



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

A mi familia

A mi tutor

A mis compañeros

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto es estudiar la demanda energética máxima de calefacción y refrigeración de la Casa del Alumno de la Universidad Politécnica de Valencia. Además se propondrán posibles medidas pasivas para la reducción de la potencia necesaria.

Inicialmente, se simulará el edificio en el programa de cálculo Design Builder, que usa como motor de cálculo Energy Plus. Se ha escogido por la variedad de opciones que tiene disponibles y por su interfaz, muy intuitiva y de fácil comprensión.

Para la reproducción del edificio en el programa, ha sido necesario aplicar simplificaciones basadas en los conocimientos adquiridos durante estos años y recopilar todos los datos necesarios como son la densidad de ocupación, planos, materiales de los que se compone el edificio, horarios de apertura y actividad de cada una de las salas.

Tras la simulación se procederá a realizar un análisis detallado, tanto para los meses de verano como para los de invierno, de las zonas del edificio con demanda máxima y los posibles motivos.

Partiendo de los cálculos del estado actual de la Casa del Alumno, se proponen distintas medidas pasivas de ahorro energético, exponiendo los motivos y los resultados de las posibles soluciones. Para finalizar se decidirá cuál es la mejora más aconsejable para el caso estudiado.

**Palabras clave:** Soluciones pasivas de ahorro energético, demanda energética máxima, eficiencia energética en edificios.

## RESUM

L'objectiu d'aquest projecte és estudiar la demanda energètica màxima de calefacció i refrigeració de la Casa de l'Alumne de la Universitat Politècnica de València. A més, es proposaran possibles mesures passives per a la reducció de la potència necessària.

Inicialment, se simularà l'edifici al programa de càlcul Design Builder, que empra com a motor de càlcul Energy Plus. S'ha escollit per la varietat d'opcions que té disponibles i per la seua interfície, molt intuïtiva i de fàcil comprensió.

Així, per a la reproducció de l'edifici en el programa, ha sigut necessari aplicar simplificacions basades en els coneixements adquirits durant aquestos anys i recopilar totes les dades necessàries com són la densitat d'ocupació, els plans, els materials de què es compon l'edifici, els horaris d'obertura i l'activitat de totes les sales.

Després de la simulació es procedirà a una anàlisi detallada de les zones de l'edifici amb demanda màxima i els possibles motius per als mesos d'estiu i d'hivern.

Partint dels càlculs de l'estat actual de la Casa de l'Alumne, es proposen distintes mesures passives d'estalvi energètic, exposant-se els motius i els resultats de les solucions possibles. Per a finalitzar es decidirà quina és la millora més aconsellable per al cas estudiat

**Paraules clau:** mesures passives d'estalvi energètic, demanda energètica màxima, eficiència energètica en edificis.

## **ABSTRACT**

The objective of this project is to study the maximum energy demand of heating and refrigeration in Casa del Alumno at Polytechnic University of Valencia. In addition, possible passive measures will be proposed to reduce the power required.

Firstly, the building will be simulated in the calculation software called Design Builder which uses as calculation motor EnergyPlus program. It has been selected for its wide variety of options and its clear user interface.

In order to simulate the building in the program, it was necessary to apply simplifications which are based on knowledge gained during my last years at university. Also it was necessary to gather all the information about la Casa del Alumno, such as occupation density, construction plans and timetables.

After simulation, detailed report was made of the building zones which have higher consumption and the possible reasons for this.

Finally, passive energy savings will be proposed with the reasons why they were chosen and the results applied. At the end of this study, the best option will be selected to optimize the energy saving.

**Key words:** passive energy savings measures, maximum energy demand , energy efficiency in buildings

## DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

- MEMORIA
- PRESUPUESTOANEXOS

## ÍNDICE DE LA MEMORIA

MEMORIA.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Antecedentes .....	7
1.2. Motivación del proyecto .....	8
1.3. Objetivos .....	8
1.4. Normativa.....	9
2. INICIO DEL PROYECTO .....	10
2.1. Definiciones y conceptos previos.....	10
2.2. Información previa sobre el edificio.....	11
2.3. Elección del software .....	13
3. RECOPIACIÓN DE DATOS Y DESARROLLO DEL MODELO .....	13
3.1. Estructura y dimensiones del edificio. ....	13
3.2. Huecos y ventanas.....	14
3.3. Obstáculos que producen sombras en el edificio .....	16
3.4. Estructura final de la casa del alumno .....	18
3.5. Ocupación, iluminación y equipos .....	19
3.6. Estructura de los cerramientos y huecos .....	25
3.7. Puentes térmicos en la envolvente (imagen infrarroja) .....	30
4. SIMULACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA MÁXIMA DEL EDIFICIO .....	32
4.1. Refrigeración. ....	32
4.2. Calefacción .....	37
5. ANÁLISIS DE SOLUCIONES PASIVAS.....	40
5.1. Efecto de los voladizos ya instalados .....	40
5.2. Actuación sobre la envolvente .....	43
5.3. Actuación sobre las cristaleras.....	44
5.4. Agrupación de las medidas, mejor solución.....	46
6. BIBLIOGRAFÍA.....	52

## ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

PRESUPUESTO .....	53
-------------------	----

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS .....	54
ANEXO 1. ZONIFICACIÓN DEL EDIFICIO.....	54
1.1. Planta baja.....	54
1.1. Primera planta.....	54
1.2. Segunda planta.....	55
1.3. Tercera planta .....	55
ANEXO 2. HORARIOS DE OCUPACIÓN, ILUMINACIÓN Y EQUIPOS.....	56
2.1. Casa del Alumno _ Ocupación.....	56
2.2. Casa del Alumno _ Ocupación _ Oficinas .....	57
2.3. Casa del Alumno _ Iluminación .....	58
2.4. Casa del Alumno _ Iluminación _ Oficinas .....	59

## MEMORIA

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1. Antecedentes

Desde el inicio de la revolución industrial, la demanda de energía no ha dejado de aumentar y, desde el primer momento, la forma de satisfacerla se encaminó hacia los combustibles fósiles y otras formas de producción de energía muy contaminantes pero al mismo tiempo las más económicas.

Con el paso del tiempo, el consumo de energía ha ido aumentando de forma exponencial a medida que lo hacía el nivel de vida sin que se tomara ninguna medida de ahorro ni de mejora de la eficiencia de los sistemas, hasta el momento en el que ya no fue posible ignorar los efectos causados al medio ambiente por este comportamiento.

Las reservas de combustibles fósiles se están agotando, con la consiguiente subida del precio que esto provoca, el aire en las ciudades cada vez está más contaminado y las grandes concentraciones de CO<sub>2</sub> producido son las causantes del efecto invernadero.

Para frenar esta situación de aumento excesivo del consumo han comenzado a tomar mucha importancia las energías renovables y el concepto de eficiencia energética. Aumentando la eficiencia energética y concienciando a la población de la situación, es posible una reducción de la potencia demandada muy importante.

Para ello se han llevado a cabo diferentes planes de ahorro energético a nivel nacional, europeo y mundial. También han entrado en vigor documentos como el Reglamento de Instalaciones Térmicas de la Edificación, el Código Técnico de la Edificación o los publicados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, cuya finalidad es marcar las pautas para una construcción más comprometida con el medio ambiente

El sector de la edificación es clave para reducir el gasto energético del país. Representa alrededor del 40% del consumo de energía y se estima que el ahorro potencial de energía en los edificios está entorno al 20%.

La eficiencia energética en los edificios es uno de los puntos clave en todos objetivos de reducción de la demanda. La última medida tomada por el Ministerio de Energía tiene como objetivo concienciar a los ciudadanos de la situación en la que se encuentran sus hogares y sobre la importancia de reducir el consumo. Consiste en una certificación que clasifica los edificios en 5 grupos en función de su eficiencia y propone las medidas que serían necesarias para mejorarla.

## **1.2. Motivación del proyecto**

La eficiencia y el ahorro energético permiten obtener grandes beneficios económicos, reducir la pobreza energética y mejorar la salud del medio ambiente. Es el camino a seguir para poder afrontar con garantías los problemas del cambio climático. Constituyen un elemento complementario al desarrollo de las energías renovables o que generen un nivel de contaminación menor.

El aumento de la eficiencia energética de un edificio conlleva una disminución de la demanda de calefacción y refrigeración manteniendo el nivel de confort, lo que se traduce en un ahorro económico mensual, además de la reducción del CO<sub>2</sub> expulsado a la atmósfera y de los daños al medio ambiente.

Por tanto, la motivación de este proyecto es conseguir un edificio más sostenible proponiendo medidas pasivas de ahorro energético de fácil aplicación que permitan un ahorro de hasta un 30 % en el consumo máximo de calefacción y refrigeración.

## **1.3. Objetivos**

El objetivo de este proyecto es calcular la demanda térmica de la Casa del Alumno, tanto en verano como invierno, y evaluar las posibles medidas para reducir el consumo energético. Para alcanzar dicho objetivo se desarrollarán los siguientes puntos:

- Calcular las cargas máximas del edificio mediante la simulación en Design Builder.
- Estudiar los resultados y proponer medidas de mejora.
- Evaluar el beneficio que tienen estas medidas comparándolas con el caso base (situación real del edificio).
- Tras el análisis, decidir qué medida es más conveniente implantar en la Casa del Alumno.

#### **1.4. Normativa**

El CTE (Código Técnico de la Edificación, 2013), es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de habitabilidad y seguridad, y la calidad de sus instalaciones.

Este documento entró en vigor el 17 de marzo de 2016 y es de obligado cumplimiento para todos los edificios construidos 6 meses después de esta fecha. Por tanto, la Casa del Alumno no está obligada a acatar las condiciones impuestas por el CTE. Aun así, se hará uso de este documento a la hora de consultar características constructivas del edificio necesarias para el desarrollo del proyecto.

El Código Técnico de la edificación se compone de documentos básicos de obligado cumplimiento (DB) y documentos técnicos reconocidos por el CTE. Los documentos DB-HE hacen referencia al ahorro de energía, establecen las limitaciones de demanda y consumo energético, y la eficiencia mínima de las instalaciones térmicas y lumínicas. El desarrollo de los requisitos mínimos que deben satisfacer las instalaciones térmicas se remite al Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (Ministerio de Energía, Industria y Comercio, 2013).

Las medidas de ahorro energético que se tomarán durante la resolución del proyecto se basan en los documentos publicados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE, organismo adscrito al Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, a través de la Secretaría de Estado de Energía (IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2012).

Para determinar valores regulados que no están en el CTE, como son las fracciones radiantes y las infiltraciones, se hará uso de los documento regulados por ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013).

## 2. INICIO DEL PROYECTO

### 2.1. Definiciones y conceptos previos

Este proyecto se basa, principalmente, en el **cálculo de las cargas térmicas** en un edificio. Es decir, el cálculo de la potencia necesaria para lograr unas condiciones de confort determinadas. Las cargas térmicas se pueden clasificar según su procedencia:

- Carga térmica transmitida a través de los cerramientos del edificio.
- Carga térmica de radiación solar a través de las superficies acristaladas.
- Carga térmica de ventilación.
- Carga térmica de infiltración.
- Carga térmica interna por ocupación, iluminación o funcionamiento de equipos.

**La carga máxima de calefacción** es la máxima potencia térmica perdida por el aire de una zona un año. Dicha carga máxima dependerá del horario de ocupación, y para su cálculo se considera que no existe radiación solar y que el espacio se encuentra con la mínima ocupación.

**La carga máxima de refrigeración** es la máxima potencia térmica transmitida al aire de una zona en un año.

Una vez determinada la potencia máxima demandada, se procederá al estudio de posibles **medidas pasivas de ahorro energético** que consisten en modificar un edificio ya construido con el fin de reducir el coeficiente global de transferencia de calor en cerramientos opacos y acristalamientos.

La **envolvente térmica** está constituida por los cerramientos exteriores opacos y su mejora consiste en añadir un aislante térmico ya sea por el interior, por el exterior o en la parte intermedia, entre las dos caras del muro.

La mejora de la **eficiencia energética en las superficies acristaladas** consiste en la implantación de medidas que, por una parte, eviten la ganancia térmica en verano y, por otro lado, permitan la entrada de radiación solar en invierno ya que puede ser beneficioso conseguir un calentamiento pasivo en esta época.

El valor de la carga térmica se toma como referencia para el dimensionamiento de las instalaciones de calefacción y refrigeración. En dichas instalaciones no se toma el valor máximo y mínimo si no **percentiles** marcados por la norma UNE con el fin de evitar que queden sobredimensionadas por un pico puntual que produciría un aumento excesivo del coste que no se reflejaría en la mejora conseguida. Para la simulación del edificio en Design Builder se hará uso de estos percentiles para el cálculo de la densidad de ocupación.

En el documento DBHE se hace referencia al **lux** para determinar la potencia lumínica. Esta medida representa la iluminación que recibe una superficie de un metro cuadrado al incidir

sobre ella un lumen. Es una medida derivada del Sistema Internacional de unidades que mide la iluminancia, nivel de iluminación.

Para el estudio de cargas térmicas también es necesario conocer el comportamiento de los materiales que componen el edificio y la evolución de la trayectoria aparente del sol a lo largo del año. Esto último determina el ángulo de incidencia de la radiación solar, algo esencial a la hora de proponer las medidas para el ahorro energético.

## 2.2. Información previa sobre el edificio

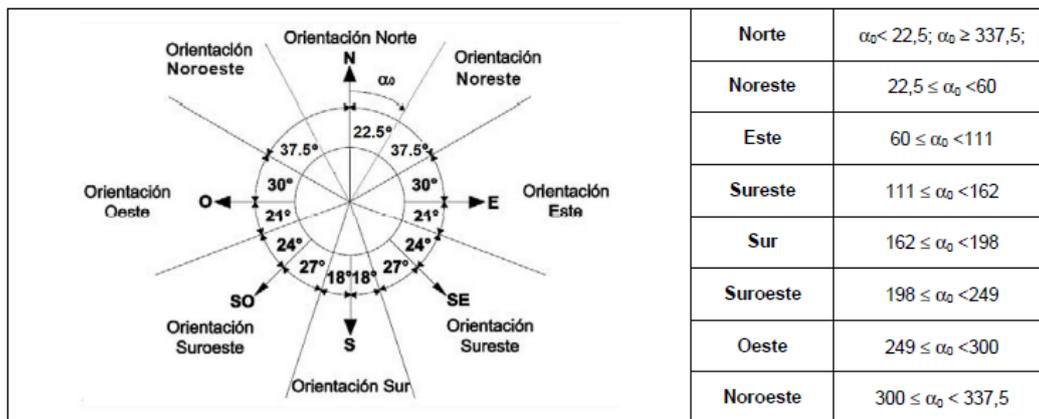
La casa del alumno está situada en la Universitat Politècnica de València. El edificio ocupa una parcela cuadrangular de 1082 m<sup>2</sup>, de dimensiones 33,16 m X 32,65 m (ilustración 2). La mayor parte de las fachadas norte y sur son superficies acristaladas, por lo que habrá que tener muy en cuenta la radiación solar (ilustración 4).

La fachada oeste tiene una superficie acristalada menor pero habrá que prestarle una atención especial ya que en verano es la que más ganancia solar recibe debido a la trayectoria del sol (ilustración 5).

El edificio tiene espacios destinados a diferentes actividades: salas de trabajo en grupo, de ordenadores, estudio intensivo, oficinas y salas de reuniones.

Para empezar el proyecto, lo primero que se necesita son los planos de edificio, conocer los materiales de sus cerramientos y la orientación de cada una de las fachadas.

