edificio

Como se ha dicho el edificio, en forma de Y, se desarrolla en tres plantas – más un pequeño sótano para la central de biomasa -, la primera de las cuales (planta baja) se destina a “loby” de acceso (de doble altura), aulas multifuncionales, cafetería y aseos y vestuarios

**Figura 2. Planta baja del C-Ddl SP5**

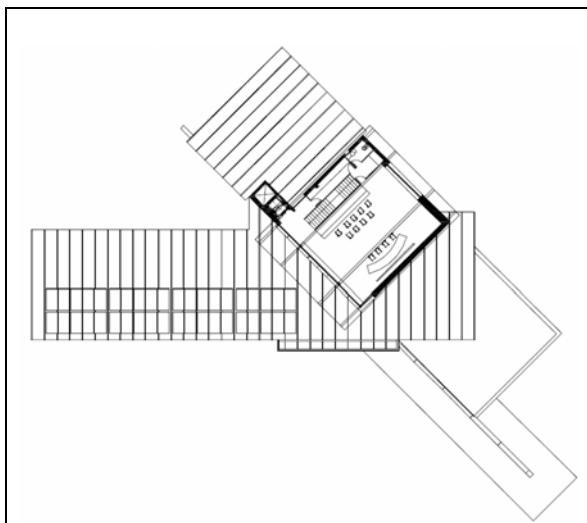


**Figura 3. Planta 1ª del C-Ddl SP5**

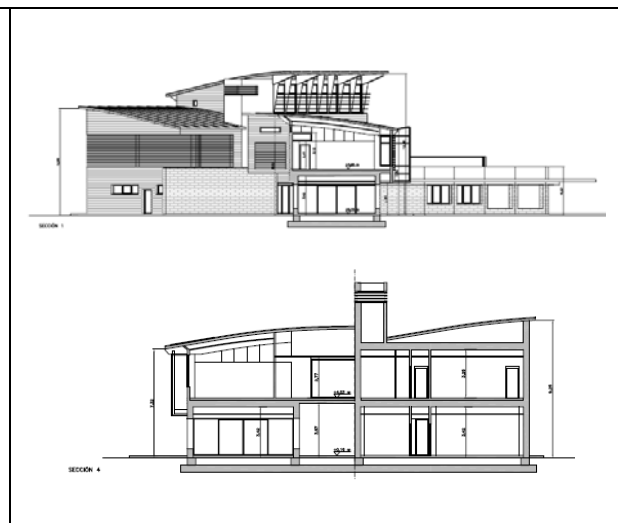


Los usos de la planta primera son despachos, galería acristalada, invernadero, sala de juntas, aseos y sala de máquinas.

**Figura 4. Planta 2ª del C-Ddl SP5**



**Figura 5. Secciones del C-Ddl SP5**



Finalmente la planta segunda alberga el centro de control del túnel experimental de incendios.

La disposición en Y se ha adoptado para favorecer un máximo soleamiento en orientación S de la pl 1ª (de uso continuo) y favorecer en los espacios de pl. baja y altillo (de uso discontinuo) un mejor soleamiento al N (NE).

**Figura 6. Fachada Sur y Este**



**Figura 7. Fachada Noreste**



**Figura 8. Fachada Norte y Oeste**



**Figura 9. Detalle Galería e Invernadero**



Las estrategias pasivas utilizadas, dimanadas de las simulaciones teóricas han sido las siguientes:

- Orientación Norte-Sur, con máxima captación solar al sur, en zona de oficinas, galería acristalada e invernadero, y máxima disipación al norte
- Diferenciación formal de fachadas y aislamientos en función de la orientación
- Sistema constructivo con utilización de estructura mixta de acero y madera y cerramientos de alto nivel de aislamiento.
- Fachadas ventiladas con terminación de piedra y madera.
- Vidrios de doble hoja con cámara aislante en fachada Sur y de triple hoja en fachada oeste (despacho de dirección)



