



PROTOTIPO LOW3
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
LOW ENERGY_LOW IMPACT_LOW COST

**Evaluación energética del prototipo de vivienda
solar LOW3**

Informe Final
25/01/2011

Nº de expediente 106/2010



LOW3 - SOLAR DECATHLON EUROPE 2010, MADRID
1er PREMIO ARQUITECTURA

“La premisa del proyecto es una clara economía de pensamiento que incluye el uso de un invernadero genérico, el cual alberga una estructura aislante y crea espacios intermedios útiles además de poéticos.”

Glenn Murcutt, Louisa Hutton, Patxi Mangado
JURADO DE ARQUITECTURA, 19 de junio 2010



1. LA COMPETICIÓN SOLAR DECATHLON EUROPE 2010

El equipo LOW3 (low energy – low impact – low cost) de la UPC, dirigido por el profesor Torsten Masseck, ha conseguido con su prototipo el Primer Premio en el concurso de Arquitectura del certamen internacional SOLAR DECATHLON EUROPE 2010, concurso internacional de universidades para la construcción de casas solares autosuficientes energéticamente.

El prestigioso jurado formado por el arquitecto australiano Glenn Murcutt (Premio Pritzker 2002), Louisa Hutton y Patxi Mangado sentenció:

“La premisa del proyecto es una clara economía de pensamiento que incluye el uso de un invernadero genérico, el cual alberga una estructura aislante y crea espacios intermedios útiles además de poéticos.”



En junio 2010 el equipo LOW3 de la UPC, consistente de más de 50 estudiantes y personal docente, ha conseguido presentar un prototipo innovador e inspirador a un público de más que 190.000 visitantes en la llamada Villa Solar, incluidos la Ministra de Vivienda de España, Sra. Beatriz Corredor y otros ministros europeos.

El proyecto LOW3 de la UPC ha alcanzado la posición nº 13 del *ranking* global con su prototipo, dentro de un grupo de 20 universidades seleccionadas a nivel mundial, de las cuales finalmente 17 consiguieron asistir al evento en Madrid.

LOW3 es el nombre de una nueva línea de trabajo en la UPC a la que se dará continuidad en el campo de la docencia, de la investigación y mediante la realización de proyectos innovadores.

LOW3 contribuirá al desarrollo de una arquitectura de menos consumo energético, menos impacto ambiental y un bajo coste.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO LOW3

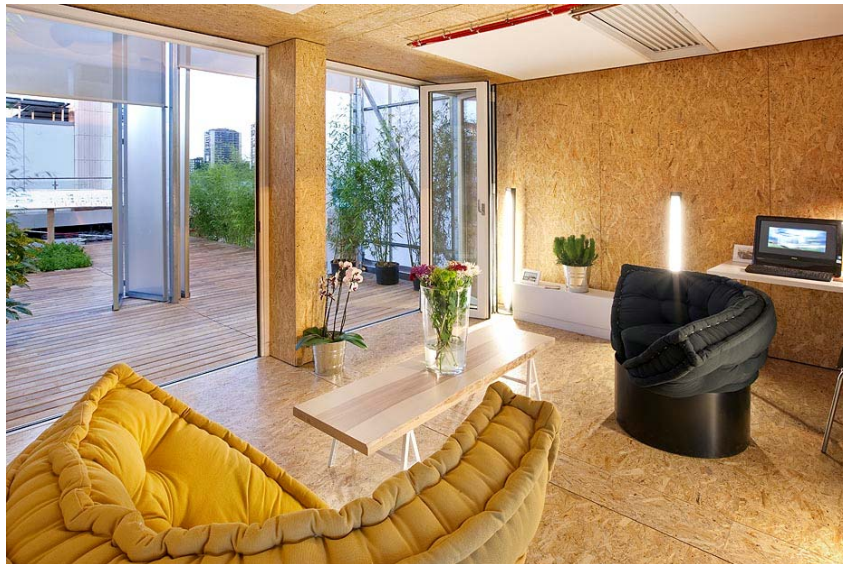
El prototipo LOW3 es una casa solar autosuficiente energéticamente, basada en tres conceptos básicos:

LOW3 = LOW ENERGY x LOW IMPACT x LOW COST

Una arquitectura solar pasiva en conjunto con una optimización bioclimática reduce la demanda energética de la casa solar LOW3. (LOW ENERGY)

Se minimiza el impacto ambiental del proyecto tanto en su utilización como en su construcción, gracias al uso de materiales sostenibles (de madera o sus derivados) y totalmente reutilizables (estructura industrializada metálica). Se persigue además el indispensable objetivo de cerrar los ciclos del agua y de los materiales. (LOW IMPACT)

Se apuesta por soluciones low-tech, métodos constructivos secos, rápidos, modulares, con un mínimo de residuos y a un bajo coste. (LOW COST)



La secuencia de capas interior, intermedio y exterior generan espacios particulares y singulares de transición.

