

**LA REVITALIZACIÓN DE UNOS ANTIGUOS CUARTELES A PARTIR DE UN NUEVO ESPACIO CLIMÁTICO. Sistemas de validación de los aspectos de reducción de la demanda energética de los edificios.**

**“PARQUE CIENTÍFICO TECNOLÓGICO AGROALIMENTARIO “PCiITAL”. GARDENY. LLEIDA. CONSORCIO “PCiITAL” (UNIVERSIDAD LÉRIDA-AYUNTAMIENTO LÉRIDA)**

Teresa Batlle, Felipe Pich-Aguilera, arquitectos (teresa@picharchitects.com)

## **RESUMEN**

La rehabilitación-revitalización de unos antiguos cuarteles, situados en el área de Gardeny en la ciudad de Lérida, consistió en la intervención en tres edificios existentes y reconvertirlos en espacios de servicio a la investigación para la universidad y la empresa agroalimentaria.

Se consideraron como prioridad, en las decisiones de proyecto, la mejora de la demanda energética de los edificios, para ello se utilizaron modelos informáticos, en la fase de proyecto, y monitorajes, de los edificios existentes. Los datos y cálculos ajustaron las decisiones de proyecto y han sido la base para motorizar y monitorizar el edificio finalizado.

En fase de anteproyecto se evaluó mediante modelos energéticos la demanda energética asociada a las características arquitectónicas y constructivas del edificio para poder decidir las posibilidades de reducción. Las decisiones sobre los sistemas constructivos, los espacios-atrío y el efecto de humedad y vegetación nos permitían un ahorro en torno a un 23% en calefacción y un 50% en refrigeración.

La posibilidad de integrar a un segundo grupo de investigación en el proyecto permitió por un lado cotejar los datos de ahorro y por otro monitorizar el edificio existente y así como programar la monitorización del edificio ya rehabilitado y en uso. Actualmente, sobre una metodología desarrollada, se están ajustando las estrategias bioclimáticas de control para dar el confort óptimo a los espacios intermedios e interiores de los edificios.

**PALABRAS CLAVE:** *arquitectura-bioclimatismo-invernadero-demanda energética-control energético.*

## **SUMMARY**

The rehabilitation-revitalization of some old headquarters situated in Gardeny area in the city of Lérida, consisted of the intervention on three existing buildings and their restructuring in investigation spaces for the university and the food and agriculture business.

In Project decisions, were considered to be a priority, the buildings energy demand improvement. For it, during the project phase, data processing models and storage of the existing building climatic information were used. The information and calculations fitted project and they have been the base to motorize and to monitor the rehabilitated building. In phase of preliminary design, and to the buildings energy demand improvement, the associated energy demand to the constructive and architectural characteristics of the building, were evaluated by means of energy models.

The constructive systems solutions, atrium-spaces, and the humidity and vegetation effect, permitted savings around 23% in heating and 50% in cooling. The possibility to integrate a second research team in the project allowed us to arrange on one hand the data of savings and for other one monitoring the existing building. As well we programmed the rehabilitated (and in use) building monitoring. Nowadays, on a developed methodology, bioclimatic strategies are being adjusted to give the ideal comfort to the interiors and intermediate spaces of the buildings.

**KEYWORDS:** *architecture-bioclimatism-greenhouse-energy demands-energy control.*



Imagen 1. Visión de los cuarteles antes de su intervención.

La rehabilitación-revitalización de unos antiguos cuarteles, situados en el área de Gardeny en la ciudad de Lérida, consistió en la intervención en tres edificios existentes y reconvertirlos en espacios de servicio a la investigación para la universidad y la empresa agroalimentaria.

La propuesta arquitectónica trató de reforzar la idea de los 6 volúmenes lineales existentes de planta diáfana, flexible y abierta a los cambios de uso y convertirlos en un único edificio, mediante la cubrición de los patios exteriores entre edificios, con unos *invernaderos-umbráculos* modulares, extraídos directamente del mundo innovador agrícola. Estos patios nos permitieron crear un espacio térmico, generador de un microclima, que apoya, desde sistemas pasivos de construcción, el confort interior de los edificios.



Imagen 2. Planta tipológica

El proyecto parte de la voluntad de introducir, en la gestación y su proceso, criterios de sostenibilidad. Tanto la apuesta por rehabilitar los edificios existentes, como la propuesta de

proyecto de generar una nueva atmósfera que apoye el buen comportamiento bioclimático, hasta la decisión en los sistemas constructivos y de materiales quisieron conseguir un respeto principalmente ambiental y consecuentemente una reducción de la demanda energética de los edificios.

Resumimos los aspectos principales, en este sentido, que se han desarrollado en el proyecto:

- Diseño bioclimático: protección y modulación de las ganancias térmicas, ventilación e iluminación natural, aprovechamiento de las condiciones del entorno del edificio.
- Diseño de las instalaciones: control de la demanda energética. Integración de los sistemas de energías renovables. Eficiencia energética de las instalaciones.
- Elección de materiales: utilización de materiales de bajo impacto ambiental y alta reciclabilidad. Gestión y separación selectiva de residuos, tanto en el proceso de construcción como en el uso del edificio.
- Recursos: tratamiento de las aguas pluviales y de condensación. Limitación del consumo, desde mecanismos de ahorro de agua.

## DESCRIPCIÓN DE LOS ASPECTOS PRINCIPALES QUE PERMITEN UN BUEN COMPORTAMIENTO BIOCLIMÁTICO DE LOS EDIFICIOS

### ESPACIO “*INVERNADERO-UMBRÁCULO*”

El proyecto plantea la cubrición de los patios centrales entre edificios con un “*invernadero-umbráculo*” industrializado -extraído directamente del reciclaje de invernaderos holandeses-, la obra y la normativa específica vigente española ha impedido el reciclaje del conjunto del invernadero, pero sí se ha podido reciclar la tecnología y algunos de los productos y sistemas que la industria aportaba.

### DESCRIPCION CONSTRUCTIVA INVERNADERO-UMBRÁCULO

El “*invernadero-umbráculo*” se cubre con vidrio y una estructura tubular metálica, en diente de sierra. Su configuración y detalles de materiales, remates y acabados extraen todo el conocimiento acumulado de captación térmica, recogida de aguas pluviales, recogida de aguas de condensación, sistemas monitorizados de aberturas de compuertas y sistemas de protección frente a la insolación.

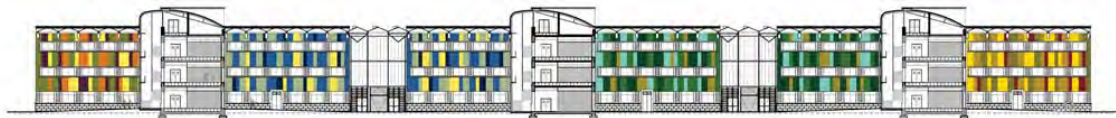


Imagen 3. Sección longitudinal de los invernaderos-umbráculos.



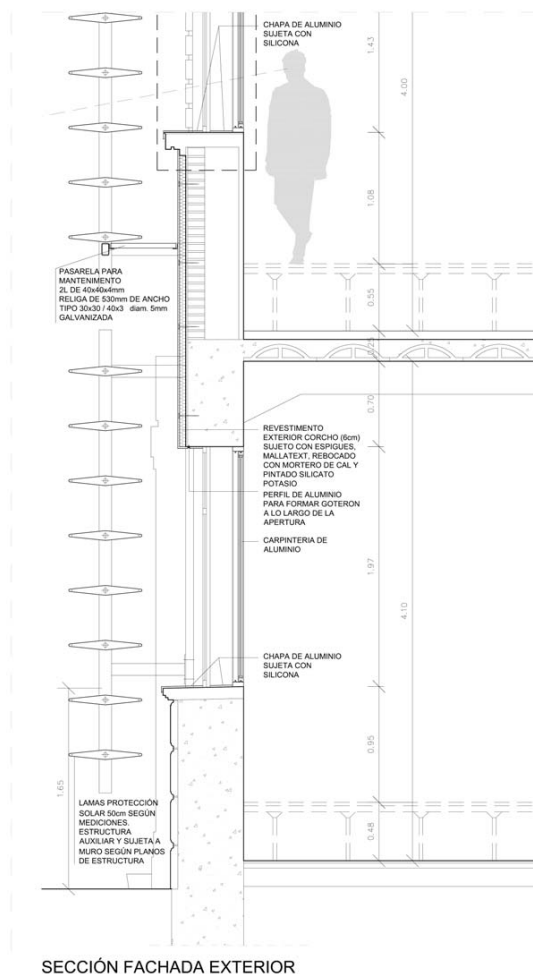
## CERRAMIENTOS-ENVOLVENTE EDIFICIOS H

### TRATAMIENTOS DE FACHADA

Los edificios existentes no tenían aislamiento térmico, el punto prioritario estuvo en reforzar la inercia de los muros existentes. Así pues en los muros exteriores se proyectó un aislamiento continuo desde el exterior, conservando la inercia térmica hacia el interior. En cambio se consideró positivo mantener sin aislamiento las fachadas en contacto con el “*invernadero-umbráculo*”, de esta manera los muros irradian hacia el interior la temperatura de este espacio semiclimatizado.

### DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA DE LAS INTERVENCIONES EN FACHADAS EXISTENTES

- Tratamiento de las fachadas exteriores con aislamiento rebozado y pintado en las partes macizas (sistema sto).
- Tratamiento de las fachadas a patios, no se coloca aislamiento, únicamente se pintará con mortero mezclado con arlita.
- Se sustituyen las carpinterías exteriores; se proponen carpinterías de aluminio reciclado con rotura de puente térmico únicamente en las fachadas exteriores.
- Se protegen todas las aberturas exteriores con lamas. Existió en proyecto un análisis pormenorizado del tipo de lamas y su colocación según orientación que no pudo llevarse a cabo en todo su detalle.
- El cerramiento de los núcleos de comunicación vertical se resuelven con muro cortina y estructura de acero, utilizando el mismo sistema industrial de invernaderos.



SECCIÓN FACHADA EXTERIOR

Imagen 6: detalle de fachada

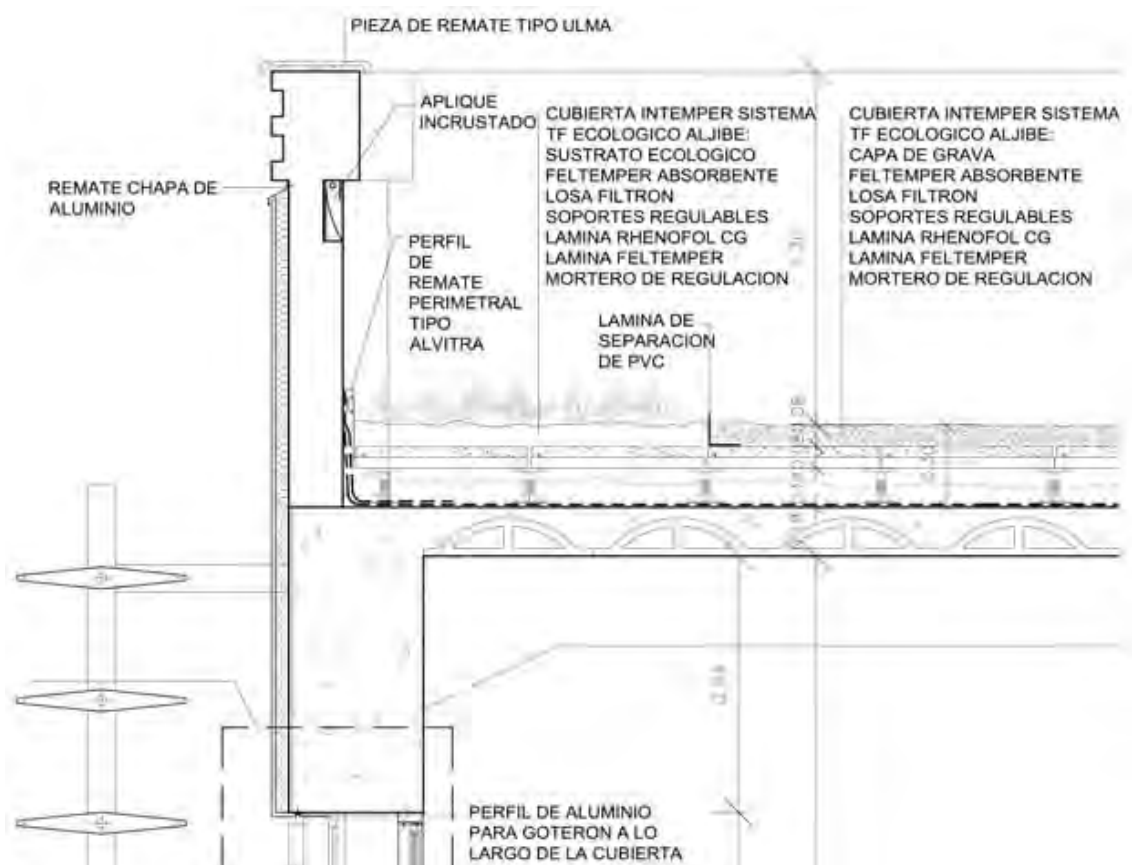


Imagen 7. Detalle ejecución del aislamiento

## CUBIERTA DE LOS EDIFICIOS H EXISTENTES

Todas las cubiertas han estado reformadas a lo largo del tiempo, en diferentes épocas y con diferentes tipos de soluciones. En fase de proyecto se analiza el estado de todas las cubiertas y se decide el derribo de todas las capas por encima del forjado de esta planta. Por encima de este nivel se coloca una cubierta ecológica aljibe.

### DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA DE LAS CUBIERTAS

- Cubierta ecológica aljibe, con gravas en las zonas de paso, sobre forjado existente.
- Cubrición de los patios centrales con umbráculo-invernadero industrial con estructura ligera de perfiles metálicos.
- Cubrición del ala central de los núcleos de comunicación vertical de chapa.



*Imagen 8. Detalle de las cubiertas aljibe ecológicas.*

#### **SISTEMAS DE VALIDACIÓN, EN PROYECTO, DE LOS ASPECTOS DE REDUCCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO.**

Todas las propuestas de proyecto fueron cotejadas y validadas con el apoyo de herramientas informáticas y la contratación adicional de especialistas en el campo de la simulación de edificios para poder así cuantificar la reducción de la demanda energética en relación al ahorro conseguido y la inversión económica inicial que cada decisión suponía.

Se colaboró, en la redacción del proyecto, con la asesoría ambiental **Societat Orgànica**.

#### **EVALUACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE “PCi TAL” DESDE LAS HERRAMIENTAS ESTUDIADAS POR LA ASESORIA AMBIENTAL SOCIETAT ORGÁNICA**

La evaluación de la demanda energética se inició en fase de anteproyecto, así pues se evaluó mediante modelos energéticos la demanda energética asociada a las características arquitectónicas y constructivas del edificio y las posibilidades de reducción, considerando como premisa que tan sólo se puede actuar desde la envolvente.

El estudio se centra plenamente en el análisis de la demanda energética correspondiente a la climatización del edificio, entendiéndose que habitualmente le corresponde el mayor porcentaje del consumo energético total, un 40 o un 60 % del total de la demanda. Se consideró pues que el consumo asociado a otros usos energéticos estaba más ligado al uso y la gestión del edificio que a decisiones de proyecto.

Para evaluar la demanda energética de climatización asociada a las características del proyecto arquitectónico se tomó como base el anteproyecto trabajado y se introdujeron las herramientas seleccionadas. La información obtenida desde las herramientas de simulación en la fase de anteproyecto fue contrastada y analizada en el proyecto básico y se revisaron nuevamente en el proyecto de ejecución. Los resultados se expresaron en términos de KWh/m<sup>2</sup> anuales de calefacción y refrigeración.

Se utilizaron dos herramientas informáticas:

Por un lado, en cumplimiento de la normativa, se empleó el apoyo de los datos que nos daba la herramienta de Código Técnico de la Edificación LIDER (Limitación de la Demanda Energética), en donde realizamos una simulación de ésta en régimen transitorio de transferencia de calor (considerando todas las zonas que tiene el edificio). El programa centra su cálculo en la envolvente del edificio con unos parámetros de confort prefijados.