- Control solar en fachadas con el uso de bandejas parasoles de madera de castaño de diferentes profundidades, permitiendo el acceso solar durante las épocas infracalentadas y la ocultación solar durante las sobrecalentadas.
- Ganancia solar semidirecta mediante galería acristalada e invernadero en fachada sur para aprovechamiento solar en épocas frías con control automático de ventilación en épocas calientes y aprovechando las partes superior e inferior para la instalación de un campo de producción fotovoltaica vidrio-vidrio
- Ventilación natural cruzada y cubierta ventilada de doble hoja
- Utilización de materiales locales, fundamentalmente en la envolvente, piedra de Covadonga en la planta baja y madera de castaño en el resto del edificio

Figura 10. Comportamiento verano soleado

Figura 11. Comportamiento verano nublado

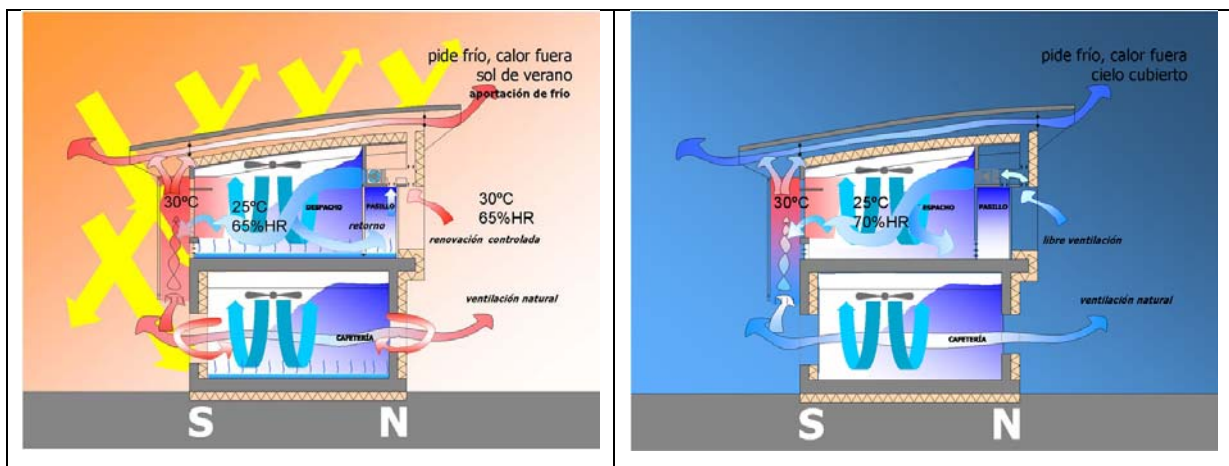
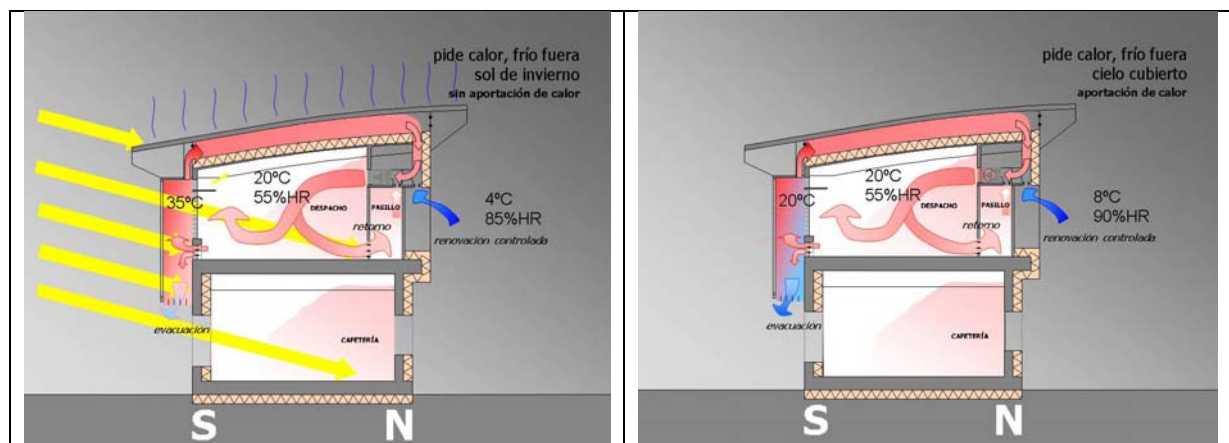