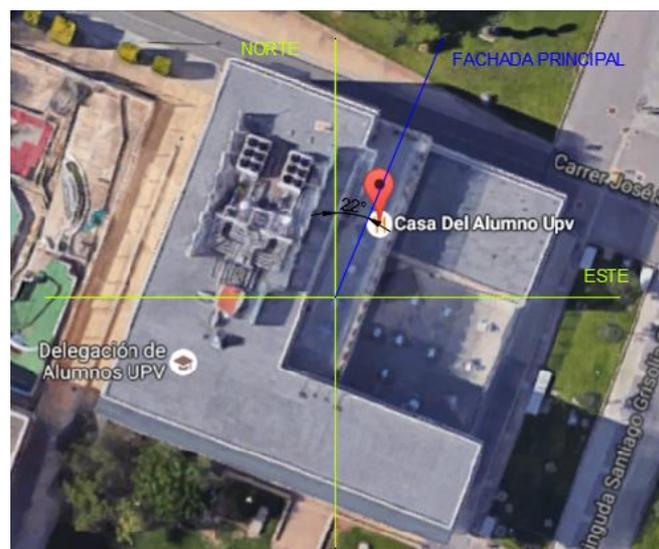
La orientación de las fachadas se ha determinado mediante la *“figura A1. Orientaciones de las fachadas”* del Documento Básico HE 1, apéndice A, donde se cita: *“Fachada: cerramiento en contacto con el aire exterior cuya inclinación es superior a 60º respecto a la horizontal. La orientación de una fachada se caracteriza mediante el ángulo  $\alpha$  que es el formado por el norte geográfico y la normal exterior de la fachada, medido en sentido horario. Se distinguen 8 orientaciones según los sectores angulares contenidos en la figura A.1.”* (IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2012).



**Ilustración 1. Orientaciones de las fachadas.** (IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2012)

El ángulo que forman el eje de coordenadas norte y la dirección de la fachada principal es de 22º, por lo que, según el CTE-DB HE 1, la fachada principal está orientada al norte.

La fachada trasera se orienta al sur y las laterales al este y oeste.



**Ilustración 2. Orientaciones de las fachadas. Casa del Alumno**

### **2.3. Elección del software**

Para el cálculo de las cargas térmicas se ha optado por hacer uso de un programa especializado ya que, realizar esta tarea sin ayuda de un software no es factible debido a la gran cantidad de variables a considerar.

Existe una gran variedad de programas para realizar un estudio de cargas como CYPEcar MEP (Ministerio de Educación Pública (MEP), 2016), VpClima (Departamento termodinámica Aplicada. UPV, 2014) y el EnergyPlus (EnergyPlus, 2016). Finalmente, se ha utilizado Design Builder ( Design Builder software , 2015) por su facilidad de aprendizaje y su capacidad para mostrar los resultados de forma clara y detallada.

Design Builder es una herramienta de simulación energética muy potente. Utiliza el EnergyPlus como motor de cálculo, programa reconocido a nivel mundial pero con una gran complejidad en el lenguaje usado.

EnergyPlus es un programa de uso libre y por este motivo no se ha desarrollado su interfaz para facilitar la comprensión de los usuarios, haciéndolo más intuitivo. Esto ha sido llevado a cabo en diferentes programas de pago, uno de ellos es Desig Builder.

Design Builder es un software mucho más completo y, teniendo en cuenta que este proyecto tiene como objetivo un análisis detallado de la demanda, representa una mejor opción. Aun así tiene limitaciones que se irán comentando a lo largo de la memoria, el proceso de construcción y la simulación.

## **3. RECOPIACIÓN DE DATOS Y DESARROLLO DEL MODELO**

### **3.1. Estructura y dimensiones del edificio.**

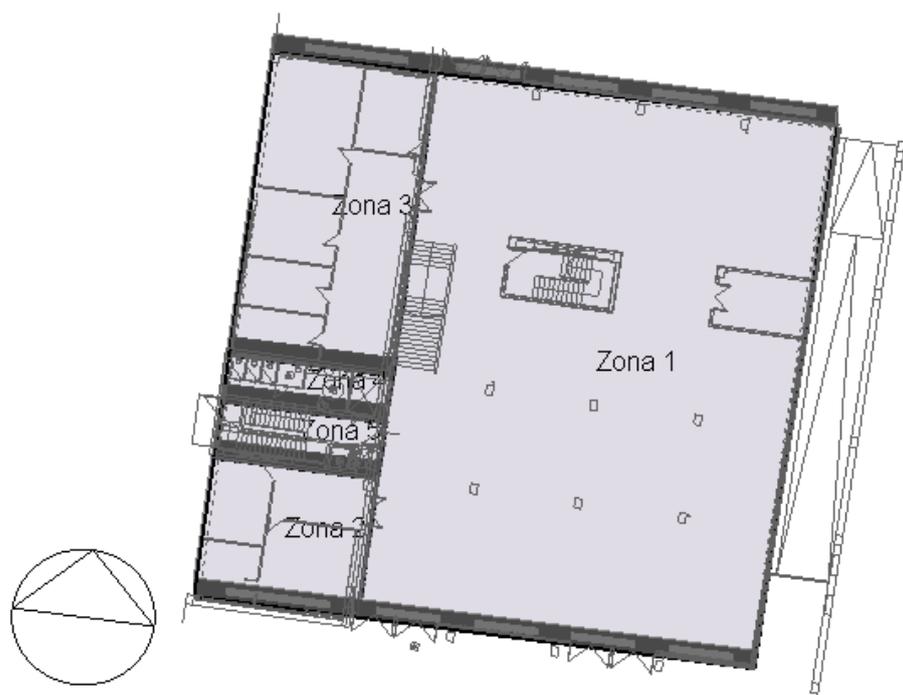
Una vez obtenida la información previa del edificio y elegido el software, el siguiente paso es hacerse con los planos del edificio donde se especifiquen las dimensiones de cada una de las zonas de las que se compone la casa del alumno, así como de los materiales de los que está compuesto el edificio y, a ser posible, los planos de la iluminación instalada (número de luminarias y potencia de estas).

La recopilación de los planos mencionados ha sido posible gracias a la colaboración del Servicio de infraestructuras de la Universitat Politècnica de València.

El programa Design Builder utiliza un método de dibujo muy similar al de AutoCAD. Es posible importar los planos .dxf del edificio y usar sus vértices como referencia: se dibuja en plano XY y se marca la altura deseada que en el caso de la Casa del Alumno es de 3,5 m por planta.

El programa tiene dos tipos de bloques: bloque componente, figuras sólidas en 3D muy útiles para dibujar las sombras producidas por construcciones cercanas o salientes; y bloque edificio, los que se usarán para crear el edificio a estudiar.

Cada bloque edificio representa una planta, por lo que la Casa del Alumno se compone de 4 bloques. En ellos existen diferentes zonas que se crean con la opción “particiones” y cada una de ellas tendrá sus propias características, iluminación y ocupación.



**Ilustración 3. Proceso de construcción del edificio – Planta 1 ( *Design Builder software* , 2015)**

### **3.2. Huecos y ventanas.**

La mayor parte de las fachadas norte y sur están constituidas por cristaleras que ocupan toda la altura de la planta. La fachada oeste, en cambio, sólo cuenta con unos ventanales centrales. Buena parte de la fachada este también se compone de hormigón.



**Ilustración 4. Fotografía de la cara norte (derecha) y sur (izquierda) del edificio**



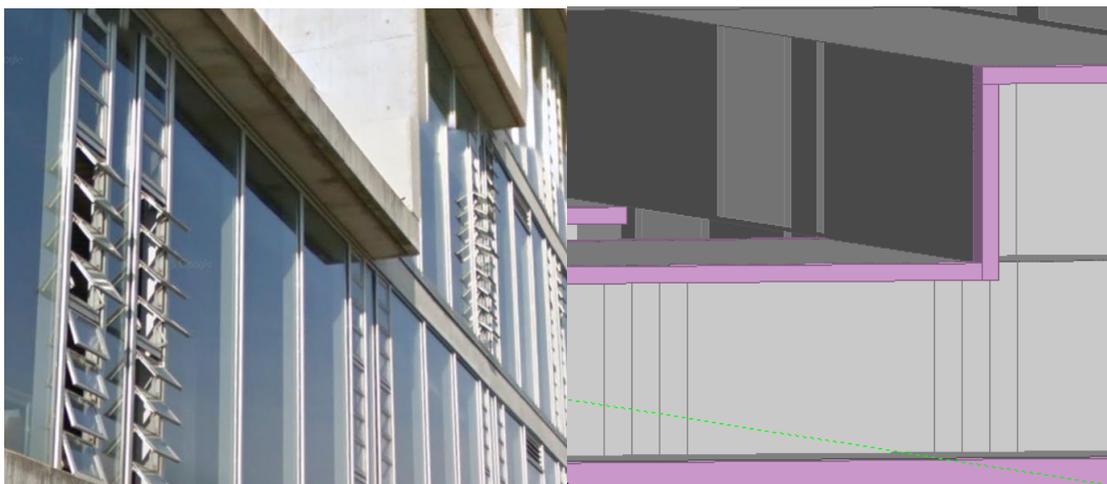
**Ilustración 5. Fotografía de la cara este (derecha) y oeste (izquierda) del edificio**

Para dibujar las puertas y ventanas se selecciona el muro en el que están situadas y, conociendo las dimensiones, se dibujan sin mucha dificultad. Para una mayor precisión a la hora de situar la ventana o puerta, lo más eficaz es hacer uso de líneas auxiliares.

En la base de datos de Design Builder no existen las puertas de doble acristalamiento por lo que se han tratado como parte de los ventanales que tienen las mismas características.

Como se observa en las imágenes anteriores (figuras 4 y 5), en todas las plantas existen una serie de cristalerías que pueden abrirse un cierto ángulo. Para el estudio en Design Builder se han tratado como ventanas fijas ya que lo único que afecta su apertura es en el cálculo de las infiltraciones de aire y este dato viene dado por Design Builder siguiendo el valor regulado por *ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013*.

Otra solución sería tratar estas ventanas móviles como rejillas pero, en este caso, serían opacas a la radiación solar, lo que puede distorsionar ligeramente este valor.



*Ilustración 6. Resolución de las ventanas abatibles acristaladas ( Design Builder software , 2015)*

### **3.3. Obstáculos que producen sombras en el edificio**

De los edificios que rodean la casa del alumno, sólo hay uno lo suficientemente cerca como para producir sombras. Ocupa un área muy similar a la del edificio estudiado pero con una planta menos, por lo que su altura será de 10,5 m (3,5 m por planta).



*Ilustración 7. Estructuras que rodean la casa del alumno*

Por otro lado, en las caras norte y sur se han construido repisas de 0,5 m encima de cada cristalera. Una medida que, a primera vista, parece muy eficaz ya que en las horas de más radiación solar, cuando el sol está en el punto más alto, estas producirían sombras en la mayor parte de las cristaleras. Debido a la importancia de estas repisas, se estudiará su efecto en apartados posteriores.

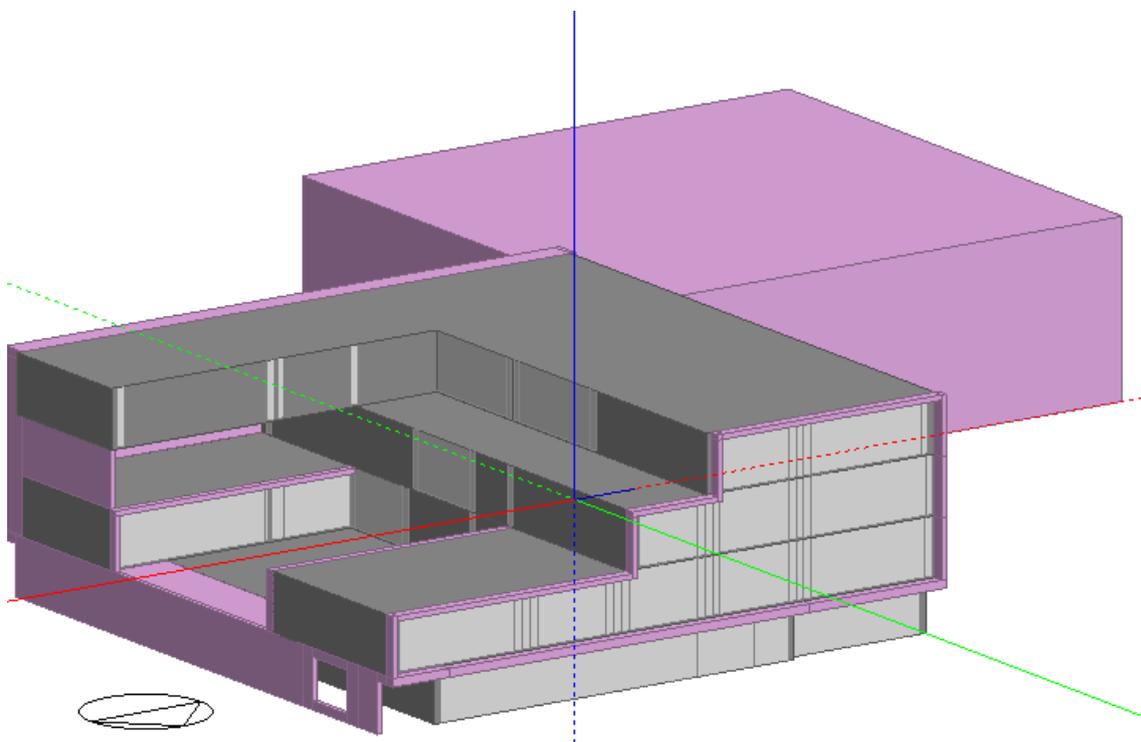
La terraza construida en la cara este del edificio está diseñada de tal forma que la mayor parte del tiempo se encuentra sombreada por alguno de sus laterales, lo que también constituye una forma muy eficaz de reducir la radiación solar en los meses de verano.

La Casa de Alumno también cuenta con cortinas móviles que, para el cálculo en Design Builder, se considerará que están bajadas durante todo el verano y subidas durante todo el invierno. Dado que sólo nos interesan las cargas máximas de refrigeración y calefacción, es una simplificación aceptable.

Además, las cortinas móviles en invierno no tienen ningún efecto sobre la carga máxima de calefacción. Design Builder toma como nula la ganancia solar durante esta mitad del año.

### 3.4. Estructura final de la casa del alumno

Con todo esto, la estructura final del edificio quedaría de la siguiente forma:



**Ilustración 8. Estructura final exterior de la casa del alumno modelada ( Design Builder software , 2015)**

Los bloque morados son los bloques componente que se utiliza para representar lo elementos y construcciones que pueden producir sombras en el edificio.

Las zonas más claras representan los ventanales acristalados, donde se incluyen también las puertas y las ventanas abatibles.

La superficie gris es la estructura base de la casa del alumno y se divide en 4 bloques, uno por planta, que a su vez se dividen en zonas con diferente actividad.

### 3.5. Ocupación, iluminación y equipos

La Casa del Alumno se compone de 7 tipos de zonas en función de la actividad que allí se lleva a cabo:

- Ascensor (En todas las plantas)
- WC (En todas las plantas)
- Central (zona para comer, trabajo en grupo y descanso de la planta baja)
- Oficinas (Todas las zonas en las que haya despachos)
- Estudio (salas en la plantas 1 y 2 de estudio intensivo)
- Pasillo ( en las plantas 1, 2 y 3)
- Ordenadores (salas en las plantas 1 y 2 específicas para trabajar con el ordenador)
- Reuniones (salones de actos de diferente tamaño)

La distribución de particiones (zonas) de cada una de las plantas está en el Anexo 1 “Zonificación del edificio”.