El espacio intermedio es un ambiente microclimático adaptable, generado a partir de sistemas estructurales industrializados y mecanismos de control climático de los invernaderos agrícolas. Mediante sistemas bioclimáticos se regulan las condiciones favorables para su uso, expandiendo los períodos de ocupación durante el año en condiciones de confort con un coste energético y económico cero y duplicando el volumen habitable: Al coste de una vivienda, se ofrece otra intermedia.

Sistemas solares térmicos y fotovoltaicos aportan la energía necesaria para la autosuficiencia. El prototipo LOW3 es la suma del esfuerzo en conjunto de varias disciplinas para crear una vivienda sincera, funcional y amena en búsqueda de una forma contemporánea del habitar sostenible.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

Para obtener resultados sobre su funcionamiento LOW3 se ha instalado en el Campus Sant Cugat de la UPC como laboratorio experimental o *Living Lab* con el fin de evaluar sus mecanismos bioclimáticos y sus sistemas activos basados en la energía solar.

Para dicho objetivo se han instalado dataloggers tipo TESTO 175-T3 y 175-H2 con el fin de obtener datos de temperatura de aire y humedad relativa de las diferentes zonas del proyecto con énfasis en los espacios intermedios entre módulos habitacionales y envolvente ligera.

A su vez se ha elaborado los datos obtenidos de las mediciones durante la competición en Madrid en Junio 2010, para su comparación e interpretación.

Se ha analizado los datos para obtener información sobre la demanda energética real del prototipo en su ubicación en el campus.



Se ha comparado los datos recogidos con datos de la simulación térmica dinámica realizada con el programa BIOCLIM obteniendo información sobre la fiabilidad de dichas simulaciones y otros aspectos importantes en la planificación de edificios con espacios intermedios.

Paralelamente se ha analizado los datos de producción de las instalaciones solares obtenidos en Madrid para evaluar su funcionamiento y confirmar la autosuficiencia energética del proyecto.

La campaña de medición y evaluación se ha realizado durante los meses noviembre y diciembre 2010, con el fin de evaluar la capacidad de captación solar pasiva y creación de microclima de la vivienda experimental en invierno y su demanda energética restante de calefacción.

Se presenta un análisis del funcionamiento bioclimático del prototipo y un análisis e interpretación de los datos obtenidos.



4. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO DE VIVIENDA SOLAR LOW3

En el siguiente se presenta los diferentes resultados y conclusiones de la evaluación del prototipo.

4.1 DATOS DE LA COMPETICIÓN EN JUNIO 2010 EN MADRID

Durante la semana de competición del 17 al 25 de Junio 2010, se han llevado a cabo diferentes actividades de monitorización del prototipo LOW3. La organización realizaba mediciones de la temperatura interior en dos zonas del edificio, la sala de estar y la zona de dormitorio. El equipo LOW3 instaló dataloggers tipo TESTO 175-T2 y TESTO 175-H2 in en la zona de estar interior como también en el espacios intermedios de LOW3 para monitorear el comportamiento higro térmico durante la competición. Los datos de temperatura de ambiente de la Vila Solar fueron facilitados por la organización.

4.1.1 Condiciones

El prototipo LOW3 se encontraba situado en la parte norte de la Vila Solar (parcela nº 2) cerca de la Puente del Rey con una orientación sur y sin elementos que podrían arrojar sombras sobre él.

A causa del calendario muy ajustado de la competición, los elementos previstos para la protección solar exterior en fachada este y oeste, como también los toldos interiores bajo cubierta no podían ser montados.

En consecuencia el edificio recibió una cantidad más elevada de radiación sobre sus paramentos durante todo el día con el correspondiente impacto sobre su microclima.

Al otro lado el grado de apertura de la cubierta fue limitado por la máxima altura permitida del edificio acorde a las normativas del concurso, lo que causó una disminución de la ventilación cruzada.