Figura 12. Comportamiento invierno soleado

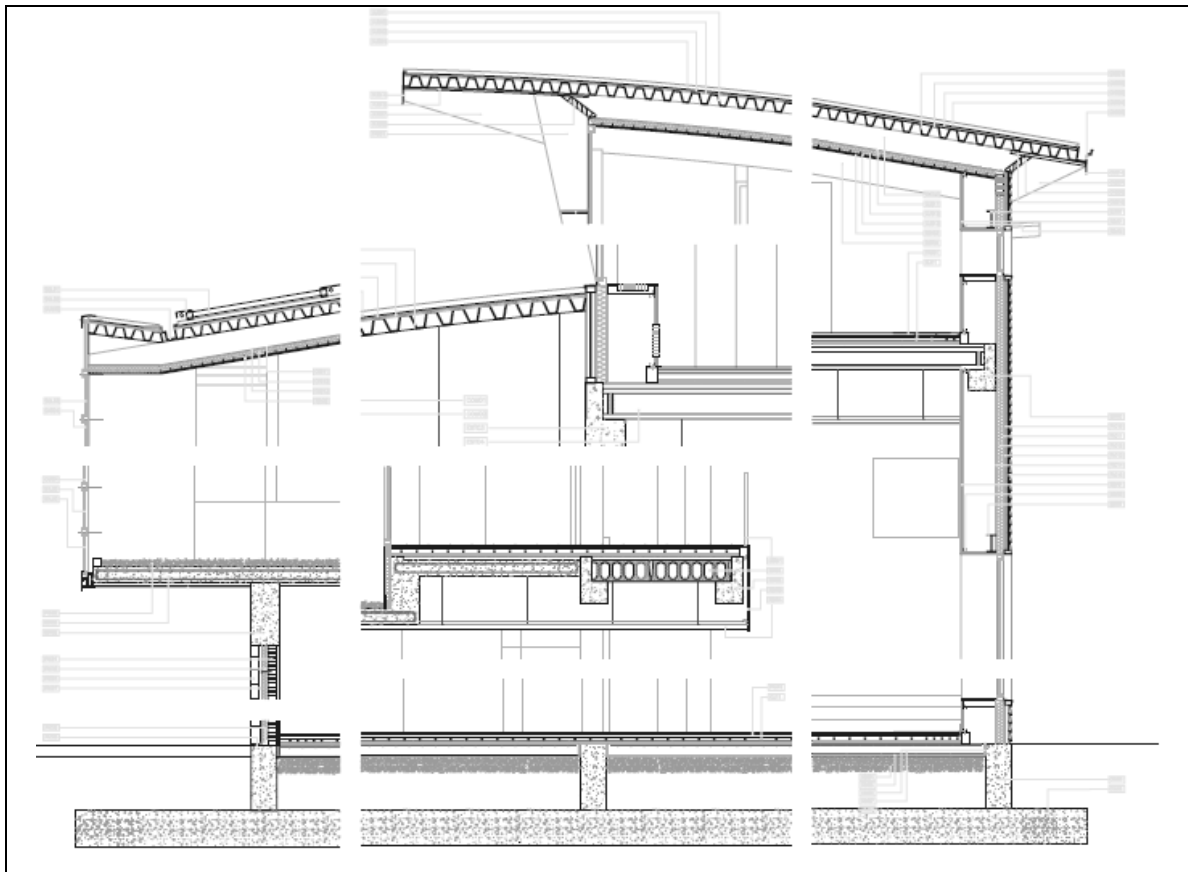
Figura 13. Comportamiento invierno nublado



La envolvente edificatoria tiene diferentes tratamientos según sistemas y orientaciones, pero básicamente se desarrolla mediante dos tipologías diferenciadas de fachadas, ambas ventiladas, una en planta baja y orientación sur, con terminación de piedra de Covadonga de 4 cm. de espesor, cámara de aire libremente ventilada de 4 cm., aislamiento de lana de roca semirígida de 8 cm. de espesor, fabrica de ladrillo macizo perforado de 1/2 y 1 pie y

terminación interior con doble capa de cartón yeso y otra en el resto de orientaciones mediante estructura de madera (cuadernas) con aislamiento interior de 10 cm. de espesor; se compone de fuera a dentro por lamas verticales de madera de castaño de 2,5 cm. de espesor, cámara de aire libremente ventilada de 4cm. de espesor, lámina impermeabilizante, tipo TYBEK, permeable al vapor, tablero contrachapado fenólico, aislamiento semirígido de lana de roca de 10 cm. de espesor, barrera de vapor de film de polietileno y revestimiento de doble capa de cartón yeso