A cada una de las zonas se les asigna una plantilla en Design Builder con un resumen de la actividad similar a la que allí se realiza. Esto nos proporciona unos valores de base estándar tomados de *ASHRAE handbook - fundamentals* (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013).

#### Ocupación

La ocupación existente en un edificio es una variable de gran importancia a la hora de calcular las cargas internas generadas: cuanto menor sea el número de personas presentes en una sala, mayor será la necesidad de calefacción en invierno y menor la de refrigeración en verano.

Los datos necesarios para determinar la ocupación son la densidad de personas, horarios y actividad metabólica

El cuerpo emite una cantidad de calor que cambia de valor en función de la actividad que se esté realizando. Estos valores quedan normalizados mediante las Tasas Metabólicas recogidas en la tabla 5 del capítulo 8 del *ASHRAE Handbook of Fundamentals* (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013). Design Builder lleva introducidos estos valores en sus plantillas de ocupación.

Para definir los horarios y la densidad se han utilizado los datos recopilados por el personal de seguridad y proporcionados por el servicio de infraestructuras de la Universitat Politècnica de València. En ellos está reflejado el número aproximado de personas presentes en el edificio hora a hora durante todo el año 2015.

Para analizar los datos se han dividido en dos grupos: los meses de verano, que van desde el 1 de abril al 30 de septiembre, y los meses de invierno, del 1 de octubre al 31 de marzo.

A la hora de diseñar la potencia máxima de refrigeración y de calefacción, no se tomarán los valores pico. Las instalaciones se diseñan para los días tipo y no para los días excepcionales ya

que, en el caso de que así se hiciera, la instalación quedaría sobre dimensionada, lo que daría lugar a un mayor coste que no resultaría rentable al compararlo con la mejora obtenida.

Por ejemplo, el valor de la carga pico para los meses de verano sería la que se obtendría si tomáramos la hora de máxima ocupación en verano, y además esta situación coincidiera con la máxima temperatura ambiente posible junto con la máxima radiación solar. Esto es una situación claramente improbable y el equipo estaría sobredimensionado. Es por ello que se propone el uso de percentiles para filtrar dichos valores excepcionales e improbables siguiendo el procedimiento comúnmente aceptado en la selección de la temperatura de diseño (IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2012).

En los meses de verano se estudia la carga máxima de refrigeración, que se dará a la hora de mayor ocupación y radiación solar incidente. Para determinar el horario de ocupación de verano se ha tomado el valor del percentil 95 para cada hora del día. Es decir, para cualquier hora del día "X", se ha tomado un valor de ocupación "Y" de tal forma que el 95% de las medidas tomadas a dicha hora "X" estén por debajo del valor de ocupación "Y".

En los meses de invierno se estudia la carga máxima de calefacción, que se dará en la hora de menor ocupación. En el caso de los meses de invierno, al contrario que en verano, no influye la radiación solar ya que el programa la considera nula para este cálculo. Dado que se está estudiando la potencia máxima, no influye el hecho de que no se tenga en cuenta la ganancia solar, se entiende que en el día de mayor potencia de calefacción los aportes de calor serán mínimos.

Para la ocupación de invierno se toma un percentil de 3 para cada hora del día, lo que significa que el 3% de todas las medidas de una misma hora estarán por debajo del valor de ocupación utilizado

Se ha elegido un horario compacto para introducir el horario de ocupación en Design Builder, por lo que se divide cada uno de los valores finales entre el máximo número de personas que se registró durante el 2015.

Como sólo se tienen valores de todo el edificio y no por salas, se considerará que la fracción de ocupación es constante en todas ellas, lo que varía de una a otra es la densidad máxima de ocupación y la actividad que se realiza.

La densidad de ocupación se obtiene dividiendo el máximo de personas que podrían estar en la misma sala por el área de esta.

$$Densidad\ de\ personas_{sala} = \frac{N^{\circ}\ máximo\ de\ personas_{sala}}{Area\ de\ la\ sala} \quad (1)$$

Tanto para el horario de verano como para el de invierno, se ha desarrollado una hoja de cálculo en el software Ms Excel, en el que cada fila contiene los 24 valores correspondientes a las 24 veces que se cuenta la ocupación del edificio a lo largo del día, una por hora. Por tanto, cada columna recoge todos los valores medidos de la misma hora del día de los meses de verano o de invierno.

**Tabla 1. Estructura de la tabla de valores de ocupación**

DÍA	HORAS/VALORES						
	1	2	3	4	5	...	24
día 1	V 1-1	V 1-2	V 1-3	V 1-4	V 1-5	...	V 1-24
día 2	V 2-1	V 2-2	V 2-3	V 2-4	V 2-5	...	V 2-24
:							

Por último, se obtiene el percentil de cada columna aplicando la fórmula de Excel en las dos tablas (verano e invierno)

$$\text{PERCENTIL.EXC (MATRIZ, K)} \quad (2)$$

- **MATRIZ.** Rango de datos que define la posición relativa (para el cálculo que nos ocupa, el rango será cada una de las columnas).
- **K.** Es el valor de percentil en el rango de 0 a 1 (0,95 para la tabla de los meses de verano y 0,03 para los meses de invierno).

A la hora de calcular el percentil es necesario excluir los valores iguales a cero de la operación, si no el valor se ve fuertemente modificado tanto en verano como en invierno, el resultado del percentil resultaría inferior al real. Como ejemplo: si se trabaja con 100 valores de ocupación para una misma hora y de esos valores 10 son cero porque el edificio estaba cerrado, al tomar el percentil 3 para invierno el resultado sería cero ya que excluye solamente el 3% de mediciones más bajas ( en el caso de este ejemplo serían 3). Definir la ocupación mínima en invierno como nula no sería correcto ya que esta situación sólo se da en los días en los que el edificio está cerrado y, por tanto, no se hace uso de la calefacción.

Con todo esto, los horarios estándar de ocupación en verano y en invierno quedan de la siguiente manera:

**Tabla 2. Valores de ocupación en verano (percentil 95) e invierno (percentil 3).**

HORA	OCUPACIÓN		COMPACTO	
	VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO
1	160	6	0,61	0,02
2	136	4	0,52	0,02
3	98	3	0,37	0,01
4	58	2	0,22	0,01
5	0	0	0,00	0,00
6	0	0	0,00	0,00
7	0	0	0,00	0,00
8	12	1	0,05	0,00
9	36	3	0,14	0,01
10	88	10	0,33	0,04
11	156	24	0,59	0,09
12	202	41	0,77	0,16
13	243	48	0,92	0,18
14	247	46	0,94	0,18
15	252	41	0,96	0,16
16	235	25	0,89	0,10
17	249	49	0,95	0,18
18	264	60	1,00	0,23
19	264	51	1,00	0,19
20	254	39	0,97	0,15
21	228	25	0,87	0,09
22	162	12	0,62	0,05
23	174	4	0,66	0,02
24	170	7	0,65	0,03

El horario compacto se obtiene dividiendo cada uno de los valores por el número máximo de personas, 264.

Finalmente, para adaptarlo a cada una de las zonas, se han de definidos dos horarios de ocupación:

- **00 Casa del Alumno \_ Ocupación.** Horario general coincidente con el de la imagen anterior.
- **00 Casa del Alumno\_ Ocupación \_ Oficinas.** Horario reducido, ya que el horario de los trabajadores es de 8:00 h a 20:00 h. Todos los valores fuera de este rango serán cero.

Los horarios de ocupación en formato compacto, tal y como se introducen en Design Builder, están en el Anexo 2. “Horarios de ocupación, iluminación y equipos”.

En base a la experiencia, se ha estimado el número máximo de personas que puede haber en cada una de las zonas. Con este dato y midiendo el área de cada una, se calcula la densidad máxima mediante la fórmula (1).

**Tabla 3. Densidad máxima de personas por zona**

ZONA	ÁREA (m2)	Nº MAX DE PERS	DENSIDAD MAX
Ascensor	43	4	<b>0,093</b>
WC	23,35	6	<b>0,25</b>
Central	759	160	<b>0,21</b>
Estudio	236,5	60	<b>0,25</b>
Oficinas	751	40	<b>0,05</b>
Pasillo	147	10	<b>0,07</b>
Ordenadores	188	35	<b>0,18</b>
Reuniones	80	20	<b>0,25</b>

Para las zonas que están presentes en varias plantas con igual área (ascensor, WC, pasillo, ordenadores, estudio y reuniones) se ha calculado tomando valores únicamente de una de ellas.

La zona de oficinas está en diferentes habitaciones con diferente área. Para calcular su valor se ha hecho la media entre todas ellas.

Las salas de reuniones solamente están abiertas en ocasiones puntuales. A pesar de esto se les ha aplicado el mismo horario que al resto de la casa del alumno ya que, para la carga máxima de refrigeración hay que tomarla como ocupada y en la de refrigeración se toman valores de ocupación mínimos por lo que realmente no distorsionará la simulación.

### **Iluminación**

Para cada zona se ha escogido una plantilla de Design Builder con una descripción de la actividad similar a esta. Cada plantilla tiene unos valores mínimos de lux predeterminados en función del uso final de la zona que se basan en las especificaciones de *ASHRAE Handbook of Fundamentals*.

Como no se conocen los valores reales de potencia de cada tipo de luminaria, se tomará el valor típico que proporciona el programa.

En el caso de tener las potencias de las luminarias, podría calcularse el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI, siguiendo el proceso descrito en el *Documento Básico HE Ahorro de Energía (DBHE)*.

$$VEEI = \frac{P*100}{S* E_m} \quad (3)$$

Comparándolo con los límites de VEEI marcados en el mismo documento, se puede saber la eficiencia energética de la instalación.

Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
administrativo en general	3,0
andenes de estaciones de transporte	3,0
pabellones de exposición o ferias	3,0
salas de diagnóstico (1)	3,5
aulas y laboratorios (2)	3,5
habitaciones de hospital (3)	4,0
recintos interiores no descritos en este listado	4,0
zonas comunes (4)	4,0
almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	4,0
aparcamientos	4,0
espacios deportivos (5)	4,0
estaciones de transporte (6)	5,0
supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
centros comerciales (excluidas tiendas) (7)	6,0
hostelería y restauración (8)	8,0
religioso en general	8,0
salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias (9)	8,0
tiendas y pequeño comercio	8,0
habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
locales con nivel de iluminación superior a 600lux	2,5

**Ilustración 9. Valores límite de eficiencia energética de la instalación (IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2012)**

Al igual que en los horarios de ocupación, en la zona de oficinas, hay un horario de uso más reducido por lo que se definen dos tipos:

- **00 Casa del Alumno \_ Iluminación.** Horario general en el que, cuando la ocupación no es nula, la iluminación es 1. Cuando si lo es, la iluminación es 0.
- **00 Casa del alumno \_ Iluminación \_ Oficinas.** Horario reducido, ya que el horario de los trabajadores es de 8:00 h a 20:00 h. Todos los valores fuera de este rango serán cero.

Los horarios en formato compacto, tal y como se introducen en Design Builder, están en el Anexo 2. “Horarios de ocupación, iluminación y equipos”

**Equipos**

Los ordenadores y equipos de oficina sólo están en dos zonas (Ordenadores y Oficina).

En el programa, el valor a introducir en la plantilla de la zona, es la densidad de potencia por unidad de superficie. Los datos de potencia y fracción radiante por equipo se encuentran en *ASHRAE handbook - fundamentals, Chapter 18, table 8* (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013).

Se establece una potencia de 77W para los ordenadores y de 98 W para el resto de equipos de oficina.

El cálculo de la ganancia se resuelve mediante la fórmula:

$$Ganancia = \frac{N \cdot P}{S} \quad (4)$$

Hay dos salas de ordenadores que tendrán la misma plantilla. Las salas son iguales, ambas ocupan un área de 188 m<sup>2</sup> y tienen 25 ordenadores. Siendo 77 W el valor medio de potencia de cada uno, el valor de la ganancia a tomar en la plantilla de Ordenadores es de 10,23 W/m<sup>2</sup>.

Para la plantilla Oficina, tanto para los ordenadores como para el resto de equipos, se ha tomado una ganancia media de todas las zonas en las que se aplica:

**Tabla 4. Ganancia térmica de los equipos de la zona de oficinas**

	AREA (m <sup>2</sup> )	Nº DE ORDENADORES	Nº EQ DE OFICINA
OFICINA PLANTA BAJA 1	163	8	2
OFICINA PLANTA BAJA 2	73	4	2
OFICINA PRIMERA PLANTA	76	1	0
OFICINA SEGUNDA PLANTA	175	6	3
OFICINA TERCERA PLANTA 1	175	6	3
OFICINA TERCERA PLANTA 2	306	10	7
<b>TOTAL</b>	<b>968</b>	<b>35</b>	<b>17</b>
<b>DENSIDAD (W/m<sup>2</sup>)</b>		<b>2,78</b>	<b>1,72</b>

La programación del horario de uso de los equipos de la zona **“Ordenadores”** será igual al horario de ocupación general **“00 Casa del Alumno \_ Ocupación”**.

Por otro lado, en la zona **“Oficinas”** se supone que los equipos estarán encendidos durante todo el horario de trabajo (de lunes a viernes de 08:00h a 20:00h). Por tanto, la programación del horario de uso **“00 Casa del Alumno \_ equipos oficina”** se compone de ceros y unos: 1 durante el horario de trabajo y 0 fuera del horario de trabajo y días festivos. Este horario equivale al horario de iluminación **“00 Casa del Alumno \_ Iluminación \_ Oficina”**

### 3.6. Estructura de los cerramientos y huecos

Cualquiera de los cerramientos dibujados pertenece a uno de los grupos de la siguiente imagen, definidos en el *manual de Design Builder*. Una vez elegido el grupo al que pertenece, se definen sus componentes en un nivel inferior del organigrama. Las composiciones de los cerramientos están definidas en los planos proporcionados por el Rectorado.