Otros aspectos por considerar son las múltiples visitas de público a la casa, con el resultado de adicionales cargas internas y el uso no optimizado de la protección solar en la fachada sur. Finalmente hay que mencionar que el sistema de refrigeración adiabática a través de difusores de agua no funcionó continuamente a causa de problemas de la bomba, lo que disminuyó el efecto previsto de aporte de frío.

4.1.2 Resultados de las mediciones durante la semana de competición

Figura 1 muestra el desarrollo de la temperatura en los espacios intermedios de la planta baja (terrazas), espacios intermedio superior (planta bajo cubierta) en comparación con la temperatura exterior y la temperatura interior de los módulos habitacionales durante toda la semana de competición.

Analizando los momentos críticos medio día y en las horas de la tarde, se puede observar una temperatura en el espacio intermedio superior de unos 2-3 °C encima de la temperatura de aire exterior, muy probablemente a causa de las condiciones concretas descritas anteriormente.

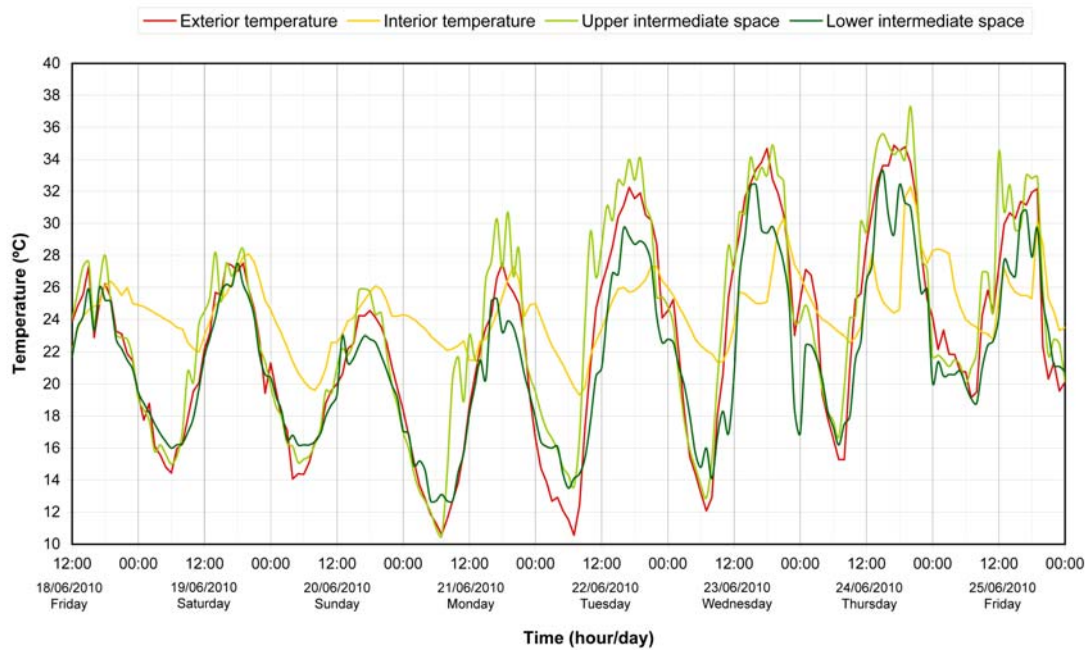


Fig.1: Mediciones durante la semana de competición en Madrid

Al otro lado los espacios intermedios inferiores (terrazas sombreadas) se benefician del efecto chimenea y la buena ventilación cruzada como también del mecanismo de refrigeración evaporativa, lo que resulta que la temperatura de aire en dichos espacios es un promedio de 2-3 °C inferior a la temperatura de aire exterior en la semana de competición.

La temperatura interior cumple condiciones de confort durante largos periodos del día, pero muestra variaciones fuertes a causa que se abrió la casa completamente durante muchas horas del día para facilitar la visita guiada al público.

En figura 2 se ve los resultados para un día concreto de la semana de competición.