**Figura 14. Sección constructiva**



La cubierta de doble hoja libremente ventilada se compone de fuera adentro, de los siguientes elementos: Chapa curvada de cobre sobre correas de madera de pino silvestre de 70x70 mm. viga de madera laminada de 20x10 cm., cámara ventilada de 32 cm. de espesor, protegida de los agentes meteorológicos mediante rejillas laterales de lamas, aislamiento de lana de roca de 10 cm. de espesor y terminación en falso techo acústico de madera.

Por otra parte la zona del edificio en contacto con el terreno está protegida con aislamiento rígido de poliestireno de 10 cm. de espesor, con rotura de puentes térmicos al terreno, e igualmente los forjados en contacto con el ambiente exterior tienen aislamiento rígido de lana de roca por el exterior de 10 cm. de espesor y terminación en falso techo prefabricado de madera.

Se ha tenido especial cuidado en el tratamiento de la estanqueidad de las carpinterías de madera y aluminio, con rotura de puente térmico, y en el aislamiento perimetral de las mismas mediante inyección de poliuretano

En el edificio no existen puentes térmicos ya que las estructura metálicas que los posibilitaban, han sido recubiertas con el mismo aislamiento de la envolvente correspondiente y al tratarse de fachadas ventiladas el aislamiento es continuo cubriendo los frentes de forjados.

Las estrategias activas han sido las siguientes:

- Producción de calefacción y ACS mediante campo solar térmico de 88 m<sup>2</sup> con captadores planos de alta eficiencia con TIM (Transparence Insulation Material) y apoyo con biomasa.
- Autoconsumo eléctrico mediante campo solar fotovoltaico en galería acristalada e invernadero
- Producción de refrigeración solar (frío solar), mediante campo solar térmico, sistemas de absorción, apoyo de biomasa y difusión por fan-coils.
- Disipación energética con el terreno mediante 4 anillos horizontales y 8 perforaciones verticales de 100 m de profundidad cada una.

#### 4. Monitorización y control

Todos los edificios del PSE-ARFRISOL, poseen dos sistemas independientes, uno de monitorización para uso exclusivo de la investigación científica, que constituye por si mismo el subproyecto de investigación SP7 y otro de control inteligente, que dirige, de manera automática la operación de las diferentes instalaciones solares y biomasa.

##### Monitorización (Subproyecto 7)

En la actualidad los 5 C-Ddl's construidos en el PSE-ARFRISOL están dotados de una completa instrumentación, sistema de adquisición de datos y están siendo monitorizados de forma continua. Las medidas registradas en esta monitorización son de alta calidad y permiten llevar a cabo los trabajos de investigación planteados sobre confort térmico y evaluación energética de edificios, lo cual es uno de los principales aspectos que hace de cada uno de los C-Ddls un instrumento necesario para llevar a cabo esta investigación. El análisis de los datos experimentales se encuentra en fase final de desarrollo

Cada CDdl cuenta con sensores meteorológicos (temperatura del aire, velocidad y dirección de viento, humedad relativa, concentración de CO<sub>2</sub>, radiación horizontal, vertical y sobre superficie inclinada) y también con sensores interiores (temperatura del aire, humedad relativa, temperatura superficial de algunas estancias, concentración de CO<sub>2</sub>...).

Las actividades llevadas a cabo dentro del Subproyecto 7 han sido, en líneas generales, las siguientes:

- Aplicación de estrategias de control a gestión de sistemas pasivos para la optimización del comportamiento energético del C-Ddl CIESOL
- Continuación con la depuración del software de adquisición de datos.
- Continuación de los estudios de confort del C-Ddl del Ed 70, en condiciones reales de uso. En proceso de redacción de una serie de dos artículos al respecto para revistas con alto índice de impacto.
- Análisis de sistemas activos en el C-Ddl del CIESOL y Ed70.