Por otro lado se utilizó la herramienta ECOTECT que nos permitió valorar de forma aproximada la incidencia de los diferentes factores que condicionan la demanda y adicionalmente permiten intervenir al usuario en muchos más parámetros que la herramienta LIDER, tales como los perfiles de ocupación, la utilización de los aparatos, así como un análisis detallado del asoleo y su incidencia en el interior del edificio. La herramienta ECOTECT nos permitió realizar un mayor número de simulaciones que con la herramienta LIDER.

Los parámetros más importantes de partida fueron la geometría del edificio y las soluciones constructivas propuestas, se contempló, tal y como ya hemos descrito anteriormente, que la decisión de cubrición de los patios convirtiéndolos en atrio podían considerar el conjunto como un único edificio.

Así pues se simularon 4 opciones:

Opción 1: un edificio base, sin ninguna propuesta de mejora.

Opción 2: el edificio base con un aislamiento de 5cm de lana de roca.

Opción 3: el edificio base con la propuesta de atrios.

Opción 4: el edificio con todas las aportaciones de proyecto, refuerzo selectivo del aislamiento, cubierta ajardinada y lamas.

(Las opciones 5 y 6 que se detallan en la gráfica1 no pudieron simularse).

Los parámetros principales para la simulación con la herramienta LIDER fueron: temperatura de confort en invierno de 20º, en verano 25º, cargas internas de 15w/m<sup>2</sup>, ocupación 10m<sup>2</sup>/persona. LIDER nos permitió definir cada una de las soluciones constructivas que se incorporaron en el proyecto y establecer si se trata de un edificio de baja o alta carga interna.





Imagen 9. Fotografía fachadas exteriores del edificio

ECOTECT nos aportó la profundización de los parámetros de análisis y un mayor detalle en las opciones de simulación.

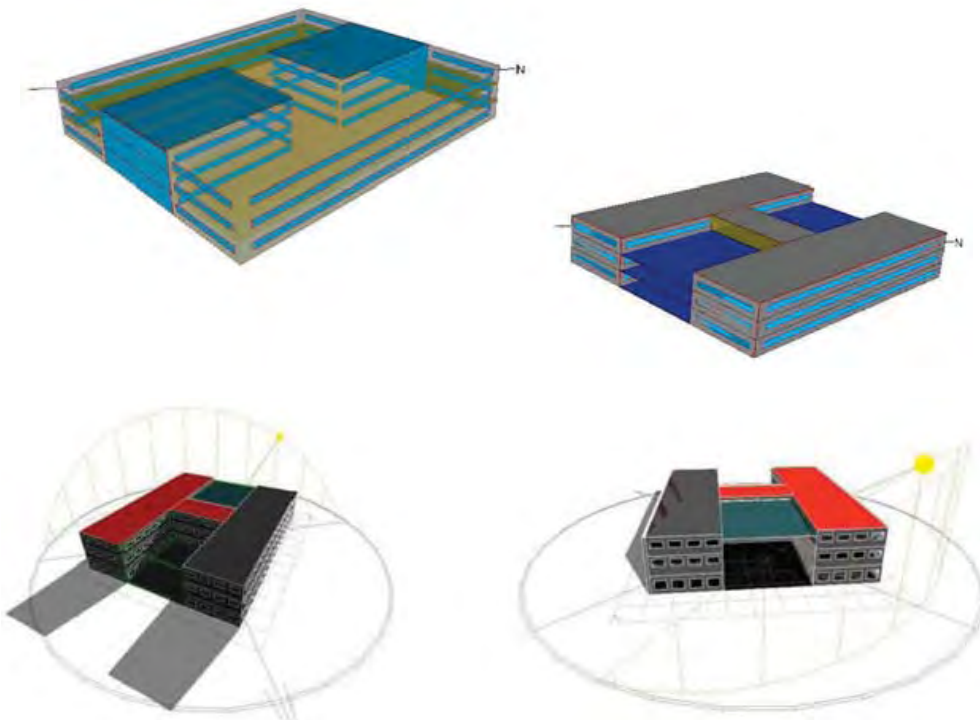


Imagen 10. Opciones de simulación y estudios de asoleo.

Finalmente los resultados de las demandas globales y por uso energético obtenidos con la herramienta ECOTECT para cada una de la opciones, en relación con un edificio base, se presentan en la siguiente tabla (incluye dos grupos de resultados para cada una de las alternativas de carga interna y una columna con el porcentaje de ahorro que se consigue en cada caso).

| Opción |   | SIMULACIÓN ECOTECT: Carga aparatos 80W/m2 |          |               |          | Total ahorro | SIMULACIÓN ECOTECT: Carrega aparatos 40W/m2 |          |               |          | Total ahorro |
|--------|---|---|----------|---------------|----------|--------------|---|----------|---------------|----------|--------------|
|        |   | Calefacción                               | % ahorro | Refrigeración | % ahorro |              | Calefacción                                 | % ahorro | Refrigeración | % ahorro |              |
| O1     | Edificio base                                     | 6,46 kWh/m2                               |          | 140,63 kWh/m2 |          |              | 9,56 kWh/m2                                 |          | 125,14 kWh/m2 |          |              |
| O2     | Base + aislamiento                                | 5,76 kWh/m2                               | 11%      | 136,32 kWh/m2 | 3%       | 3%           | 7,93 kWh/m2                                 | 17%      | 103,94 kWh/m2 | 17%      | 24%          |
| O3     | Base + atrios                                     | 6,45 kWh/m2                               | 0%       | 120,70 kWh/m2 | 14%      | 14%          | 8,92 kWh/m2                                 | 7%       | 88,58 kWh/m2  | 29%      | 34%          |
| O4     | Base + atrios+ mejoras (aislam. lamas, cubiertas) | 5,10 kWh/m2                               | 20%      | 105,93 kWh/m2 | 25%      | 24%          | 5,97 kWh/m2                                 | 38%      | 73,40 kWh/m2  | 41%      | 46%          |
| O5     | O4 + protección atrios verano                     | 5,19 kWh/m2                               | 20%      | 102,98 kWh/m2 | 27%      | 26%          | 5,97 kWh/m2                                 | 38%      | 66,34 kWh/m2  | 47%      | 51%          |
| O6     | O4 + efecto vegetación                            | 5,19 kWh/m2                               | 20%      | 104,18 kWh/m2 | 26%      | 26%          | 5,97 kWh/m2                                 | 38%      | 71,52 kWh/m2  | 43%      | 47%          |

Avaluació de la demanda energètica  
Projecte: PCITAL - Lleida

Societat Orgànica25/09/2012

Gráfica 1. Tabla de los resultados de las demandas globales para el uso energético del edificio de cada una de las opciones en relación al edificio base.

Los resultados permiten verificar y detallar las tendencias observadas con la herramienta LIDER y justifican la alternativa de los atrios como espacios que amortiguan el comportamiento global de la demanda de los edificios. Se observó que la consideración de una carga interna mayor o menor incide significativamente en los resultados, potenciando mucho más los ahorros y el efecto de mejora que se consigue con la propuesta de los invernaderos-umbráculos. Se tomó en consideración que las estrategias de gestión de los invernaderos-umbráculos, protecciones solares (opción 5) y el efecto de la vegetación (opción 6) podían mejorar el ahorro.

Se consideró, ya en la fase de proyecto el interés de un estudio en profundidad del comportamiento actual del edificio y el interés de monitorizar y motorizar el edificio tanto en la fase anterior como posterior a la rehabilitación.