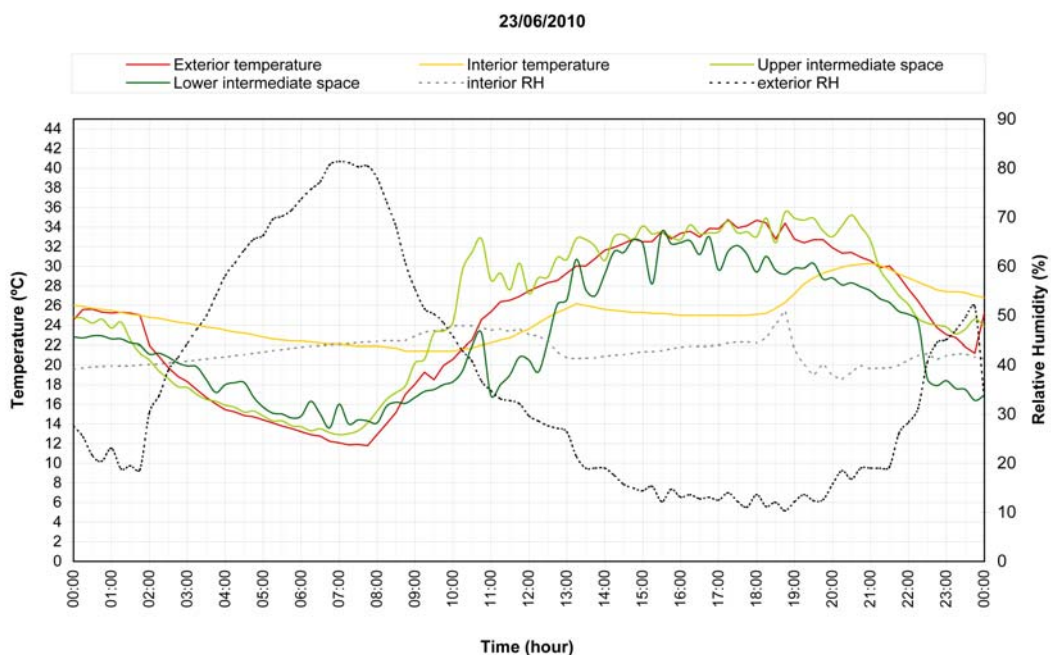


Fig.2: Mediciones del 23 de Junio 2010 durante la semana de competición en Madrid



4.1.3 Análisis crítico de los resultados

Las mediciones realizadas en Madrid muestran una temperatura en los espacios intermedios ligeramente superior a las previsiones de la simulación térmica dinámica. La causa parecen ser los mecanismos bioclimáticos no optimizados en su ejecución y su utilización tal como descrito en capítulo 4.1.1. Se puede esperar una mejora significativa con todos los mecanismos bioclimáticos instalados correctamente y gestionados por el sistema de control domotico del prototipo.

4.2 RESULTADO DE LAS MEDICIONES EN EL CAMPUS SANT CUGAT

Las mediciones realizadas en el Campus Sant Cugat durante el mes de diciembre 2010 confirman el buen funcionamiento de la vivienda como arquitectura solar pasiva.

4.2.1 Circunstancias de las mediciones realizadas

El prototipo se encontraba durante las mediciones semi-montado en el campus. Los módulos habitacionales estaban colocados en su sitio, pero aun no unidos físicamente. Las juntas entre módulos no estaban aisladas. Se cerraron las juntas entre módulos con cinta adhesiva y mallas de plástico para evitar al máximo infiltraciones indeseadas y poder medir el efecto de captación pasiva de energía solar.

La casa está orientada a sur y cubierta de un plástico grueso, transparente como medida de protección contra la lluvia hasta la construcción de la piel micro climática a finales de enero 2011. La casa está colocada cerca de un pinar a su lado sur-este, lo que limita la radiación incidente durante las horas de la mañana en el mes de diciembre, un efecto que se traduce en temperaturas más bajas a estas horas en el interior del prototipo.

En el momento de las mediciones ningún sistema activo (clima, domotica, electrodomésticos, iluminación) estaba conectado y la vivienda no fue habitada, ni abierta, ni ocupada temporalmente. Por lo tanto se midió el comportamiento del prototipo en *régimen libre* sin ningún aporte adicional de energía que no sea la energía solar captada.

En consecuencia los resultados obtenidos han de ser interpretados acorde a las circunstancias y el estado del prototipo durante el mes de diciembre 2010.

4.2.2 Tipo y ubicación de dataloggers

Se colocaron 2 dataloggers Testo 175-T3 de dos canales de temperatura tanto en fachada sur como en fachada norte, con sensores para la medición de temperaturas de aire colocados en el espacio intermedio sur, interior sur, interior norte y exterior norte.

Paralelo se colocó un datalogger Testo 175-H2 en el interior del céntrico modulo húmedo del prototipo, midiendo temperatura de aire y humedad relativa en el interior de la vivienda.