- Continuación, con series temporales más largas, de la verificación experimental de la representatividad de recintos monitorizados mediante análisis de componentes principales (ACP), en el C-Ddl de la PSA.
- Comprobación cualitativa de la homogeneidad del cerramiento mediante análisis termográfico en los C-Ddls del Ed 70 y de la PSA.
- Análisis de la representatividad climática a partir de las series de datos experimentales registradas desde 2006 en los C-Ddl's del Ed 70 y de la PSA.
- Selección y pretratamiento de los datos experimentales del C-Ddl del Ed70 para el análisis de la representatividad de la muestra escogida en monitorización a través de ACP.
- Selección y pretratamiento de los datos experimentales del C-Ddl del Ed70 para la evaluación de las hipótesis introducidas originalmente en las simulaciones, según procedimiento desarrollado y validado en el C-Ddl de la PSA.
- Desarrollo de una metodología de calibración/validación/ajuste de modelos de simulación en edificios en condiciones reales de uso aplicada en el caso de la PSA (Enviada una contribución al SHC 2012 y en redacción de una serie de dos artículos para revista con índice de impacto). En este punto se ha logrado demostrar física y matemáticamente que el sistema de monitorización empleado no se puede reducir ni simplificar si se pretende abordar este problema.
- Instalación experimental para la comprobación de la influencia de la radiación solar directa sobre la medida de la temperatura de la superficie del vidrio en condiciones de incidencia directa.
- Evaluación teórico-experimental del C-Ddl de la PSA según la metodología desarrollada.
- Desarrollo de modelos de orden reducido para el C-Ddl de la PSA e implementación de un marco numérico que permita la aplicación de los modelos al control predictivo.
- Desarrollo de una metodología para la obtención de la reflectividad hemisférica del terreno (albedo terrestre) a partir de medidas de radiación solar global sobre la horizontal y la vertical, con aplicaciones a la medida del albedo en entornos urbanos (publicación aceptada en Solar Energy).
- Verificación, puesta a punto y revisión de la instalación de monitorización del C-Ddl de la Fundación Barredo.
- Verificación, puesta a punto y revisión de la instalación de monitorización del C-Ddl del CEDER.
- Estudios térmicos cualitativos y preliminares de confort del C-Ddl del CEDER
- Resultados y conclusiones del sistema de monitorización

El proyecto concluyó oficialmente en 30 de junio de 2012, pero el informe final del Subproyecto 7 (monitorización), no se envía al MINECO hasta finales de octubre de 2012, por lo que no es posible facilitar datos concretos sobre los resultados de la misma, si bien se puede avanzar que, en principio, son básicamente compatibles con los de las simulaciones.

### Control inteligente

El edificio cuenta con un sistema de control encargado de gestionar más de 500 puntos de control físicos y otros 100 puntos de control provenientes de la integración por software de equipos. Se trata de un sistema descentralizado, con controladores modulares instalados por todo el edificio, que soportan comunicación ethernet, lo que ha permitido integrarlos en la red de datos del edificio, aprovechando las infraestructuras y recursos ya existentes, lo que a su vez ha permitido el acceso a todos los equipos desde cualquier punto de la red.



El sistema de control es el encargado, en cada momento, de decidir el medio a utilizar para climatizar el edificio, dando prioridad, siempre, a los sistemas renovables frente a los convencionales. Para hacerse una idea de la complejidad de dicha programación hay que tener en cuenta que el edificio cuenta, además de con dos calderas de biomasa, con un campo de captadores solares térmicos, un grupo de máquinas de absorción y algunos sistemas semi-activos para el pretratamiento del aire de ventilación, como la galería y el invernadero.