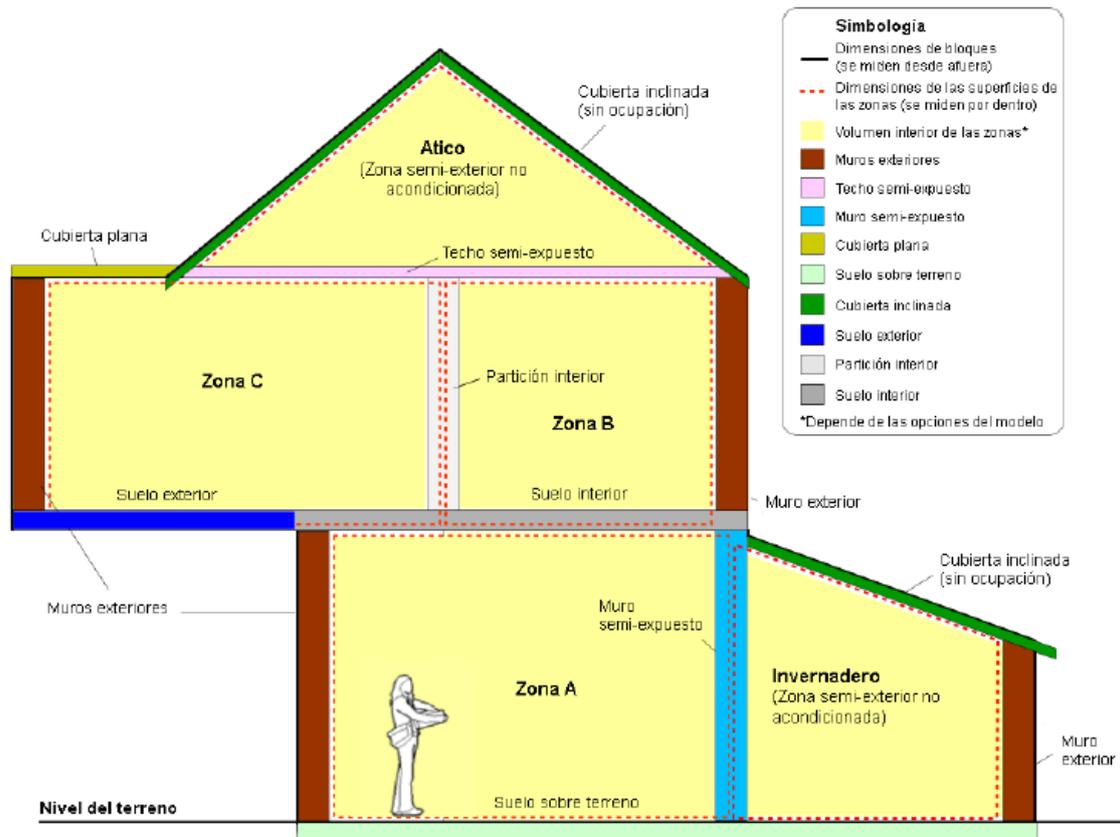


Ilustración 10. Tipos de cerramientos. (Aurea Consulting, 2014)

### **Muros exteriores**

En los planos no se aprecia claramente si los muros exteriores tienen o no aislamiento térmico. Todas las secciones de los planos cortan por la zona del acristalamiento.

Por lo tanto, hay dos opciones: construir el cerramiento suponiendo que sí tiene aislamiento o, construirlos simplemente como un muro de hormigón armado y estudiar el aislamiento como medida pasiva. Se ha optado por la segunda opción por ser la más completa.



Los muros exteriores iniciales se componen de un muro de hormigón armado de 35 cm.

***Ilustración 11. Muros exteriores***

### **Cubierta plana**



El techo exterior de todo el edificio se compone de un forjado reticular de HA en la parte interior, seguido de un hormigón aligerado con arlita, un aislamiento térmico de poliestireno extruido y, en la superficie exterior, una capa de arena compacta.

***Ilustración 12. Cubierta plana***

### Particiones

Las particiones, o muros interiores, son los elementos que dividen en diferentes zonas las 4 plantas en función de su actividad.



Se componen de, una capa intermedia en aislamiento acústico de lana de loca con una capa de cartón yeso y un contraplacado de madera a ambos lados.

**Ilustración 13. Particiones**

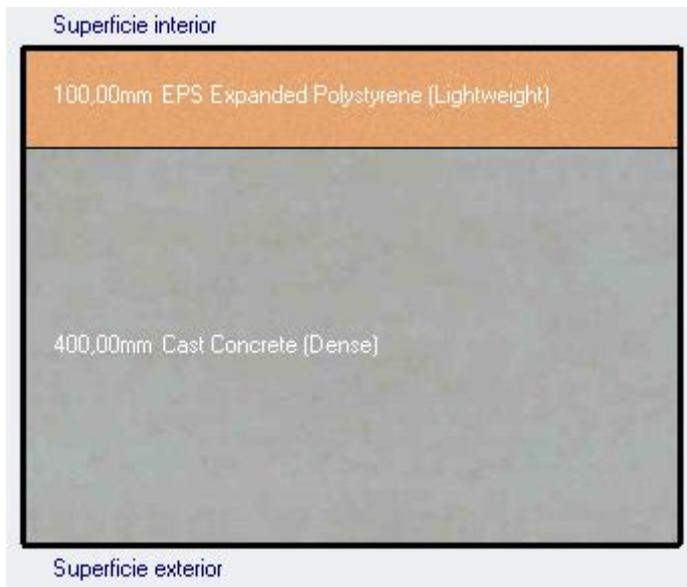
### Suelo sobre el terreno



Los elementos más importantes que componen esta superficie son: una barrera antihumedad con grano mineral, hormigón, pavimento de terrazo fino y el rodapié interior.

**Ilustración 14. Suelo sobre el terreno**

### **Suelos interiores**



Su composición relevante para el cálculo de cargas es la capa de hormigón y la barrera acústica con aislamiento.

***Ilustración 15. Suelos interiores***

### **Superficie acristalada**

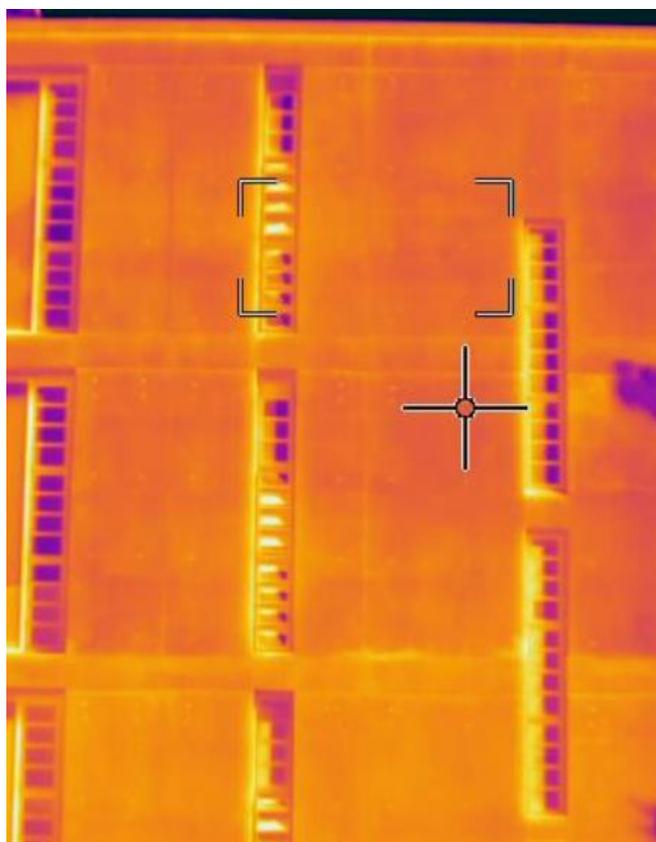
Se trata de un doble acristalamiento muro cortina Stadip y cámara 4+4 - 12 - 4+4. Se ha aproximado a un modelo ya creado en Design Builder de doble cristal y con cámara de aire.

### 3.7. Puentes térmicos en la envolvente (imagen infrarroja)

Con el fin de determinar si existen puentes térmicos en el edificio, se ha hecho un análisis de las fachadas con una cámara termográfica.

Las cámaras termográficas miden la radiación infrarroja que emite un cuerpo, no su temperatura real, ambas coinciden sólo en el caso de que la emisividad del cuerpo sea igual a uno. Por lo tanto, la temperatura que marca la cámara también se ve afectada por la radiación emitida por las caras de los cuerpos que están frente a la superficie estudiada.

Las imágenes fueron tomadas en marzo, por lo que las pérdidas de energía se verán como superficies más calientes presentes en los cerramientos exteriores.



*Ilustración 16. Imagen térmica - fachada oeste*

La imagen termográfica anterior corresponde a la fachada oeste del edificio. En frente de esta no hay ninguna construcción y, además, el día en que se tomó no hacía aire. Por lo tanto la temperatura que marque la imagen será la temperatura real del hormigón promediada con el cielo.

Las medidas que nos proporciona la imagen son las siguientes:

- Tº de la superficie del hormigón = 13 ºC
- Tº del aire = 15 ºC
- Tº del cielo = -50 ºC

La razón de que la temperatura de la superficie sea menor que la del aire es la pérdida de calor por la temperatura del cielo.

Sabiendo que la emisividad del hormigón es cercana a 0,95, se obtiene una temperatura real del hormigón de 16,2 ºC.

Con estos datos se puede hacer una estimación de la transmitancia térmica del edificio. Se supone una temperatura interior de 24 ºC:

- Cálculo de la potencia transmitida por m<sup>2</sup>

$$q\left[\frac{W}{m^2}\right] = \frac{T_{real\ del\ hormigón} - T_{del\ aire}}{Sup\ promedio\ T\ del\ hormigón} \quad (5)$$

La superficie promedio de la temperatura del hormigón es el área de la imagen en la cual se ha determinado la temperatura, Sup = 0,04 m<sup>2</sup>. Sustituyendo los valores se obtiene q = 30 W/m<sup>2</sup>.

- Cálculo de la transmitancia térmica

$$U\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right] = \frac{q}{T_{int} - T_{ext}} \quad (6)$$

El valor de la transmitancia térmica es de 3 W/m<sup>2</sup>\*K, muy elevado para tener aislamiento térmico. Además, aunque sí lo tuviera, presenta puentes térmicos entre las plantas y en la separación de las salas por lo que es necesario mejorar la envolvente térmica de la Casa del Alumno. Esta afirmación se verá respaldada con los valores de la simulación.

## 4. SIMULACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA MÁXIMA DEL EDIFICIO

Una vez introducidos todos los datos y aproximaciones necesarias, se va a proceder a simular el edificio con el fin de obtener la carga máxima, tanto de refrigeración como de calefacción.

Los resultados de la simulación se tomarán como caso base que servirá para proponer medidas de mejora y comprobar su efectividad.

Para el cálculo de la demanda energética se ha tomado la temperatura operativa como tipo de control del confort en el interior del edificio. La temperatura operativa es el promedio entre la temperatura media del aire y la temperatura radiante.

### 4.1. Refrigeración.

Para el cálculo de la demanda máxima de refrigeración se ha creado un día tipo basado en la ocupación con percentil 95 de la carga máxima de cada hora de los meses de verano. Dicho horario se repite durante todos los días de verano. Esto es aceptable dado que el objetivo es determinar sólo la carga máxima (Información más detallada sobre el horario de ocupación en el apartado “2.5.1 Ocupación”).

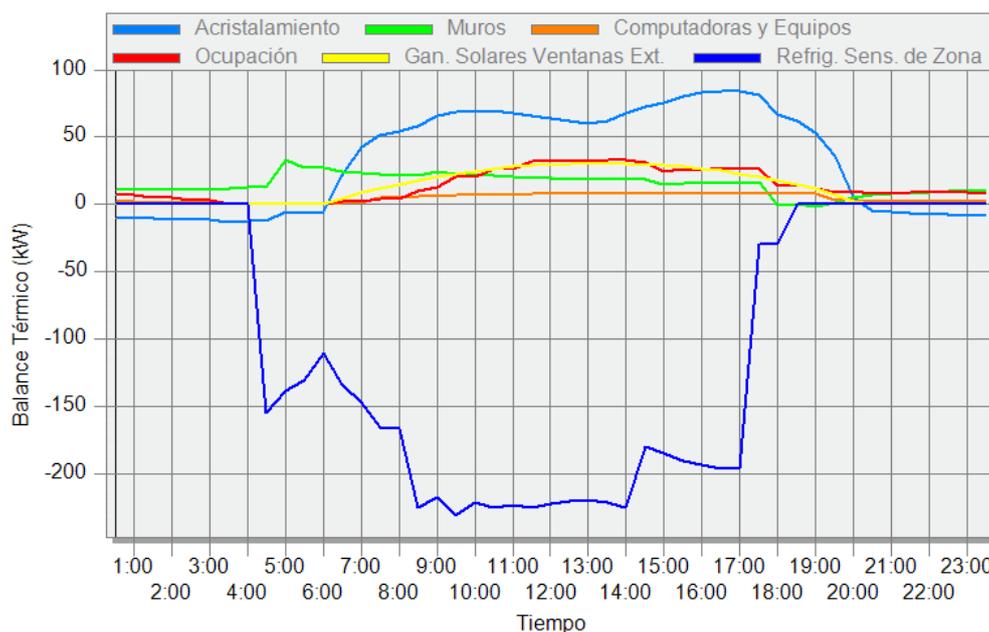
Teniendo un horario con la ocupación máxima, falta saber cuál es el día de mayor ganancia solar.

Design Builder toma como día más caluroso el 15 de julio y establece por defecto un coeficiente de seguridad de 1,25.

A través de la simulación, los valores más representativos son los siguientes:

**Tabla 5. Ganancias máximas para refrigeración – Caso inicial, ( Design Builder software , 2015)**

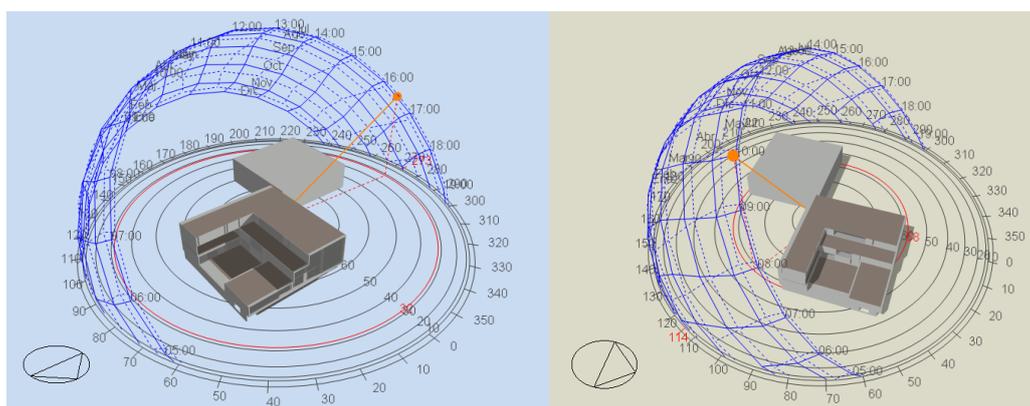
	FECHA DE POT. MÁXIMA (HORA SOLAR)	POTENCIA (KW)
<b>Acristalamiento</b>	15/07/2002 16:30	83,45
<b>Muros</b>	15/07/2002 05:00	32,69
<b>Enfriamiento Sensible</b>	15/07/2002 14:00	-259,00
<b>Enfriamiento Total</b>	15/07/2002 14:00	-291,77
<b>Ocupación</b>	15/07/2002 13:30	32,29
<b>Gan. Solares Ventanas Ext.</b>	15/07/2002 13:00	29,50
<b>Refrig. Sens. de Zona</b>	15/07/2002 09:30	-230,56



**Ilustración 17. Evolución de las ganancias y demanda de refrigeración – Caso inicial ( Design Builder software , 2015)**

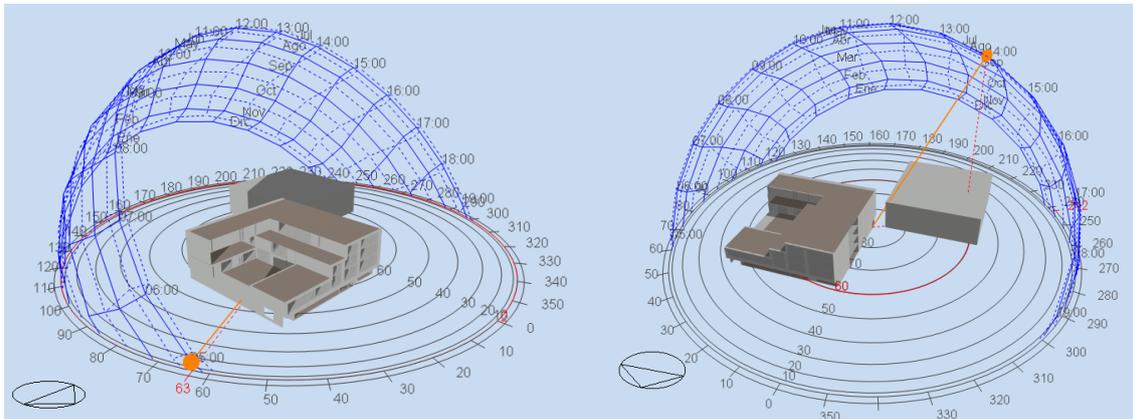
Las superficies acristaladas son la primera causa de la demanda energética de refrigeración, el valor más alto se da a las 16:30 h solares, cuando el sol incide directamente en la cristalería de la cara oeste del edificio. Presenta otro máximo relativo a las 10:00h cuando el sol golpea la fachada sur de forma perpendicular.