Se realizaron mediciones durante todo el mes de diciembre incluso las primeras semanas de enero. Figura 3 muestra los resultados de una semana de referencia del 24 al 31 de diciembre 2010.

4.2.3 Resultado de las mediciones e interpretación

Como resultado se puede confirmar el buen funcionamiento microclimático de los módulos habitacionales. Sus grandes ventanas en fachada sur permiten un aprovechamiento intenso de

la radiación solar pasiva lo que permitió diferencias entre temperatura interior y exterior de hasta 15 °C durante días soleados.

Al mismo tiempo se puede resaltar que el plástico de cubrimiento y protección de los módulos tiene un efecto invernadero parecido al de la envolvente microclimática del prototipo.

La temperatura de aire en dicho espacio supera hasta 5°C la temperatura en el interior de los módulos habitacionales en momentos determinados, a pesar de no ser herméticamente cerrado en la parte inferior y sufrir infiltraciones de consideración.

Los módulos habitacionales a su vez reaccionan más lentos a los cambios de temperatura exterior, debido a su inercia térmica no elevada pero considerable, su estanqueidad y su buen aislamiento térmico.

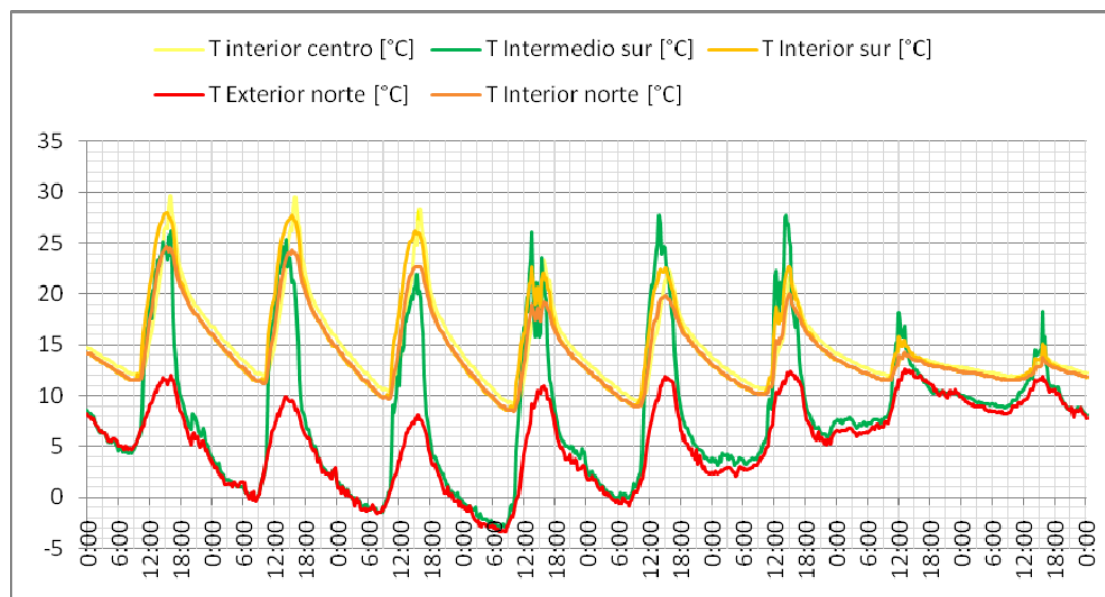


Fig.3: Mediciones del 24 al 31 de diciembre 2010 durante, Campus Sant Cugat

La temperatura mínima en el interior del prototipo se produce entre las 9 y las 10 de la mañana, cuando las temperaturas exteriores ya empiezan a subir de nuevo, con mínimos obtenidos alrededor de 9 °C.

Analizando el periodo global de mediciones las temperaturas interiores tenían su mínimo en 5,4 °C y su máximo en 32,6 °C con un valor promedio de 14,9 °C.

El valor de la humedad relativa en el interior se encontraba entre 24,7 y 84,8 % HR.

Otros valores de temperatura medidos son:

Espacio intermedio sur: entre -3,7 °C y 33,6 °C con un promedio de 9,6 °C.