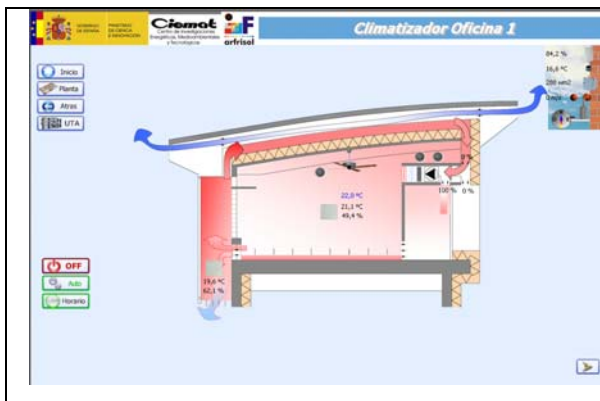
Por poner un ejemplo, en los despachos de la primera planta, el sistema evalúa de forma continua las condiciones térmico-higrométricas interiores y las compara tanto con las exteriores (medidas en la fachada norte) como en la galería. En función del resultado de esta evaluación el sistema puede elegir entre realizar un enfriamiento gratuito (freecooling), introduciendo normalmente aire desde la fachada norte al mismo tiempo que abre la galería para forzar su ventilación y la ganancia de calor por conducción a través de los cerramientos acristalados que dan a ella, un calentamiento gratuito (freeheating), introduciendo normalmente aire pretratado en la galería, o recurrir a los sistemas activos como el suelo radiante, la unidad de tratamiento de aire o el ventilador habanero instalado en el techo.

Además de estas funciones de regulación y vigilancia de las instalaciones, propias del sistema de control, se han añadido otras nuevas como la evaluación energética de cada subsistema, gracias a la integración de los elementos de medida necesarios para evaluar los diferentes aportes y consumos de energía, o el actuar como interface único entre los usuarios y la instalación, ya que no existen mandos físicos como termostatos o similares en los recintos climatizados.

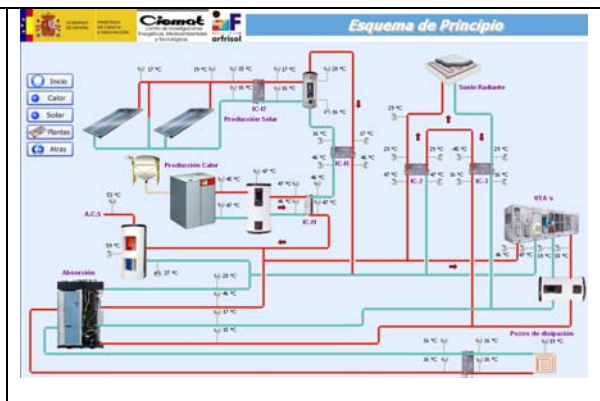
Los usuarios pueden consultar la información relativa al funcionamiento de las salas mediante un simple navegador accediendo al servidor web instalado, junto con el SCADA, en el puesto central de control. Esta ausencia de mandos físicos tiene dos ventajas: la primera es que permite registrar las acciones del usuario, y la segunda es permite acotar estas acciones evitando usos abusivos de la instalación. El objetivo final es, además de evitar el derroche de energía, educar a los usuarios en el uso correcto de su edificio.

El sistema de control de este edificio se encuentra conectado, de forma permanente, con el servidor de proyecto, en el CIEMAT (Madrid). Desde el es posible acceder a cualquiera de los controladores del edificio, ajustar o modificar su programación, revisar el estado de la instalación en tiempo real y actualizar el SCADA.