En verano, las fachadas más castigadas de un edificio en el hemisferio norte, siempre son el techo y las caras este, sur y oeste debido a la trayectoria seguida por el sol. Por lo tanto, el resultado obtenido coincide con lo esperado.



**Ilustración 18. Sombras en la casa del alumno. Día 15 de julio a las 16:30h solares (izquierda) y a las 10:00h solares (derecha), ( Design Builder software , 2015)**

El siguiente punto de ganancia térmica son los muros ya que se ha supuesto que no tienen ningún tipo de aislamiento térmico. La ganancia máxima se produce a la salida del sol, cuando este incide en la cara este. La ganancia térmica a través de los muros también tiene otro pico importante a las 14:00h solares, cuando el sol comienza a incidir en la fachada oeste.



**Ilustración 19. Sombras en la Casa del Alumno. Día 15 de julio a las 5:00h solares (izquierda) y a las 14:00h solares (derecha), ( Design Builder software , 2015)**

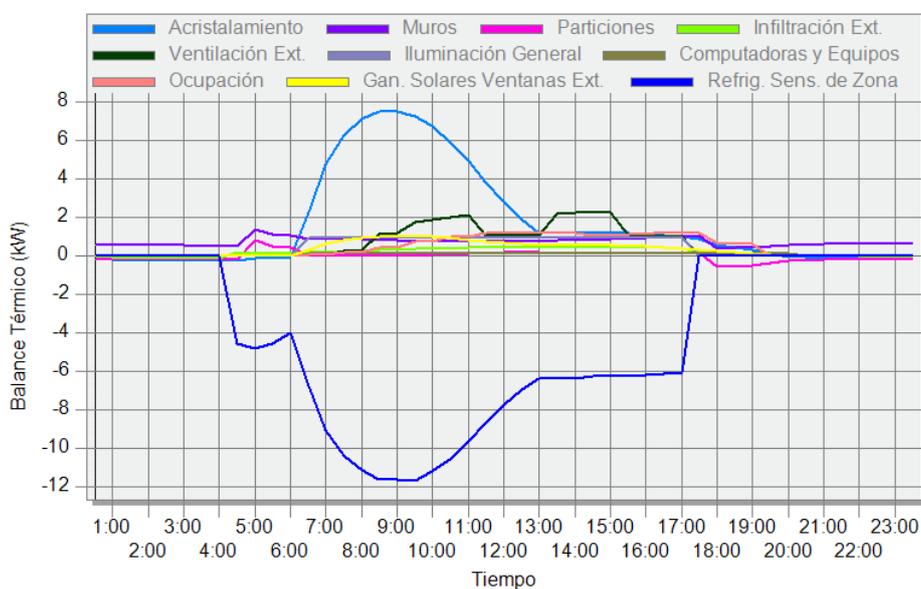
A continuación se muestra en una tabla las necesidades de refrigeración máxima de cada una de las zonas de la casa del alumno.

**Tabla 6. Ganancia máxima de refrigeración por zonas – Caso inicial, ( Design Builder software , 2015)**

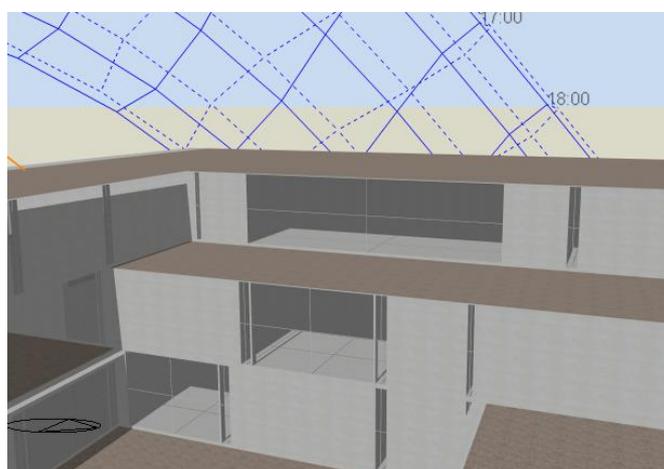
Bloque	Zona	Capacidad de Diseño (kW)	Caudal de Diseño (m <sup>3</sup> /s)	Carga Total de Refrigeración (kW)	Carga Sensible (kW)	Carga Latente (kW)	Carga de Refrigeración de Diseño por Área de Suelo(W/m <sup>2</sup> )
0 Planta baja	Oficinas	6,4	0,5138	5,57	5,13	0,44	106,6
	Central	66,94	4,1174	58,21	39,98	18,22	90,1
	Ascensor	2,71	0,1869	2,35	1,6	0,75	96,3
	WC	1,08	0,0597	0,94	0,76	0,18	76,9
	OficinasZ1	23,01	2,2678	20,01	19,15	0,85	161,8
1 Primera Planta	Ordenadores	27,6	2,6728	24	22,41	1,59	180,9
	Pasillo	17,94	1,4513	15,6	10,91	4,7	93,5
	Estudio	40,09	3,9331	34,86	20,05	14,81	195,8
	WC	1,32	0,0759	1,15	0,95	0,2	95,8
	Reuniones	15,82	1,8094	13,75	12,52	1,23	247,8
	Ascensor	2,75	0,1943	2,39	1,64	0,76	97,9
	Oficina	6,7	0,5447	5,83	5,37	0,45	106,9
	Central	22,13	1,7086	19,24	14,1	5,14	141,5
2 Segunda Planta	Ordenadores	28,42	2,7127	24,71	16,15	8,57	186,1
	Pasillo	10	0,7026	8,7	5,84	2,86	69,6
	Estudio	39,82	2,0941	28,54	20,27	13,27	222,9
	WC	1,34	0,0776	1,17	0,97	0,2	97,8
	Reuniones	16,89	2,0022	14,69	13,45	1,24	264,3
	Ascensor	2,81	0,2021	2,45	1,68	0,77	100,2
	Oficinas	16,45	1,39	14,3	13,2	1,11	107,5
3 Tercera Planta	Ascensor	3,05	0,2305	2,66	1,84	0,82	108,8
	Pasillo	30,1	3,9783	26,17	24,95	1,22	224,9
	WC	1,51	0,0911	1,32	1,11	0,2	110,6
	Oficinas	26,31	2,7994	22,87	21,98	0,89	171,3
	OficinasZ1	31,32	2,8362	27,23	25,25	1,98	114,3
	Totales	412,5	37,6526	358,7	240,26	72,44	134,7

La zona con más demanda térmica por metro cuadrado es la de reuniones. Ambas salas, situadas en la planta primera y segunda, presentan una forma rectangular muy alargada con una de sus caras grandes coincidente con la fachada este del edificio. Además, para el cálculo que nos ocupa, se considera que tienen un nivel de ocupación elevado. Estos dos factores unidos con la trayectoria del sol en verano provocan esta situación.

A partir de la simulación en Design Builder se ve claramente el pico de ganancia solar a través del acristalamiento a las 8:00h, cuando el sol incide sobre la fachada este sin que ningún elemento de sombreado exterior logre reducir la radiación.



**Ilustración 20. Ganancias térmicas en la zona de máxima demanda: zona de reuniones planta3, ( Design Builder software , 2015)**

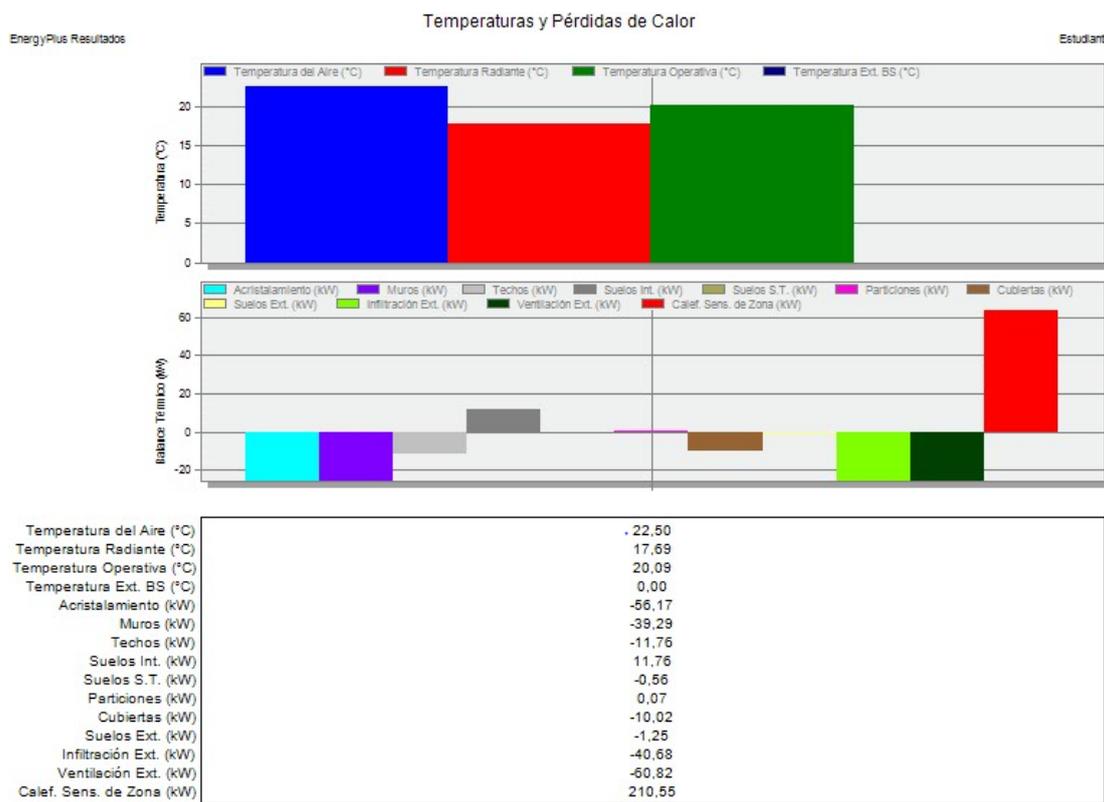


**Ilustración 21. Fachada este del edificio a las 8:30h**

## 4.2. Calefacción

Para el cálculo de la potencia de calefacción, el programa toma como nula la ganancia solar a lo largo de todo el invierno. Esto hace que no afecte el día escogido ya que también se supone un horario diario de ocupación constante.

Las pérdidas de calor están representadas en el siguiente gráfico:



**Ilustración 22. Pérdidas de calor – Caso inicial, ( Design Builder software , 2015)**

Se observa que, tanto las pérdidas por ventilación como por infiltración, representan una cantidad importante de la calefacción necesaria. A pesar de esto, no se puede actuar sobre ninguna de las dos: el caudal mínimo de ventilación viene fijado por el *Reglamento de instalaciones térmicas en edificios. Ministerio de energía, Industria y comercio*, y las infiltraciones son valores standard prefijados por el programa.

Una posible solución a la pérdida de potencia térmica sería instalar un recuperador de calor. El sistema consta de un extractor y un intercambiador. El aire del interior es absorbido por el extractor y pasa a través del intercambiador donde cede calor al caudal de aire exterior que es impulsado dentro del edificio. Con esta medida se recupera una parte de la potencia de calefacción. Sin embargo, esta medida no va a ser estudiada ya que se trata de una solución activa y este proyecto está enfocado a la aplicación de soluciones pasivas para la mejora de la eficiencia.

Las pérdidas de energía en el acristalamiento y en los muros también representan una parte importante del consumo, un 26,68% y un 18,66% respectivamente.

Todo esto provoca una necesidad de potencia de calefacción de 210 KW.

**Tabla 7. Pérdidas de calor – Caso inicial, ( Design Builder software , 2015)**

<b>Acristalamiento</b>	kW	-56,17
<b>Muros</b>	kW	-39,29
<b>Techos</b>	kW	-11,76
<b>Suelos Int.</b>	kW	11,76
<b>Suelos S.T.</b>	kW	-0,56
<b>Particiones</b>	kW	0,07
<b>Cubiertas</b>	kW	-10,02
<b>Suelos Ext.</b>	kW	-1,249296
<b>Infiltración Ext.</b>	kW	-40,68
<b>Ventilación Ext.</b>	kW	-60,82
<b>Calef. Sens. de Zona</b>	kW	210,55

Las pérdidas de calor de cada zona y su capacidad de diseño se muestran en la tabla 8 “Pérdidas de calor por zona – Caso inicial”. Design Builder fija un coeficiente de seguridad para el diseño de la instalación de calefacción de 1,25.

La zona con mayor demanda es la de reuniones, al igual que en verano. Esto se debe a que durante los meses de invierno, el sol en ningún momento llega a incidir sobre la fachada exterior de la zona por la sombra que produce el lateral de la terraza. Además, al tener una forma rectangular muy alargada la pérdida de energía a través de los cristales es muy grande.

**Tabla 8. Pérdidas de calor por zona – Caso inicial, ( Design Builder software , 2015)**

Bloque	Zona	Pérdida de Calor (kW)	Capacidad de Diseño (kW)	AREAS (M2)	PERDIDA DE CALOR POR M2 (W/M2)
<b>0 Planta baja</b>	Oficinas	4,93	6,16	60,1	82,03
	Central	58,27	72,84	742,8	78,45
	Ascensor	1,68	2,11	28,1	59,79
	WC	0,96	1,2	14	68,57
	Oficinas	8,56	10,7	142,2	60,20
<b>1 Primera Planta</b>	Ordenadores	11,79	14,74	152,6	77,26
	Pasillo	1,19	1,49	191,9	6,20
	Estudio	15,06	18,82	204,7	73,57
	WC	0,94	1,18	13,8	68,12
	Reuniones	8,2	10,25	63,8	128,53
	Ascensor	1,64	2,05	28,1	58,36
	Oficina	4,76	5,95	62,7	75,92
	Central	16,8	21	156,3	107,49
<b>2 Segunda Planta</b>	Ordenadores	11,84	14,8	152,7	77,54
	Pasillo	4,17	5,21	143,6	29,04
	Estudio	4,32	5,4	44,1	97,96
	WC	0,92	1,15	13,7	67,15
	Reuniones	8,84	11,05	63,9	138,34
	Ascensor	1,64	2,05	28,1	58,36
	Oficinas	11,59	14,49	152,9	75,80
<b>3 Tercera Planta</b>	Ascensor	1,47	1,84	28,1	52,31
	Pasillo	7,93	9,91	133,8	59,27
	WC	0,83	1,04	13,7	60,58
	Oficinas	9,89	12,36	153,6	64,39
	Oficinas	23,11	28,88	274	84,34

## 5. ANÁLISIS DE SOLUCIONES PASIVAS

En este apartado se van a proponer diferentes medidas de ahorro energético basadas en los resultados de la simulación del caso base y siguiendo las pautas marcadas en el Código Técnico de la Edificación.

El primer análisis evalúa el efecto de los voladizos ya instalados ya que, a pesar de ser una medida que ya ha sido implantada, se considera que tiene un efecto muy importante a la hora de reducir la ganancia térmica en verano, en las horas de más calor, cuando el sol está en el punto más alto e incide de forma indirecta sobre la fachada sur del edificio.