Interior parte sur: entre 4,6 °C y 31,1 °C con un promedio de 15,1 °C

Interior parte norte: entre 4,4 °C y 27,8 °C con un promedio de 14,4 °C

Exterior norte: entre -4,1 °C y 20,4 °C con un promedio de 6,9 °C

4.2.4 Conclusión

Las mediciones en el campus Sant Cugat confirman la elevada eficiencia energética del prototipo y la importante aportación de los espacios intermedios al funcionamiento bioclimático de la vivienda. Cabe resaltar la importancia de la estanqueidad al aire para el comportamiento eficiente en invierno tanto de los espacios interiores como de los espacios intermedios.

4.3 DEMANDA ENERGÉTICA REAL DEL PROTOTIPO

4.3.1 Instalación solar fotovoltaica integrada como cubierta ventilada

LOW3 lleva integrado una instalación solar fotovoltaica de una potencia de 4.0 kWp con una producción anual de 6.000 kWh de electricidad, suficiente para cubrir toda la demanda anual de la vivienda. Acorde a los principios "low cost" y "low impact" se ha utilizado tecnología estándar de células multi cristalinas.

Los módulos fotovoltaicos están integrados en la cubierta mediante una subestructura de perfiles de acero galvanizado, creando así una cubierta ventilada que permite la libre circulación de aire a través de un espacio de 20 cm de grosor entre módulos fotovoltaicos y cubierta de policarbonato.

La instalación está orientado hacia sur con una inclinación de 19°, cerca de su óptimo.

La instalación da sombra a la parte sur de la cubierta y evita sobrecalentamiento del espacio intermedio debajo. A través de un alto grado de ventilación a causa de un efecto chimenea se evacua el aire caliente que se produce debajo de los módulos, lo que permite que la instalación trabaje a una temperatura cerca del óptimo con una máxima eficiencia.

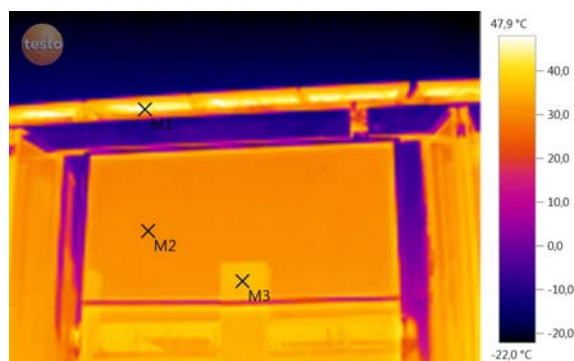


Fig.4: Thermografía de la instalación FV

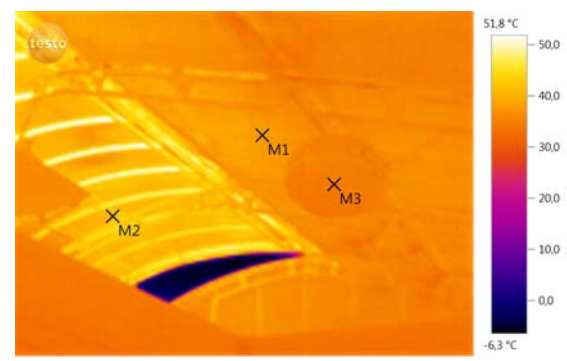


Fig.5: Thermografía interior cubierta

Figura 4 muestra la temperatura elevada de la instalación solar fotovoltaica ($M1=46.5^{\circ}\text{C}$) mientras en figura 5 se ve la temperatura significativamente inferior de la cara interior de la cubierta sur ($M1=37.7^{\circ}\text{C}$). La parte norte mientras muestra una temperatura superficial más elevada, alrededor de 42°C .

La ventilación de los módulos ayuda efectivamente en evitar un sobrecalentamiento de los espacios bajo cubierta.

4.3.2 Autosuficiencia energética

Acorde a los resultados obtenidos en las mediciones de producción y consumo energético del prototipo durante la semana de competición en Madrid, se puede confirmar la autosuficiencia energética del prototipo LOW3 en su ubicación en la Vila Solar está garantizada en su balance anual.

6.000 kWh de producción eléctrica cubren una demanda anual calculada de 5.892 kWh.

Para la ubicación Sant Cugat se espera resultados muy similares, con algo menos de producción y una demanda reducida a causa de un clima más templado y mediterráneo.

4.4 SIMULACIÓN TÉRMICA DINÁMICA DEL PROTOTIPO LOW3

Para la simulación térmica dinámica se ha utilizado el programa BIOCLIM con motor de simulación COMFI con el fin de analizar y evaluar la el comportamiento climático del prototipo especialmente referente a sus sistemas bioclimáticos y su demanda en calor y frío.