Detallamos sintética y gráficamente el comportamiento bioclimático esperado, en invierno, verano y en relación con el uso del agua:

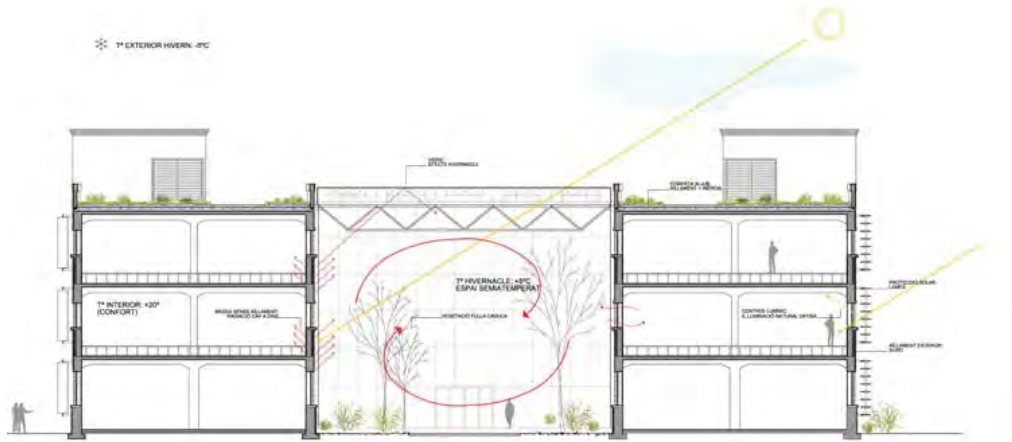


Imagen 12. Síntesis gráfica del comportamiento bioclimático en invierno

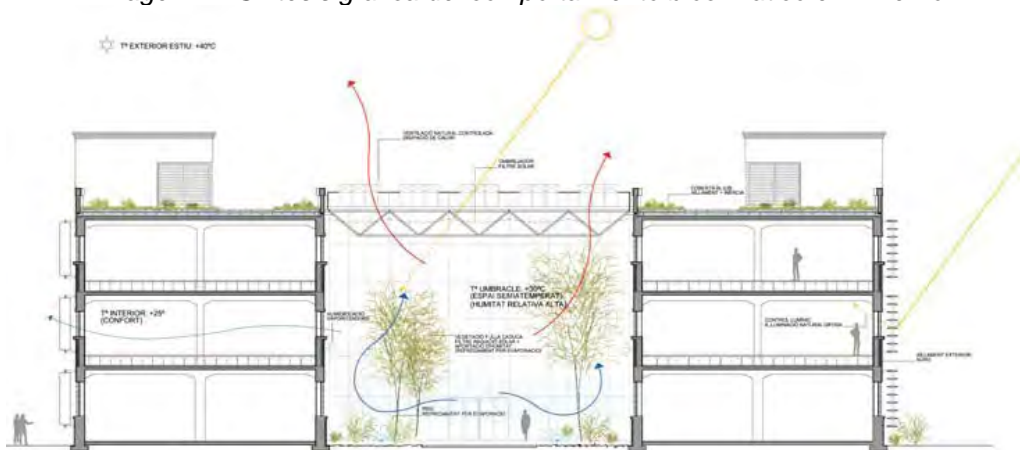


Imagen 13. Síntesis gráfica del comportamiento bioclimático en verano

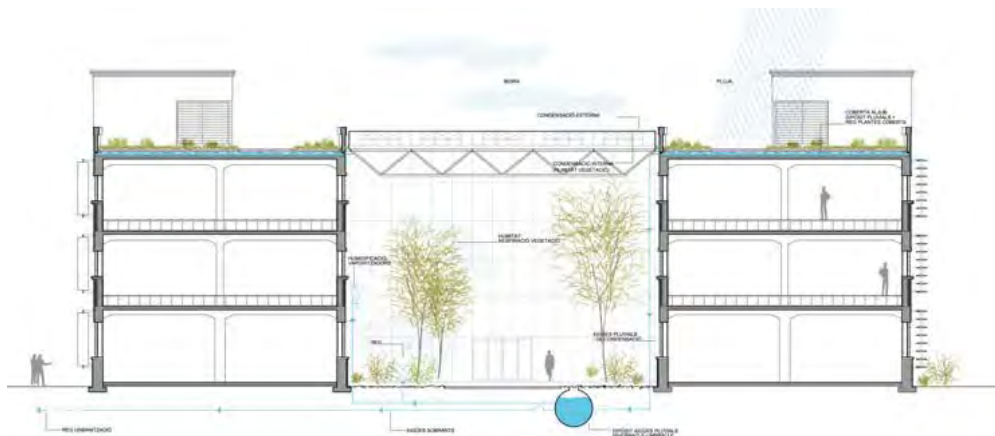


Imagen 14. Síntesis gráfica de la racionalización del agua de lluvia y de condensación.

## SISTEMAS DE MONITORAJE DE LOS EDIFICIO EXISTENTES. ESTUDIO REALIZADO POR EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LÉRIDA, EL CENTRO TECNOLÓGICO BeeGroup-CIMNE Y EL GRUPO DE ENERGÍA SOLAR DE LA UNIVERSIDAD DE LÉRIDA

El Instituto tecnológico de la Construcción de Lérida (ITL), juntamente con el Centro BeeGroup-CIMNE y el grupo de energía solar de la Universidad de Lérida, plantearon un sistema de monitorización del comportamiento energético y el impacto de la rehabilitación de uno de los edificios existentes.

El objetivo prioritario del estudio liderado por BeeGroup-Cimne estaba, por un lado en testear cuanto se había estudiado y concluido en proyecto y por otro profundizar en el actual comportamiento del edificio en aras a poder monitorizar y motorizar el edificio en uso una vez rehabilitado.