En las dos simulaciones siguientes se toman medidas en la superficie acristalada y los muros, los dos focos de pérdida de energía más importantes tanto en verano como en invierno.

Para finalizar se estudiará el efecto conjunto de las medidas anteriores.

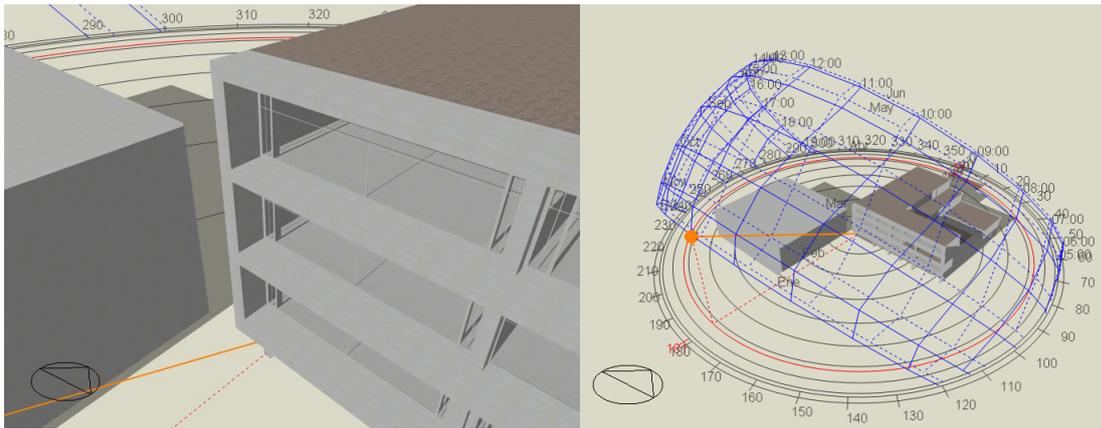
### 5.1. Efecto de los voladizos ya instalados

Cuando se decide instalar un elemento sombreador como los voladizos, es necesario estudiar la geometría del hueco, su posición respecto a la trayectoria del sol, la geografía del lugar, el tiempo y la cantidad de radiación solar. En edificios con un alto porcentaje de superficie acristalada en las fachadas este, oeste o sur, producen una reducción sensible de la demanda energética de refrigeración. Con esta medida se pretende mejorar también la captación de radiación solar en invierno.

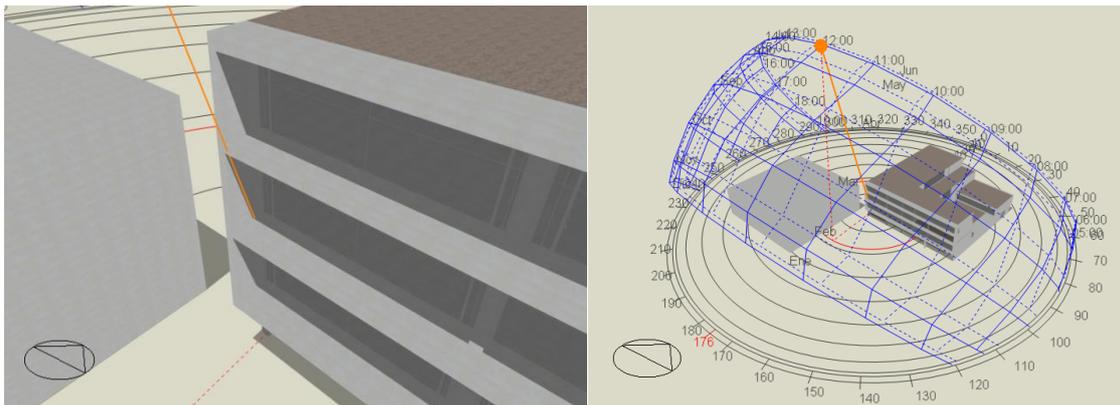
A lo largo del año, la trayectoria aparente del sol varía y con ella el ángulo de incidencia de la radiación. Esto provoca que, durante los meses de verano, el sol incida sobre la fachada sur con mayor altura solar que en invierno.

Los voladizos instalados en la parte superior de las cristaleras de la fachada sur, hacen uso de este fenómeno para producir sombras en los meses de verano mientras que, en los meses de invierno, permiten captar la máxima radiación solar ya que el ángulo de incidencia es demasiado pequeño como para que los voladizos obstruyan su paso.

Con la opción de visualización de sombras de Design Builder, se comprueba lo descrito anteriormente de forma visual. Para ello se ha tomado como fecha representativa de los meses de invierno el día 15 de diciembre a las 12:00h solares y, de los meses de verano, el 15 de julio a la misma hora:



**Ilustración 23. Sombras en la fachada este de la Casa del Alumno. Día 15 de diciembre a las 12:00h solares. ( Design Builder software , 2015)**



**Ilustración 24. Sombras en la fachada este de la Casa del Alumno. Día 15 de julio a las 12:00h solares. ( Design Builder software , 2015)**

Se observa claramente cómo el ángulo de incidencia, acompañado de un buen sistema de protección solar, puede ayudar a captar la máxima radiación en invierno, a la vez que impide su paso en verano.

Para saber con mayor exactitud el ahorro de energía de refrigeración que suponen los voladizos, se va a simular de nuevo el edificio sin ellos.

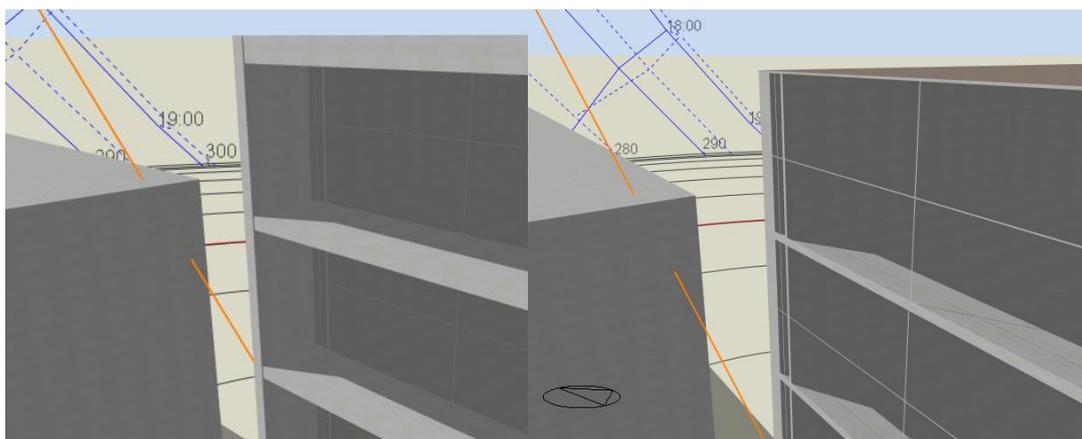
Toda la fachada sur está acristalada. Por lo tanto, el aumento de la ganancia máxima se aprecia en el acristalamiento:

**Tabla 9. Ganancia máxima en el acristalamiento con y sin voladizos, ( Design Builder software , 2015)**

ACRISTALAMIENTO	GANACIA MÁXIMA (KW)	HORA SOLAR
EDIFICIO CON VOLADIZOS	83,45	16:30
EDIFICIO SIN VOLADIZOS	103,47	14:30

La reducción de la ganancia máxima a través de los cristales respecto al edificio sin voladizos es del orden del 20%.

También se aprecia que la hora de máxima ganancia solar varía: con los aleros la radiación no incide en la fachada sur, por lo que el valor máximo se da a las 16:30, cuando el sol está en la cara oeste del edificio.



**Ilustración 25. Sombras en la fachada este de la Casa del Alumno sin voladizos (derecha) y con voladizos (izquierda). Día 15 de julio a las 14:00h, ( Design Builder software , 2015)**

## 5.2. Actuación sobre la envolvente

La primera medida a tomar para mejorar la eficiencia del edificio es reducir el coeficiente global de transferencia de calor en los cerramientos verticales opacos exteriores. Para ello se va a instalar un aislamiento térmico exterior por ser el que mejor reduce los puentes térmicos. Además, no reduce la superficie útil interior y su instalación no impide que el edificio continúe con su funcionamiento habitual.

Se ha escogido como material aislante el mismo que hay en los techos, poliestireno expandido con espesor de 5 cm, muy usado en la construcción.

A través de los cálculos del programa se sabe que la transmitancia térmica del muro sin aislamiento es de 2,684 W/m<sup>2</sup>-K, mientras que la de la nueva composición con 0,5 cm de aislamiento es de 0,524.

Esta reducción de la transmitancia térmica se ve reflejada en los resultados de la simulación

**Tabla 10. Pérdidas de calor de calefacción – actuación sobre la envolvente, ( Design Builder software , 2015)**

CALEFACIÓN	SIN AISLAMIENTO (KW)	CON AISLAMIENTO (KW)	DIFERENCIA (KW)
Acrisolamiento	-56,17	-56,41	0,23
Muros	-39,29	-11,67	-27,62
Techos	-11,76	-10,93	-0,83
Suelos Int.	11,76	10,94	0,83
Suelos S.T.	-0,56	-0,64	0,08
Particiones	0,07	0,08	-0,01
Cubiertas	-10,02	-10,09	0,06
Suelos Ext.	-1,24	-1,27	0,02
Infiltración Ext.	-40,68	-39,54	-1,13
Ventilación Ext.	-60,82	-59,05	-1,77
Calef. Sens. de Zona	210,55	180,57	29,98

**Tabla 11. Ganancias de refrigeración – Actuación sobre la envolvente, ( Design Builder software , 2015)**

REFRIGERACIÓN	SIN AISLAMIENTO (KW)	CON AISLAMIENTO (KW)	DIFERENCIA (KW)
Acrisolamiento	83,45	83,45	0,00
Muros	32,69	17,58	15,11
Enfriamiento Sensible	-259,00	-245,03	-13,97
Enfriamiento Total	-291,77	-277,35	-14,42
Ocupación	32,29	31,75	0,54
Gan. Solares Ventanas Ext.	29,50	29,50	0,00
Refrig. Sens. de Zona	-230,56	-212,67	-17,89

La reducción de la carga térmica que se transmite a través de los muros en invierno es de 70% y en verano de 46%.

Esto supone un ahorro de la energía sensible total de la Casa del Alumno en el momento de máxima demanda de 7,75% para verano y de 14,2% para invierno.

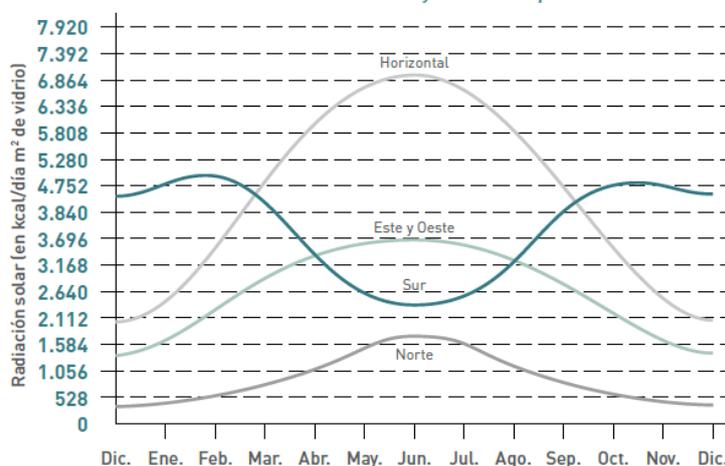
Tal y como muestran los resultados, la aplicación de esta medida proporciona importantes mejoras durante todo el año o dicho de otra forma, supone un ahorro anual consistente y continuo.

### 5.3. Actuación sobre las cristaleras

La siguiente medida de ahorro energético tiene como objetivo reducir las pérdidas que se producen en las superficies acristaladas tanto en verano como en invierno.

Por otra parte, el sistema escogido debe permitir el paso de la radiación solar durante los meses de invierno por la fachada sur ya que, cuando el sol está en el punto más alto de su trayectoria diurna, emite una radiación muy elevada que es posible aprovechar, reduciendo así la demanda de calefacción.

Comparación de la radiación incidente a lo largo de un año a 40° de latitud norte en huecos de fachada con las cuatro orientaciones y en cubierta plana



Fuente: Edward Mazia, El libro de la energía solar pasiva.

**Ilustración 26. Radiación incidente en las fachadas según su orientación a lo largo del año. (IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2012)**

Los elementos de sombreado pueden ser exteriores o interiores, siendo más eficientes los primeros ya que el aire que circula entre el vidrio y el protector se calienta y este calor puede transmitirse al interior del edificio.

Por este motivo, se ha optado por añadir a las antiguas cortinas enrollables interiores (roller shade) que permiten la entrada de luz, unas cortinas enrollables exteriores y opacas que actuarán de manera automática en verano, durante las en las que el sol incide directamente sobre las fachadas este u oeste.

Para el cálculo en Design Builder se ha supuesto que las nuevas cortinas están bajadas constantemente. Esto no supone ningún problema dado que el valor que calcula el programa es la carga máxima en verano, momento en el cual sí estarán bajadas. Tampoco afecta al cálculo del consumo de calefacción, el programa supone nula la radiación solar y, por tanto, no produce modificación alguna.

El tema de la ganancia solar nula que toma el programa también hace imposible saber cuál es la potencia térmica que entra por las ventanas en invierno y, por tanto, no permite estudiar el efecto que tendrían las persianas exteriores bajadas en las cara este.

Esta nueva persiana opaca tiene un valor de transmitancia de 0,1 W/m-K, mientras que la de la primera es de 0,9W/m-K.

Las mejoras producidas por este sistema son:

**Tabla 12. Ganancias de refrigeración – Actuación sobre las cristaleras, ( Design Builder software , 2015)**

REFRIGERACIÓN	CORTINAS INICIALES (KW)	CORTINAS OPACAS (KW)	DIFERENCIA (KW)
Acrisolamiento	83,45	25,15	58,30
Muros	32,69	30,00	2,69
Enfriamiento Sensible	-259,00	-195,83	-63,17
Enfriamiento Total	-291,77	-227,37	-64,40
Ocupación	32,29	31,15	1,14
Gan. Solares Ventanas Ext.	29,50	4,28	25,22
Refrig. Sens. de Zona	-230,56	-159,73	-70,83

**Tabla 13. Pérdidas de calefacción– Actuación sobre las cristaleras, ( Design Builder software , 2015)**

CALEFACCIÓN	CORTINAS INICIALES (KW)	CORTINAS OPACAS (KW)	DIFERENCIA (KW)
Acrisolamiento	-56,17	-56,17	0,00
Muros	-39,29	-39,29	0,00
Techos	-11,76	-11,76	0,00

Suelos Int.	11,76	11,76	0,00
Suelos S.T.	-0,56	-0,56	0,00
Particiones	0,07	0,07	0,00
Cubiertas	-10,02	-10,02	0,00
Suelos Ext.	-1,24	-1,24	0,00
Infiltración Ext.	-40,68	-40,68	0,00
Ventilación Ext.	-60,82	-60,82	0,00
Calef. Sens. de Zona	210,55	210,55	0,00

En verano, se reducen tanto la ganancia térmica de los cristales como la ganancia solar, un 69,86% y un 85,49% respectivamente.

Como se predijo antes de la simulación, el programa no tiene en cuenta la ganancia solar en invierno y, por tanto, las cortinas no tienen ningún efecto según este.