**Figura 15. Captura SCADA despachos**

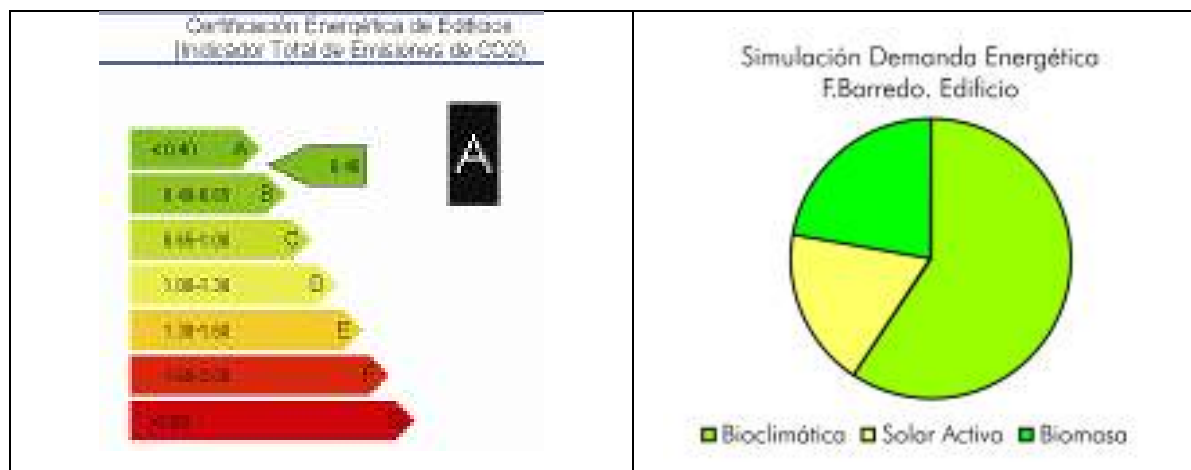


**Figura 16. Esquema de principio**



## 5. Conclusiones

Figura 17. Calificación y demanda energética



Se ha conseguido un edificio de calificación energética clase A

A continuación, se incluye en la fig. 18 una tabla comparativa de los resultados de todos los C-Ddl's, con diferentes características y condiciones de contorno.

Figura 18. Tabla comparativa de resultados de los diferentes C-Ddl del Proyecto PSE-ARFRISOL

C-Ddl's	Sup Construida m <sup>2</sup>	Coste m <sup>2</sup> €/m <sup>2</sup>	Dismin Demanda Sistema Pasivo %	Ahorro Sistema Activo %	Bio masa %	Ahorro Total %	Demanda Energética Final Kw.h/m <sup>2</sup> .año		Sobre coste del sistema pasivo %	Sobre coste del sistema activo %	Sobre coste de los C-Ddl's %
							Calef	Refrig			
P2-CIESOL	1.072	1.059	65	25	----	90	13,96	9,49	3,95	10,89	14,84
SP3-CIEMAT	2.047	2.635	51	43	----	94	8,33	35,23	1,39	8,60	9,99
SP4-PSA	1.115	2.260	62	34	----	96	13,40	23,04	2,21	15,54	17,75
<b>SP5-Fund. BARREDO</b>	<b>1.250</b>	<b>3.045</b>	<b>59</b>	<b>19</b>	<b>22</b>	<b>100</b>	<b>17,34</b>	<b>14,60</b>	<b>6,06</b>	<b>7,61</b>	<b>13,67</b>
SP6-CEDER	1.366	2.577	40	34	26	100	42,21	13,07	9,51	7,32	16,83

Es importante destacar que el incremento de precio de las instalaciones se debe, fundamentalmente a la condición de prototipos de todos los edificios ARFRISOL, por otra parte, el mayor incremento porcentual de las instalaciones es debido a que, por exigencias de las Propiedades de los edificios, se han diseñado las alimentadas por energía convencional, para que cubran el 100% de la demanda energética de los edificios, por lo que existe prácticamente una duplicación de las instalaciones.

Por otra parte y teniendo en cuenta la mayor dificultad en la redacción de un proyecto y dirección de obra de este tipo de edificios, los honorarios facultativos y técnicos no han supuesto incremento alguno, frente a edificios convencionales de similares características.

## 6. Referencias

(ANINK, D; BOONSTRA, C Y MAK, J., 1996).: “Handbook of Sustainable Building”. James & James (Science Publishers) Ltd. – London

(BOSQUED, R, HERAS, M. R. et al., 2005).: “La Energía Solar en la Edificación”. Editorial CIEMAT – Madrid

(GIVONI, B., 1976). “Man Climate and Architectures”. Applied Science Publishers, Ltd – London

(SERRA, R., 1989). “Clima, Lugar y Arquitectura: Manual de diseño bioclimático”. Editorial CIEMAT– Madrid

## Correspondencia

Nombre y Apellido: Roberto Bosqued García  
Phone: + 34 914095242  
Fax: + 34 914096516  
E-mail: rbosqued@ya.com

## Cesión de derechos

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo al Palacio de Ferias y Congresos de Málaga una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.