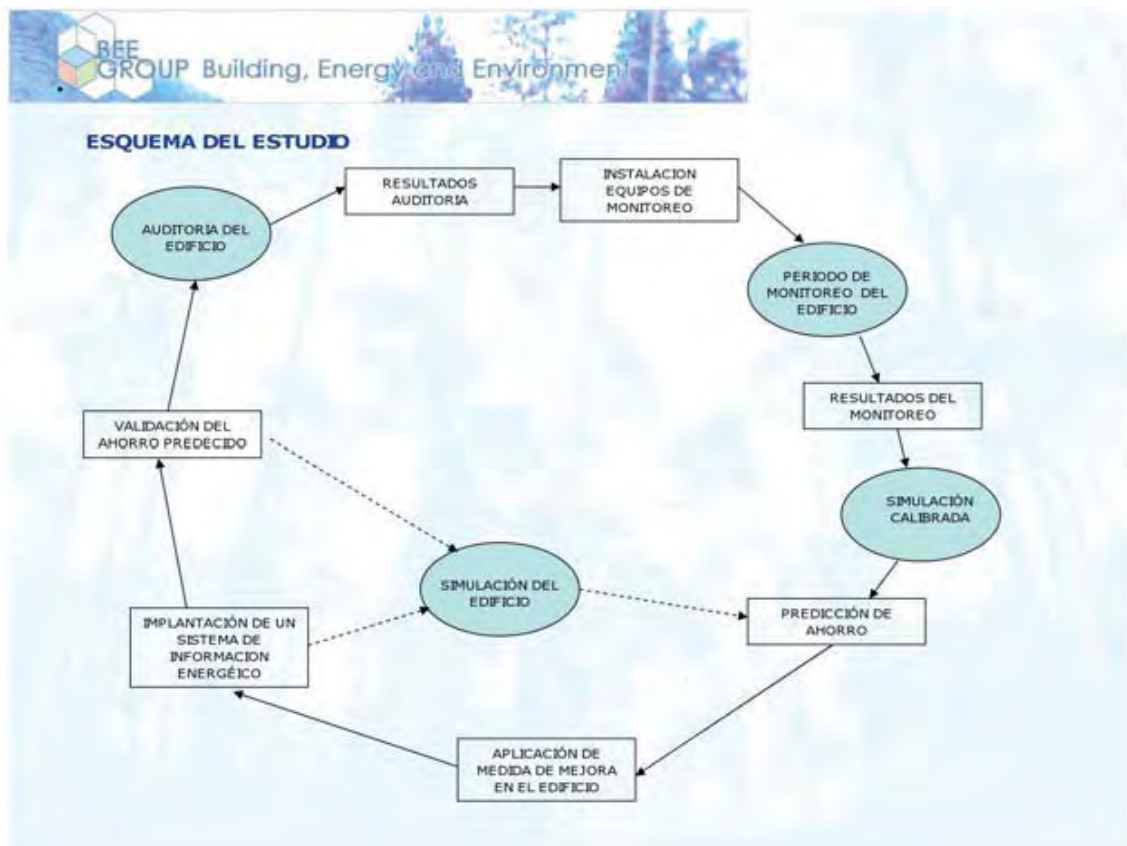


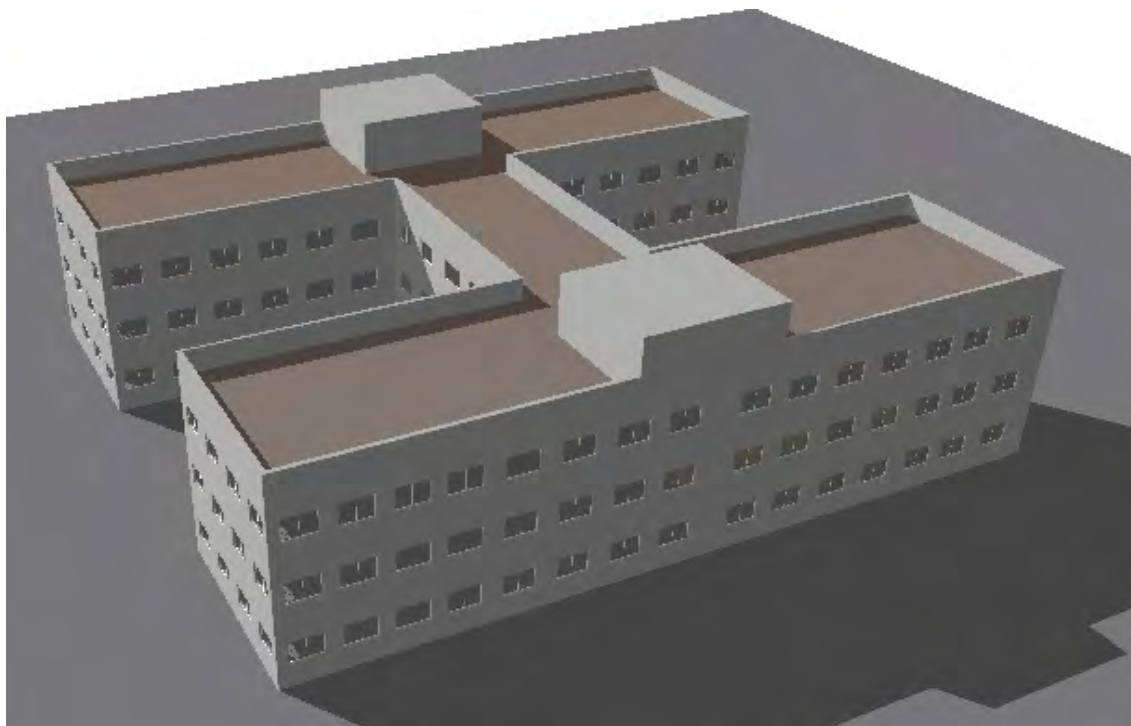
Grafico 2. Esquema de monitorización y auditoría energética de las oficinas ITL

### PROCEDIMIENTO Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Se analizó el comportamiento energético de unas oficinas en uso, antes de la rehabilitación, mediante:

- 1- La inspección del edificio y sus instalaciones, juntamente con un periodo corto de monitoraje
- 2- La Simulación del edificio con un simulador dinámico (Energy Plus y Design Builder )
- 3- La simulación de las alternativas constructivas que se querían llevar a cabo en la remodelación del edificio.
- 4- El estudio de desarrollo para disponer de un sistema comercial de control y gestión energética remota del proyecto definitivo.

Se estudió concretamente la primera planta a Sur, que corresponde a las dependencias del "Instituto Tecnológico de Lérida" (ITL).



*Gráfico 3. Espacio del edificio monitorizado.*

Los parámetros utilizados en la simulación fueron:

1. Geometría (localización, superficie y asoleo).
2. Muro exterior (el valor  $(w/m^2-k)$  de cada superficie del muro)
3. Particiones interiores (el valor de  $(w/m^2-k)$  de todas las particiones interiores)
4. Ventanas (su tamaño y composición)
5. Ocupación (Número de personas y sus horarios)
6. Iluminación (tipos  $W/m^2$  por luminaria)
- 7- Equipos ( $W/m^2$  por equipo informático)
8. Climatización y Calefacción (En una primera fase de estudio se ha analizado el edificio sin pensar en el apoyo de climatización).

Los datos climáticos fueron la extrapolación de un año tipo, siendo el año tipo el valor medio diario a lo largo de los últimos 20 años (hora a hora) y los datos obtenidos por una estación meteorológica, desde un programa informático específico que podía informar en detalle de la radiación solar.

Tal como hemos citado, para realizar la simulación energética del edificio se trabajó con el software Energy Plus, como motor de cálculo de la simulación, con el apoyo del simulador Design Builder, como interfase gráfica.

Fueron necesarias estrategias para calibrar las simulaciones realizadas, pues por un lado los métodos de medición utilizados no podían determinar aspectos tales como:

- Hermeticidad o Infiltración del edificio.
- Perfil de funcionamiento de la ventilación
- Energía Residual en el edificio.
- Perfiles de utilización de abertura de ventanas y cortinas.

Y por otro lado debíamos tener en cuenta estrategias ligadas a la demanda considerando únicamente el comportamiento pasivo del edificio.

Una vez monitorizado el edificio existente y calibrado su resultado se obtuvieron las demandas de refrigeración y calefacción y fueron base de un estudio de las mejoras posibles en base a una realidad que era objeto del proyecto:

### RESULTADOS DE CARGAS DEL EDIFICIO EXISTENTE

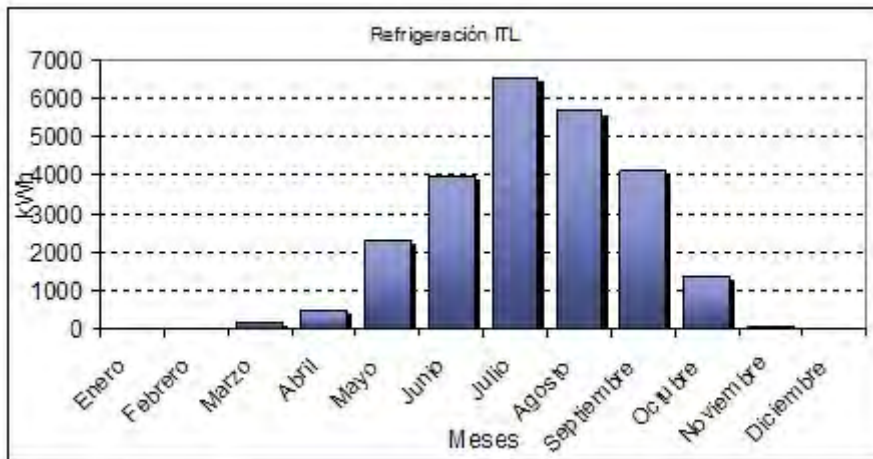


Gráfico 4 Demanda de refrigeración. Perfil mensual de cargas de refrigeración



Gráfico 5. Demanda de calefacción. Perfil mensual de cargas de calefacción

### RESUMEN DE LA DEMANDA TÉRMICA DEL EDIFICIO EXISTENTE

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| Demanda en refrigeración de las oficinas del ITL: | 24.652,36 kWh                      |
| Demanda en calefacción de las oficinas del ILT:   | 14.610,05 kWh                      |
| <b>Total demanda Térmica:</b>                     | <b>39.262,41 kWh (consumo año)</b> |
| Indicador de la demanda:                          | 62 kWh/m <sup>2</sup> año          |

## COMPROBACIÓN DE AHORRO DESDE LAS ESTRATEGIAS TOMADAS EN PROYECTO:

### 1.- COLOCACIÓN DE AISLAMIENTO EN FACHADAS EXTERIORES

La incorporación de una nueva capa de aislante en los muros exteriores, consigue una reducción del 26% de pérdida interior-externa en fachada y una reducción del 12% considerado el volumen total de edificio (fachada – cubiertas - suelo), según los estudios realizados por BeeGroup-CIMNE.

El ahorro total del consumo térmico (por demanda con aislamiento de calefacción y refrigeración) representa un ahorro porcentual del 7%. Cabe destacar, en la comprobación numérica, que la opción de instalar el aislante en la parte mas exterior del muro favorece una inercia positiva para las cargas de calefacción y refrigeración del edificio.