4.4.1 Condiciones

A causa del concepto especial particular de LOW3 y ciertas limitaciones del programa BIOCLIM, no ha sido posible realizar las simulaciones para invierno y para verano con el mismo modelo de edificio. La transformación de la piel microclimática cerrada con efecto invernadero en invierno en techo de sombra totalmente abierto y ventilado en verano exigía el uso de dos modelos diferentes de edificio. En el modelo de simulación de verano no se ha contemplado la envolvente microclimática, sino se ha considerado el sombreado de un 100% de los módulos habitacionales y sus fachadas.

4.4.2 Resultados de la simulación térmica dinámica

Para el verano, la simulación térmica dinámica indicó una demanda de refrigeración de unos 70 kWh/m²/a, considerando temperaturas de entre 22 y 25°C como condición de confort. La potencia máxima necesaria para mantener condiciones de confort en verano se calculó en 2.500 W.



Fig.6: Mecanismos bioclimáticos de LOW3

En invierno, los espacios intermedios trabajan como invernadero con una alta absorción de energía solar a través de la fachada sur translúcida y un correspondiente aumento de la temperatura hasta 35 °C durante días soleados. Gracias a la relativamente alta estanqueidad al aire y un valor U de unos 2,4 Wm²K de la envolvente de policarbonato, se debe que abrir la cubierta o parte de la fachada sur para evitar el sobrecalentamiento.

El aire caliente puede ser utilizado para la ventilación mecánica del interior, pero sobre todo se reducen considerablemente las pérdidas a través de la transmisión térmica de la vivienda núcleo hacia los espacios intermedios, especialmente durante la noche.

Se ha calculada una demanda energética de 15 kWh/m²/a en calefacción con una potencia máxima necesaria de 2.000 W, necesaria para mantener las condiciones de confort en los módulos habitacionales en invierno.

4.4.3 Conclusiones

Los resultados de la simulación térmica dinámica con BIOCLIM ayudaron en la definición de la estrategia bioclimática adecuada para el prototipo LOW3. Los primeros resultados de medición tanto en Madrid como en Sant Cugat indican una buena coincidencia con las previsiones de las simulaciones.

No obstante a causa de la complejidad del concepto de espacios intermedios del prototipo se debe que analizar los resultados en detalle y compararlas con mediciones prolongadas durante mínimamente un año. A su vez se recomienda la comprobación con programas de simulación alternativas como TRNSYS o ENERGY +.



Fig.7: Planta baja LOW3



Fig. 8: Planta superior LOW3

5. CONCLUSIONES

Se puede confirmar el buen funcionamiento bioclimático del prototipo LOW3 con su concepto de espacios interiores, espacios intermedios y espacios exteriores que permiten un uso flexible y adaptado a diferentes momentos del año.

Espacios intermedios en el marco de conceptos habitacionales innovadores son importantes elementos por explorar. Sus características energéticas, su aplicación en la reforma energética, sus aspectos económicos como sus cualidades espaciales albergan un gran potencial para su aplicación en el mundo de la arquitectura doméstica contemporánea.

LOW3 va a ser monitorizado durante todo el año 2011 para comprobar su buen funcionamiento en todas las épocas del año. Su conversión en *Living Lab LOW3* ayudará a impulsar la investigación sobre eficiencia energética y arquitectura sostenible en el campus Sant Cugat de la UPC.

Se recomienda llevar a cabo más mediciones durante un periodo de mínimo 1 año para poder evaluar el comportamiento climático y el consumo energético de la casa solar LOW3 en su ubicación actual en Sant Cugat con un clima muy diferente al clima de Madrid durante la competición SOLAR DECATHLON en Junio 2010.

Ello aportaría datos sobre el balance energético anual y el confort térmico del prototipo para su desarrollo e implementación como vivienda nueva, sistema de ampliación de viviendas existentes o elemento de reforma energética para el sector de la construcción en Catalunya.



El estudio fue redactado por:

Torsten Masseck

Director LOW3_SOLAR DECATHLON_UPC_2010

CISOL – Centre d'Investigació Solar ETSAB

UPC – Barcelona Tech

Email: cisol@etsab.upc.edu

Tel.: 93 401 25 47

www.low3.upc.edu

Sant Cugat del Vallés, 25 de enero 2010

Torsten Masseck

Director *LIVING LAB LOW3* ETSAB

UPC-Barcelona Tech