### 2.- COLOCACIÓN DE LAMAS MÓVILES EN LAS FACHADAS

Las lamas consiguen disminuir las ganancias solares con la consecuente reducción de la demanda de refrigeración.

Así pues con lamas el ahorro en refrigeración es de 6.324,07 Kwh, pero aumentamos las cargas de calefacción en 5.023,08 Kwh.

El ahorro total de consumo térmico con lamas es de 1.300,99 Kwh, que representa un ahorro porcentual del 2% del consumo total de edificio.

### Datos concluyentes de las simulaciones ITL-BeeGroupCIMNE

Con las medidas que se han podido implantar en el simulador calibrado los resultados son los siguientes (no olvidemos que los datos únicamente se refieren a una oficina):

#### Edificio existente

Demanda en calefacción: 14.610,05 kWh  
 Demanda en refrigeración: 24.652,36 kWh  
 Total demanda Térmica: 39.262,41 kWh (consumo año)

#### Edificio Lamas + Aislamiento (6cm):

Demanda calefacción: 23.394,47 Kwh.  
 Demanda refrigeración: 10.030,33 Kwh.  
 Demanda térmica total: 33.424,80 Kwh.

#### Ahorro global 15%

El estudio liderado por BeeGroup-CIMNE y su punto de partida, desde el monitoraje del edificio existente, no pudo contemplar las aportaciones en el confort de los invernaderos-umbráculos, simplemente se obtuvieron los datos de reducción de la demanda desde las decisiones de aislamiento y protección solar.

El estudio desarrollado con Societat Orgánica fue la guía de las decisiones de proyecto.

La posibilidad de poder monitorizar el edificio existente -que ITL, BeeGroup y la Universidad de Lérida nos brindó-, ratificaron y dieron fiabilidad a las posibilidades de ahorro energético desde decisiones bioclimáticas.

La colaboración con el equipo liderado por BeeGroup-CIMNE, su estudio pormenorizado del edificio y su implicación en fase de obra, ha posibilitado poderlos implicar en el seguimiento del buen funcionamiento de los sistemas de programación y automatización de los invernaderos-umbráculos utilizados.

BeeGroup-CIMNE están siendo los responsables en la reprogramación del control automatizado, así como del monitoraje del edificio una vez finalizado y en uso. La posibilidad de integrarlos, con todas sus consecuencias, hace viable un conocimiento a fondo de la realidad.

**ESTUDIOS DE MONITORAJE DEL EDIFICIO YA CONSTRUIDO. ESTRATEGIA Y SEGUIMIENTO DE BeeGroup-CIMNE (trabajo en curso)**

Se monitoriza el impacto de los invernaderos en el consumo energético del conjunto del edificio, la estrategia de monitorización se basa en el control y acciones necesarias para conseguir un confort térmico en los espacios intermedios y en el interior de los edificios.

Se analiza con sensores de control la transferencia de calor de los muros en contacto con el espacio invernadero y el nivel de estratificación del aire en los espacios invernadero.

Para ello se monitoriza con el software de simulación dinámica (Energy Plus), éste nos permitirá cuantificar el impacto energético del invernadero sobre el edificio desde los aspectos de confort (radiación, temperaturas obtenidas en el espacio invernadero y humedad relativa).

Los resultados que se obtendrán del estudio serán:

- Evolución anual del impacto del invernadero sobre el edificio.
- Variación del confort en el interior del invernadero.
- Evaluación del sistema de regulación del invernadero.

**Estrategias bioclimáticas de control:**

Por un lado, se definen los dispositivos necesarios (control automatizado) para el buen comportamiento de los invernaderos. Es interesante detallar que los invernaderos reciclados ya tenían sus sistemas de control (sistemas de control térmico para necesidades agrícolas), BeeGroup-CIMNE debe reprogramar y ajustar los sistemas a las necesidades propias de un edificio terciario.

Por otro, se trazan las estrategias de análisis del correcto comportamiento térmico de los espacios, el trabajo de campo trata de estudiar los dos invernaderos centrales (de igual tamaño, por tanto con un comportamiento térmico idéntico) y trazar una motorización distinta en cada invernadero que permita extraer datos del impacto del espacio sobre la ventilación, el sombreadamiento y la refrigeración evaporativa.

**Descripción de los sistemas de control:**

Los sistemas de control del clima del invernadero se resumen en:

1. Sistema motorizado de apertura de los huecos de la cubierta acristalada.
2. Sistema motorizado de apertura de los huecos de cierre de fachada (aperturas NO y SE).
3. Sistema de protección solar mediante pantallas sombreadas.
4. Sistema de humidificación del aire interior del invernadero. Difusores de agua para refrigeración evaporativa.
- 5.- Calibración de las simulaciones con los datos de monitoreo
- 6.- Simulación de las alternativas
7. Sistema de control del clima interior del invernadero. Esta gestión del clima se realizará mediante el software ECONOMIC y sondas de radiación y velocidad del aire exterior.



Los dispositivos necesarios para este control son:

- Temperatura ambiente interior de los invernaderos a distintas alturas (colocación de Sonda TESTO)
- Humedad relativa en el interior de los invernaderos a distintas alturas (colocación de Sonda TESTO)
- Temperatura de contacto exterior de las fachadas que dan al interior de los invernaderos (colocación de Sonda TESTO)
- Temperatura ambiente interior de las salas que están en contacto con los invernaderos (colocación de Sonda TESTO).
- Humedad relativa en el interior de las salas que están en contacto con los invernaderos (colocación de Sonda TESTO).
- Temperatura de contacto interior de las paredes de las salas que están en contacto con los invernaderos (colocación de Sonda TESTO)
- Transferencia de calor de las paredes en contacto con el invernadero (colocación de fluxómetro FLUXE).
- Control de las aperturas de los invernaderos en el periodo de estudio.
- Velocidad del aire dentro del invernadero (colocación de anemómetros).
- Puesta en funcionamiento de los aspersores (Control aspersores Control bomba o ECONOMIC software).
- Control aperturas Sonda contacto o ECONOMIC software

#### **Detalle de la estrategia bioclimática de control del confort:**

Se realizarán en una primera fase 11 ensayos que darán a conocer el impacto de la ventilación sobre el confort térmico, el impacto del sombreado y la eficiencia de los micro aspersores.

Adjuntamos los primeros ensayos que se realizaron en el mes de octubre (actualmente se están analizando los resultados):

| <b>Ensayos: ventilación</b> | <b>Invernadero A</b>                                     | <b>Invernadero B</b>                                     |
|-----------------------------|--|--|
| <b>Ventilación 1</b>        | Aperturas abiertas<br>Sombreado: 25 %<br>Aspersores: OFF | Aperturas cerradas<br>Sombreado: 25 %<br>Aspersores: OFF |
| <b>Ventilación 2</b>        | Aperturas abiertas<br>Sombreado: 50 %<br>Aspersores: OFF | Aperturas cerradas<br>Sombreado: 50 %<br>Aspersores: OFF |
| <b>Ventilación 3</b>        | Aperturas abiertas<br>Sombreado: 75 %<br>Aspersores: OFF | Aperturas cerradas<br>Sombreado: 75 %<br>Aspersores: OFF |

*Gráfico 6. Previsión de ensayos para determinar el nivel de ventilación de los invernaderos.*

| Ensayo sombreado | Invernadero A  | Invernadero B   |
|------------------|--|---|
| <b>Sombras 1</b> | Aperturas cerradas<br>Sombreado: 0 %<br>Aspersores: OFF  | Aperturas cerradas<br>Sombreado: 100 %<br>Aspersores: OFF |
| <b>Sombras 2</b> | Aperturas cerradas<br>Sombreado: 33 %<br>Aspersores: OFF | Aperturas cerradas<br>Sombreado: 100 %<br>Aspersores: OFF |
| <b>Sombras 2</b> | Aperturas cerradas<br>Sombreado: 33 %<br>Aspersores: OFF | Aperturas cerradas<br>Sombreado: 100 %<br>Aspersores: OFF |
| <b>Sombras 3</b> | Aperturas cerradas<br>Sombreado: 50 %<br>Aspersores: OFF | Aperturas cerradas<br>Sombreado: 100 %<br>Aspersores: OFF |
| <b>Sombras 4</b> | Aperturas cerradas<br>Sombreado: 75 %<br>Aspersores: OFF | Aperturas cerradas<br>Sombreado: 100 %<br>Aspersores: OFF |

Gráfico 7. Previsión de ensayos para determinar el efecto del sombreado o sombreado

| Ensayo refrigeración evaporativa | Invernadero A  | Invernadero B  |
|----------------------------------|--|--|
| <b>Aspersión 1</b>               | Aperturas abiertas<br>Sombreado: 10 %<br>Aspersores: ON, si la humedad $\leq$ 20 % | Aperturas Abiertas<br>Sombreado: 10 %<br>Aspersores: OFF                           |
| <b>Aspersión 2</b>               | Aperturas abiertas<br>Sombreado: 10 %<br>Aspersores: OFF                           | Aperturas abiertas<br>Sombreado: 10 %<br>Aspersores: ON, si la humedad $\leq$ 20 % |
| <b>Aspersión 3</b>               | Aperturas abiertas<br>Sombreado: 10 %<br>Aspersores: ON, si la humedad $\leq$ 30 % | Aperturas abiertas<br>Sombreado: 10 %<br>Aspersores: OFF                           |

Gráfico 8. Previsión de ensayos para determinar la eficiencia de los micro aspersores.

En los edificios del Parque Científico Tecnológico Agroalimentario estamos en la fase final de un proceso necesario dentro del mundo de la edificación, es imprescindible que los arquitectos conozcamos los resultados obtenidos sobre nuestras actuaciones proyectuales, los edificios del Parque Científico Tecnológico Agroalimentario son los primeros edificios en los que podemos profundizar y parametrizar nuestras propuestas bioclimáticas desde la información que obtendremos más allá de los cálculos de proyecto y las opiniones de sus usuarios. El resultado y ajuste que nos proporcionará la motorización y monitorización de los edificios nos da el conocimiento necesario para nuestros futuros proyectos, es necesario analizar la complejidad que la realidad supone para seguir trabajando de una forma veraz por la eficiencia energética de nuestros edificios.

Como arquitectos somos conscientes de que un mal uso de nuestros edificios invalida parte de nuestros esfuerzos de proyecto, más allá del trabajo proyectual es necesario un buen mantenimiento y un buen uso del edificio. Junto con el interés de conocer los resultados reales del edificio se considera clave la información y sensibilización de los usuarios en los criterios de un edificio sostenible.

Opciones de simulación:

De acuerdo con la evaluación preliminar de las características de la propuesta, se propuso al equipo redactor la alternativa de valorar la demanda energética global considerando el cerramiento exterior de los espacios tipo "patio" que la propia configuración en forma de "H" que los edificios genera. Estos espacios delimitados y cerrados pasaron a considerarse atrios y tendrían la misión de "amortiguar" el comportamiento energético global de cada edificio. Si se considera que se trata de 3 edificios consecutivos de la misma tipología formal y si se integrasen estos atrios se podría llegar a considerar el conjunto como un único edificio el que, a priori, podría resultar interesante y enriquecedor para la propuesta.

La valoración de la demanda, dadas las dificultades y la lentitud que puede suponer el cálculo para 3 edificios de este tamaño, se ha de realizar para un solo edificio y se considera que las valoraciones pueden ser representativas del comportamiento global que se tendría que analizar en su conjunto en fases posteriores a la redacción del proyecto.

De acuerdo con este planteamiento, se van a simular 4 opciones con la finalidad de comparar los resultados de la demanda:

**Opción 1:** El edificio base definido de acuerdo con las características nombradas y sin ninguna mejora.

**Opción 2:** El edificio base más un refuerzo general en el aislamiento (5cms. de lana de roca).

**Opción 3:** El edificio base convirtiendo el atrio de los espacios "interiores" del volumen.

**Opción 4:** El edificio base con las mejoras propuestas de los proyectistas (refuerzo selectivo del aislante, cubierta ajardinada, lamas horizontales en los cerramientos orientados a sur) y en los atrios.

### Evaluación de la demanda con la herramienta LIDER

#### Parámetros del análisis

De acuerdo con las posibilidades que ofrece la herramienta LIDER el análisis se hace según los siguientes parámetros principales:

- Emplazamiento: Lérida, Cataluña
- Tipo de edificio: No residencial (alta carga interna)
- Tº de confort: Invierno 20º  
Verano 25º
- Cargas internas: 15w/m2
- Ocupación: 10m2/persona

|                 | SALAS DE REUNIONES | OFICINAS | COMERCIOS | ALMACENES | DOCENCIA | HOTELES MOTELES | RESTAURANTES BARES COMEDORES | CENTROS DE SALUD | RESIDENCIALES |
|-----------------|--------------------|----------|-----------|-----------|----------|-----------------|------------------------------|------------------|---------------|
| AREA PERSON     | 4.95               | 25.55    | 27.97     | 1393.53   | 6.97     | 23.23           | 9.29                         | 18.58            | 23.23         |
| PEOPLE HIS-GEN  | 71.79              | 73.25    | 73.25     | 80.58     | 71.79    | 71.79           | 80.58                        | 73.25            | 71.79         |
| PEOPLE HIS-LAT  | 45.42              | 58.60    | 73.25     | 139.18    | 45.42    | 45.42           | 80.58                        | 58.60            | 45.42         |
| LIGHTING WAREH  | 17.22              | 13.99    | 12.92     | 6.46      | 17.22    | 5.38            | 11.84                        | 15.07            | 4.40          |
| EQUIPMENT WAREH | 10.76              | 16.15    | 5.38      | 2.15      | 10.76    | 5.38            | 10.76                        | 16.15            | 4.40          |
| TOTAL WAREH     | 16.46              | 11.22    | 9.02      | 2.21      | 11.79    | 5.54            | 15.84                        | 11.44            | 5.09          |

Tabla 4 Valores nominales de las fuentes internas según el tipo de espacio

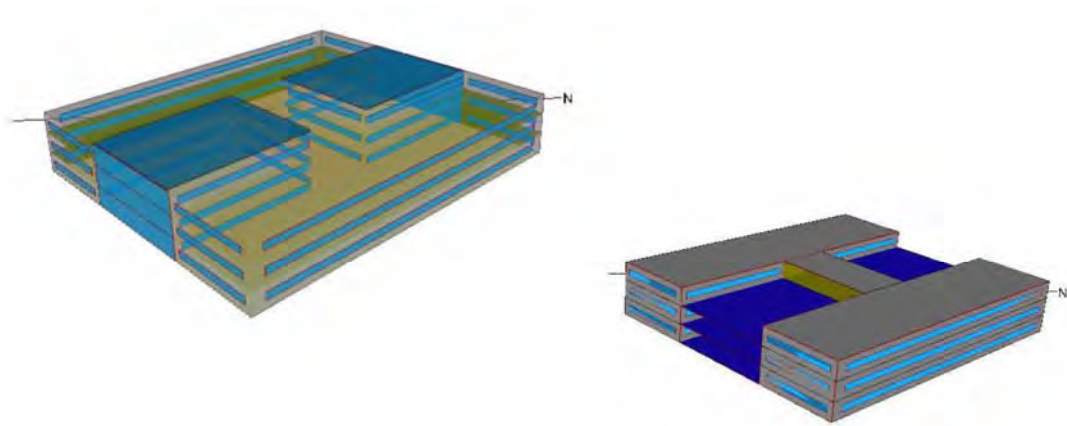
| Refrigeración | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Lateral       | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| Retorno       | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| Frontal       | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| Calefacción   | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| Lateral       | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Retorno       | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Frontal       | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |

Tabla 5 Temperaturas de consigna de refrigeración y calefacción para todos los tipos de espacios.

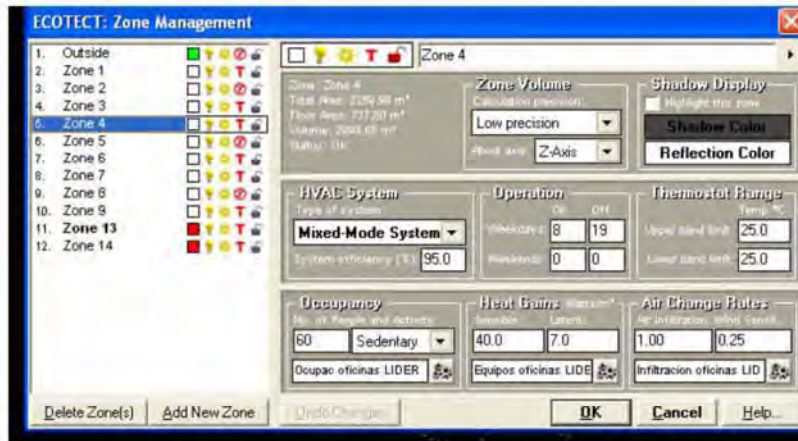
Especificaciones de cargas internas con la herramienta LIDER

LIDER permite definir cada una de las soluciones constructivas que se incorporan en el proyecto y establecen si se trata de un edificio de baja o alta carga interna (los edificios de oficina se asocian a usos de alta carga interna). Los parámetros de confort son fijos (20°C en invierno y 25°C en verano) así como las renovaciones de aire en el interior de los espacios. En el caso de la simulación de las opciones como atrios, estos se definen como zonas no climatizadas con la finalidad de valorar su incidencia en la demanda global.

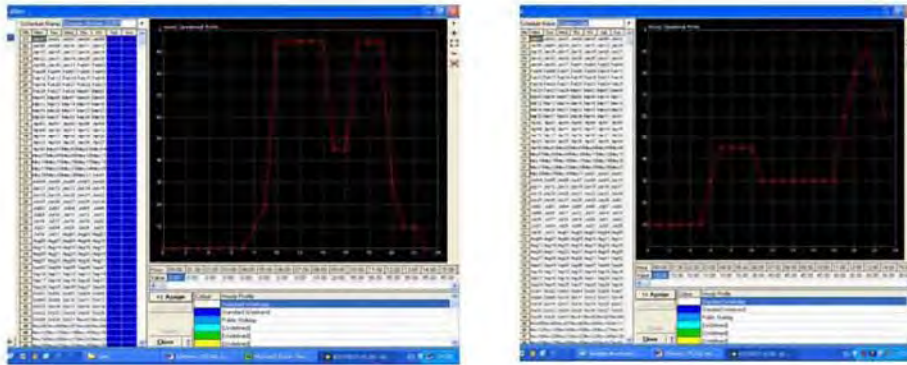
La modelización gráfica del edificio se presenta con las siguientes imágenes



Modelización de las opciones (edificio con o sin atrios) con LIDER.



Paràmetres de l'anàlisi que es poden modificar en ECOTECT



Perfil de ocupación y cargas internas tipo para el uso de oficinas:



Opciones de simulación y estudio de asoleamiento

**Resultados obtenidos:**

Los resultados de demanda globales y para su uso energético obtenido con la herramienta ECOTECT para cada una de las opciones en relación al edificio base se presentan en la siguiente tabla, que incluye dos grupos de resultados para cada alternativa de la carga interna (40 ó 60 W/m<sup>2</sup>) y una columna con un porcentaje de ahorro que se consigue en cada caso:

| Opción | SIMULACIÓN ECOTECT: Carga aparatos 60W/m2         |             |               |               |     | Total ahorro | SIMULACIÓN ECOTECT: Carrega aparatos 40W/m2 |          |               |          |     |
|--------|---|-------------|---------------|---------------|-----|--------------|---|----------|---------------|----------|-----|
|        | Calefacción                                       | % ahorro    | Refrigeración | % ahorro      |     |              | Calefacción                                 | % ahorro | Refrigeración | % ahorro |     |
| O1     | Edificio base                                     | 6,46 kWh/m2 |               | 140,83 kWh/m2 |     |              | 9,56 kWh/m2                                 |          | 125,14 kWh/m2 |          |     |
| O2     | Base + aislamiento                                | 5,76 kWh/m2 | 11%           | 136,32 kWh/m2 | 3%  | 3%           | 7,93 kWh/m2                                 | 17%      | 103,94 kWh/m2 | 17%      | 24% |
| O3     | Base + atrios                                     | 6,45 kWh/m2 | 0%            | 120,70 kWh/m2 | 14% | 14%          | 8,92 kWh/m2                                 | 7%       | 88,58 kWh/m2  | 29%      | 34% |
| O4     | Base + atrios+ mejoras (aislam, lamas, cubiertas) | 5,19kWh/m2  | 20%           | 105,93kWh/m2  | 25% | 24%          | 5,97 kWh/m2                                 | 38%      | 73,40 kWh/m2  | 41%      | 46% |
| O5     | O4 + protección atrios verano                     | 5,19kWh/m2  | 20%           | 102,98kWh/m2  | 27% | 26%          | 5,97 kWh/m2                                 | 38%      | 66,34 kWh/m2  | 47%      | 51% |
| O6     | O4 + efecto vegetación                            | 5,19kWh/m2  | 20%           | 104,18kWh/m2  | 26% | 26%          | 5,97 kWh/m2                                 | 38%      | 71,52 kWh/m2  | 43%      | 47% |

- Los resultados permitirán verificar las tendencias observadas con la herramienta LIDER que justifiquen la alternativa de los atrios como espacios que amortigüen el comportamiento global de la demanda de los edificios
- Se observa que la consideración de una carga interna mayor o mejor puede incidir muy significativamente en los resultados, potenciando mucho los ahorros y el efecto de mejorar los atrios propuestos.
- El ahorro conseguido con la opción 3 se puede aumentar con estrategias de gestión de los atrios como las protecciones solares en verano (opción 5) o el efecto de la vegetación interior (opción 6) que aquí se ha simulado pero será necesario analizar con más detalle y con herramientas más apropiadas en fases posteriores.

## CONCLUSIONES

El análisis hecho hasta ahora permite justificar, en términos de reducción de demanda energética, la estrategia inicialmente planteada con la incorporación planteada de los atrios como elemento de ayuda a la mejora del comportamiento térmico de los edificios.

Vale la pena considerar que los resultados en términos de valores absolutos de demanda se tendrían que comprobar con las herramientas ajustadas al diseño de sistemas de aparatos de climatización, ya que en este caso la valoración global de la demanda sirve de referencia en relación a las tendencias que se observan, más que en términos absolutos de demanda.

Sería necesario estudiar mucho más en detalle el comportamiento térmico de los atrios planteados, la evolución de las temperaturas que se podrían conseguir en su interior, en sus niveles de confort de cara a poder aprovechar no solo los espacios de amortiguación térmico tal como se han planteado, sino como complemento al sistema de climatización del edificio (estrategias como el free-cooling tomando aire desde los atrios) o como zonas habitables que complementarían el programa de usos del edificio.

Promoción Pública. "Consortio "PCiTAL" Ayuntamiento de Lérida - Universidad de Lérida".

---

Autores: Felip Pich-Aguilera Baurier (Equip Arquitectura Pich-Aguilera)  
José Maria Puigdemasa Hospital  
Teresa Batlle Pagés (Equip Arquitectura Pich-Aguilera)

Responsables de grupo: Angel Sendarrubias, Javier Milanés, Pau Casaldaliga.

Responsable de proyecto: Bernat Ros

Colaboradores Jordi Camps, Marc Dolcet, Javier Gomez

Especialistas: **SOCIETAT ORGANICA, consultores energéticos.**

Responsable simulaciones: Fabian Lopez

Responsable control residuos: Albert Sagrera.

Asesor: Albert Cuchi

**Grupo de bioclimatismo y eficiencia energética del Centro de Investigaciçõn Cálculos Numéricos (BeeGroup CIMNE). Juntamente con el Instituto Teconológico de Lleida (ITL) y el Grupo de Energía solar de la Universidad de Lleida.** Responsable técnico: Jordi Cipriano.

**Felip Solsona, arquitecto técnico.**

**BOMA-SALA** consultores de estructuras. Responsable técnico: Miguel Angel Sala

**EINESA, ingeniería.** Técnico responsable: Miquel Gasulla

CLIENTE: Consorci del "Parc Científic i Tecnològic Agroalimentari" (PCiTAL)

CONSTRUCTORA: COMSA

SUPERFICIE: 19.020 M2

COSTE OBRA: 9.426.208,50 euros

## **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.