#### 5.4. Agrupación de las medidas, mejor solución.

En los apartados anteriores se ha estudiado la situación real de demanda energética máxima de la Casa del Alumno y se han propuesto dos medidas pasivas para reducir dicha demanda. Estas son:

- Actuación sobre la envolvente añadiendo un aislante.
- Actuación sobre las superficies acristaladas colocando persianas exteriores opacas.

Cada una actúa sobre uno de los dos focos más importantes en cuanto a necesidad de potencia tanto en verano como en invierno, muros y acristalamiento. Ambas soluciones consiguen una reducción significativa de la demanda energética máxima por lo que la solución más eficaz es llevar a cabo las dos medidas de ahorro energético.

Se va a simular de nuevo el edificio con el objetivo de cuantificar la mejora que supondría aplicar al mismo tiempo las medidas correctoras descritas en los muros y acristalamientos, principales fuentes de consumo tanto en verano como en invierno.

La reducción de la refrigeración máxima sensible que se consigue con la agrupación de ambas medidas es de un 35,3 %, pasando de una potencia necesaria de 230 KW a una de 149,81 KW.

Por otra parte, en invierno las mejoras tras la implantación de estas medidas producen un ahorro de potencia del 14,2%. Es un porcentaje bastante menor que para los meses de verano ya que sólo le afecta una de las dos medidas a implantar, la medida de las persianas opacas no reduce el consumo. Aun así la mejora obtenida durante la otra mitad del año se considera lo suficientemente relevante como para implantarla a pesar de esto.

### Calefacción

**Tabla 14. Pérdidas de calefacción – Agrupación de medidas, ( Design Builder software , 2015)**

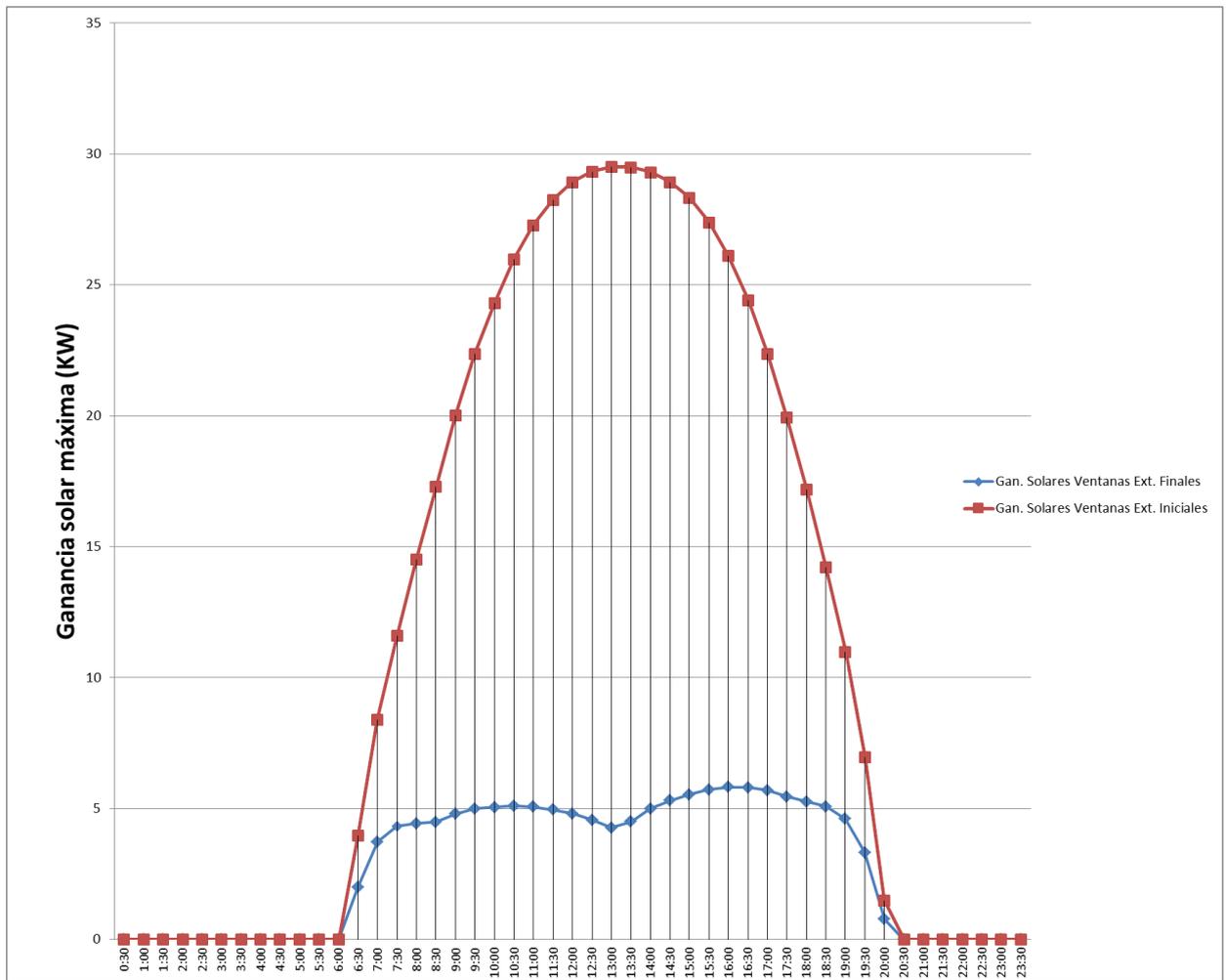
CALEFACIÓN	CORTINAS INICIALES (KW)	AIS + OPAC (KW)	DIFERENCIA (KW)
Acristalamiento	-56,17	-56,41	0,24
Muros	-39,29	-11,67	-27,62
Techos	-11,76	-10,93	-0,83
Suelos Int.	11,76	10,94	0,82
Suelos S.T.	-0,56	-0,64	0,08
Particiones	0,07	0,08	-0,01
Cubiertas	-10,02	-10,09	0,07
Suelos Ext.	-1,24	-1,26	0,02
Infiltración Ext.	-40,68	-39,54	-1,14
Ventilación Ext.	-60,82	-59,05	-1,77
Calef. Sens. de Zona	210,55	180,56	29,99

### Refrigeración

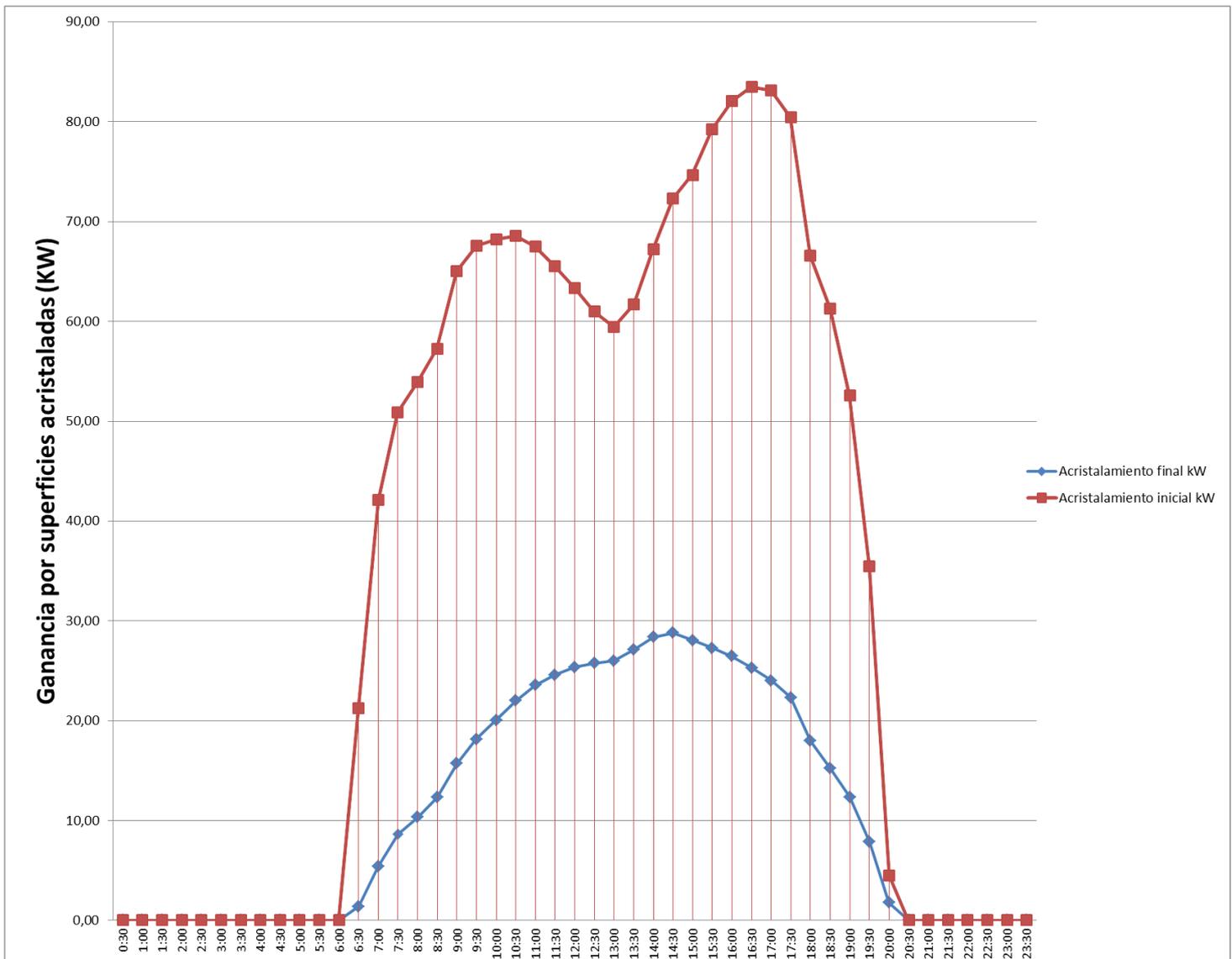
**Tabla 15. Ganancias de refrigeración – Agrupación de medidas, ( Design Builder software , 2015)**

REFRIGERACIÓN	CORTINAS INICIALES (KW)	AIS + OPAC (KW)	DIFERENCIA (KW)
Acristalamiento	83,45	28,79	54,66
Muros	32,69	14,26	18,43
Enfriamiento Sensible	-259,00	-180,95	-78,05
Enfriamiento Total	-291,77	-211,88	-79,89
Ocupación	32,29	30,96	1,33
Gan. Solares Ventanas Ext.	29,50	5,82	23,68
Refrig. Sens. de Zona	-230,56	-149,1	-81,46

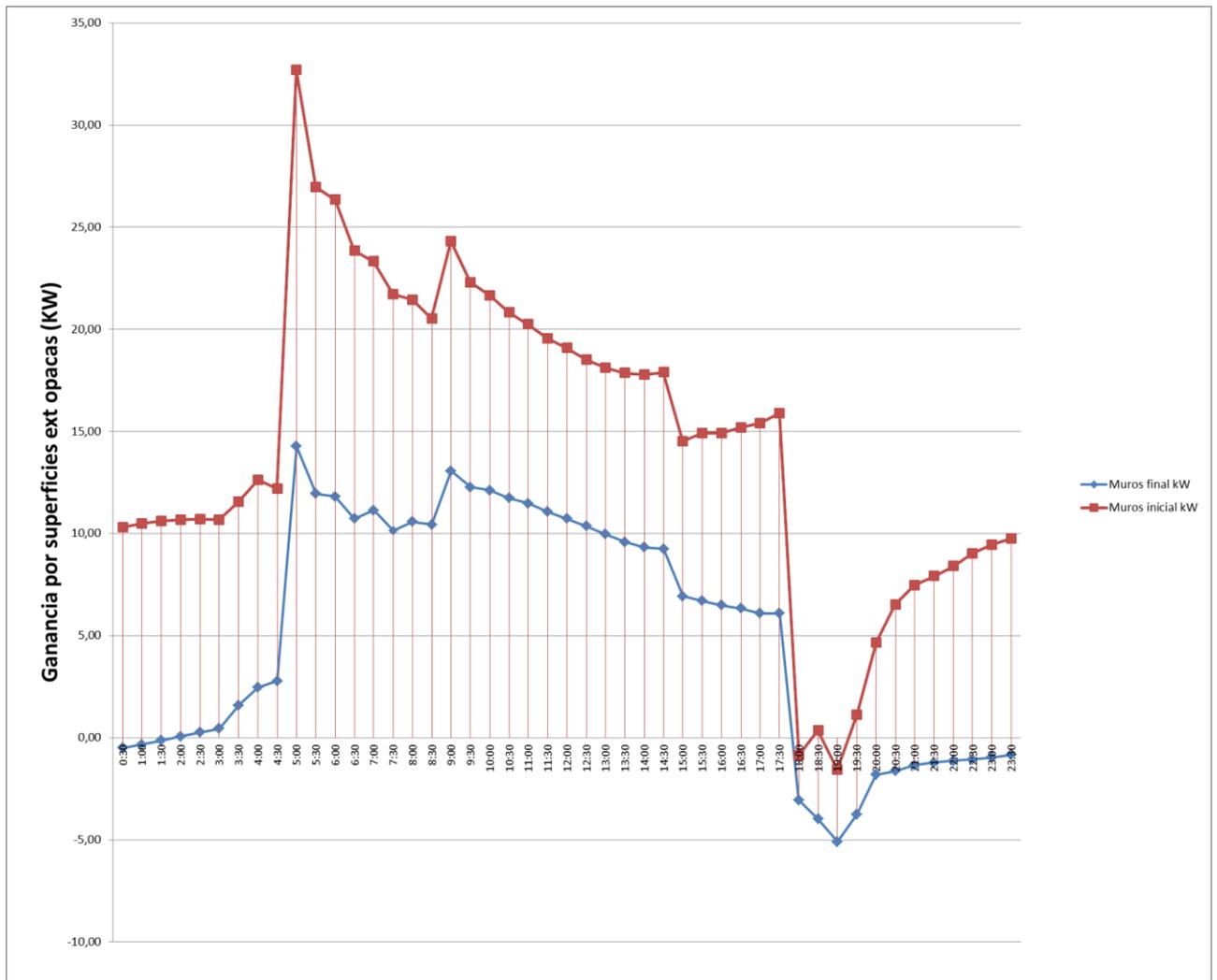
Para comprobar la disminución del consumo a lo largo de todo el día se han representado gráficamente los valores obtenidos cada media hora durante el día 15 de julio de las cargas por acristalamiento y muros, las ganancias solares y la refrigeración sensible:



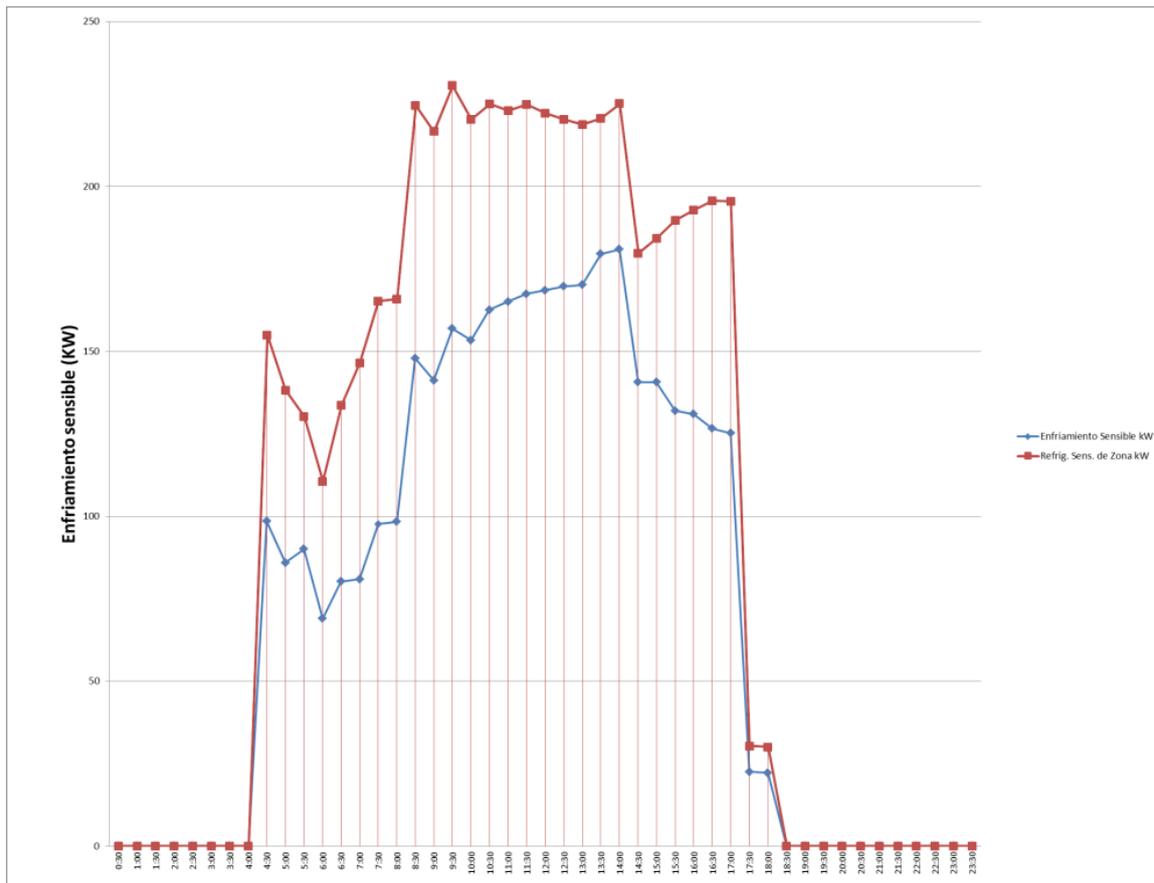
**Ilustración 27. Disminución de la ganancia térmica en verano – Agrupación de medidas, ( Design Builder software , 2015)**



**Ilustración 28. Disminución de la ganancia por acristalamiento en verano – Agrupación de medidas, ( Design Builder software , 2015)**



**Ilustración 29. Disminución de la ganancia por los muros en verano – Agrupación de medidas, ( Design Builder software , 2015)**



**Ilustración 30. Disminución de la refrigeración sensible – Agrupación de medidas, ( Design Builder software , 2015)**

Como conclusión final, es necesario mencionar la gran importancia que tiene un aislamiento térmico correcto. Una reducción del 35% en la carga pico da lugar a un fuerte ahorro tanto económico como de contaminación del medio ambiente, uno de los problemas más importantes en la actualidad.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Design Builder software . (2015). Design Builder. Versión 4.6.0.015.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2013). *ASHRAE handbook: Fundamentals*. ASHRAE.

Aurea Consulting. (2014). *Manual de ayuda Design Builder en español*.

Código Técnico de la Edificación. (2013). *Documento Básico de Ahorro de Energía DBHE*.

Departamento termodinámica Aplicada. UPV. (2014, Enero). VpClima. España.

EnergyPlus. (2016, septiembre 27). EnergyPlus Versión 8.6.0.

IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2010). *Condiciones climáticas exteriores de proyecto* . Madrid.

IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2012). *Documento Básico HE; Ahorro de energía*. Madrid.

IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2012). *Guía de recomendaciones de eficiencia energética, certificación de edificios existentes CE3*. Madrid.

Ministerio de Educación Pública (MEP). (2016, Noviembre 11). CYPEcar MEP. España.

Ministerio de Energía, Industria y Comercio. (2013). *Reglamento de instalaciones térmicas en edificios* .

## PRESUPUESTO

En el presente presupuesto están considerados el equipo y el software necesarios para el estudio y la simulación del edificio. También se tienen en cuenta las horas dedicadas y los desplazamientos para la recopilación de la información previa.

**Tabla de precios base para el cálculo del presupuesto**

	Ordenador	Cámara	Design Builder
Coste (€)	900	9.000	2.800
Horas de uso (h/año)	1.095	1.095	1936
Vida útil	5	4	1
Precio (€/h)	0,16	2,05	2,26

\* Las horas de uso por año se han supuesto de 3 horas al día para el caso del ordenador y la cámara termográfica.

### PRECIO DESGLOSADO

Descripción	Precio (€)	Ud.	Cantidad	Total (€)
Software	2,26	horas	300	678,00
Cámara termográfica	2,05	horas	2	4,10
Ordenador	0,16	horas	300	48,00
Visitas	5,00	visitas	3	15,00
Elaboración del informe técnico	20,00	horas	300	6.00,00
Reuniones	20,00	horas	6	120,00
Impresión del informe	0,05	hojas	57	2,85,00

**COSTE TOTAL**

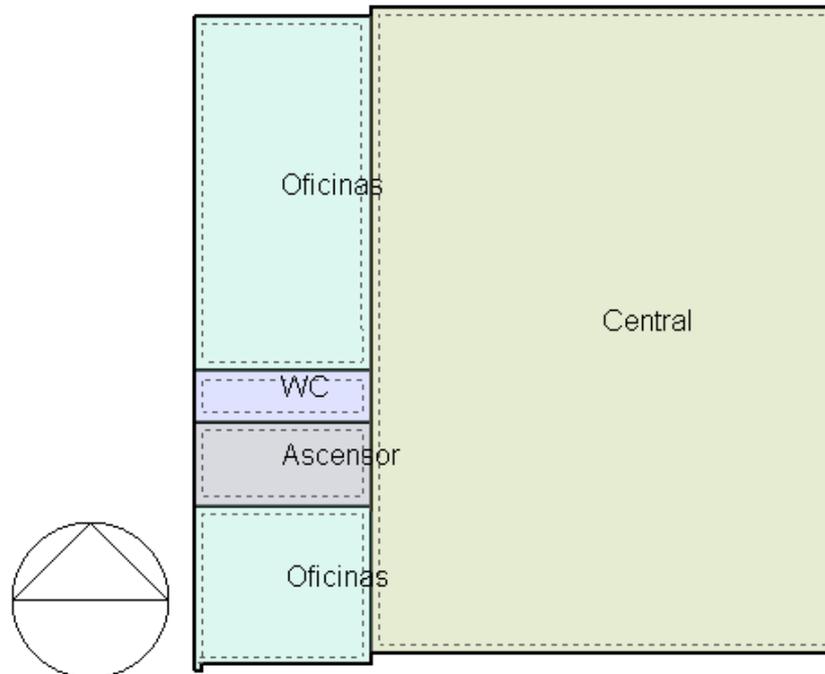
**6.867,95 €**

\* Precio sin IVA

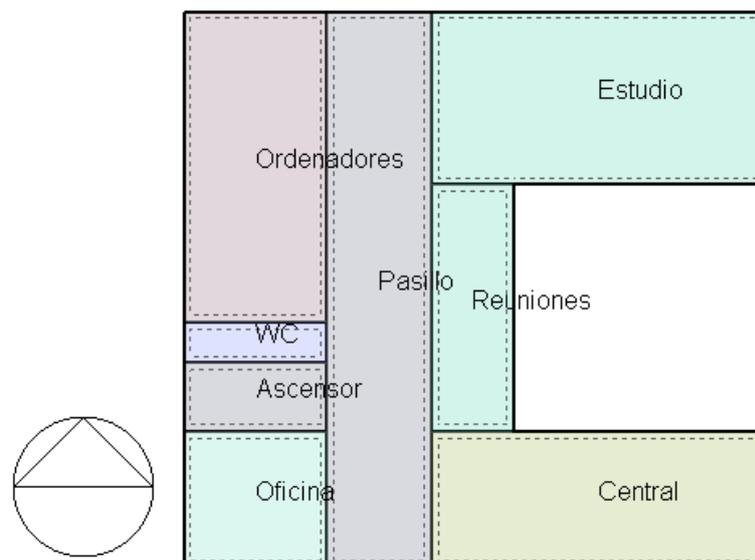
## ANEXOS

### ANEXO 1. ZONIFICACIÓN DEL EDIFICIO

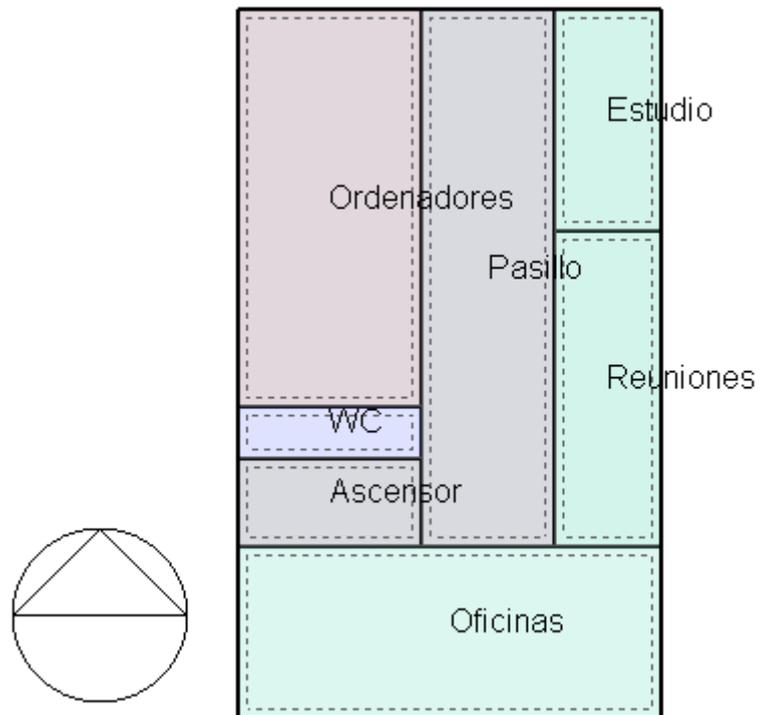
#### 1.1. Planta baja



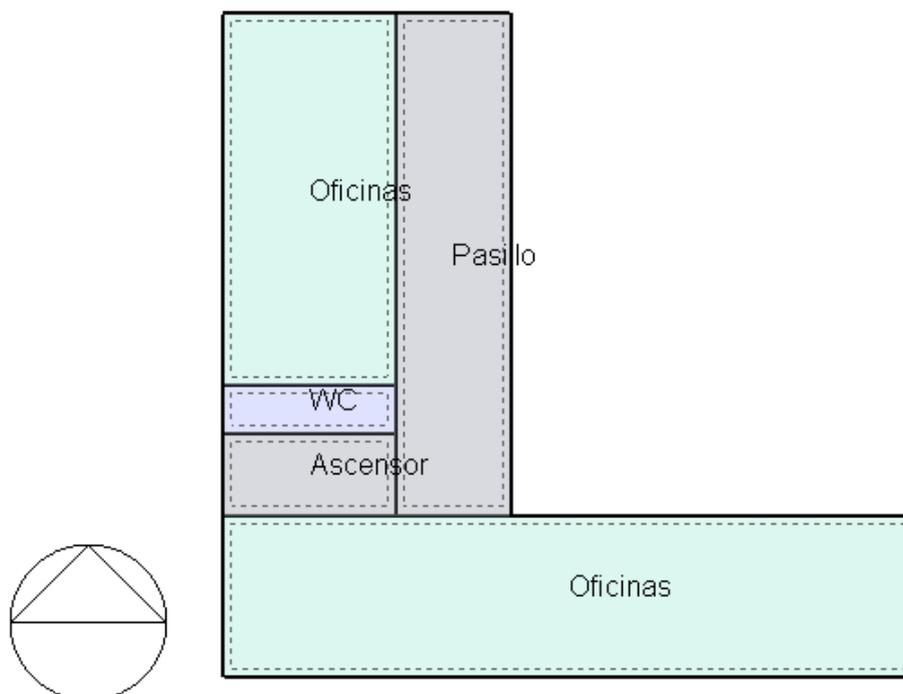
#### 1.1. Primera planta



### 1.2. Segunda planta



### 1.3. Tercera planta



## ANEXO 2. HORARIOS DE OCUPACIÓN, ILUMINACIÓN Y EQUIPOS

### 2.1. Casa del Alumno \_ Ocupación

Schedule: Compact  
D1\_Edu\_Circulation\_Occ, Fraction, Through: 31 Mar, For: Weekdays WinterDesignDay,  
Until: 01:00, 0.02, Until: 02:00, 0.02, Until: 03:00, 0.01, Until: 04:00, 0.01, Until: 07:00, 0, Until: 08:00, 0, Until: 09:00, 0.01, Until: 10:00, 0.04, Until: 11:00, 0.09, Until: 12:00, 0.16, Until: 13:00, 0.18, Until: 14:00, 0.18, Until: 15:00, 0.16, Until: 16:00, 0.10, Until: 17:00, 0.18, Until: 18:00, 0.23, Until: 19:00, 0.19, Until: 20:00, 0.15, Until: 21:00, 0.09, Until: 22:00, 0.05, Until: 23:00, 0.02, Until: 24:00, 0.03, For: Weekends AllOtherDays,  
Until: 01:00, 0.02, Until: 02:00, 0.02, Until: 03:00, 0.01, Until: 04:00, 0.01, Until: 07:00, 0, Until: 08:00, 0, Until: 09:00, 0.01, Until: 10:00, 0.04, Until: 11:00, 0.09, Until: 12:00, 0.16, Until: 13:00, 0.18, Until: 14:00, 0.18, Until: 15:00, 0.16, Until: 16:00, 0.10, Until: 17:00, 0.18, Until: 18:00, 0.23, Until: 19:00, 0.19, Until: 20:00, 0.15, Until: 21:00, 0.09, Until: 22:00, 0.05, Until: 23:00, 0.02, Until: 24:00, 0.03, For: Weekends AllOtherDays,  
Until: 01:00, 0.02, Until: 02:00, 0.02, Until: 03:00, 0.01, Until: 04:00, 0.01, Until: 07:00, 0, Until: 08:00, 0, Until: 09:00, 0.01, Until: 10:00, 0.04, Until: 11:00, 0.09, Until: 12:00, 0.16, Until: 13:00, 0.18, Until: 14:00, 0.18, Until: 15:00, 0.16, Until: 16:00, 0.10, Until: 17:00, 0.18, Until: 18:00, 0.23, Until: 19:00, 0.19, Until: 20:00, 0.15, Until: 21:00, 0.09, Until: 22:00, 0.05, Until: 23:00, 0.02, Until: 24:00, 0.03, Through: 30 Sep, For: Weekdays SummerDesignDay,  
Until: 01:00, 0.02, Until: 02:00, 0.02, Until: 03:00, 0.01, Until: 04:00, 0.01, Until: 07:00, 0, Until: 08:00, 0, Until: 09:00, 0.01, Until: 10:00, 0.04, Until: 11:00, 0.09, Until: 12:00, 0.16, Until: 13:00, 0.18, Until: 14:00, 0.18, Until: 15:00, 0.16, Until: 16:00, 0.10, Until: 17:00, 0.18, Until: 18:00, 0.23, Until: 19:00, 0.19, Until: 20:00, 0.15, Until: 21:00, 0.09, Until: 22:00, 0.05, Until: 23:00, 0.02, Until: 24:00, 0.03, Through: 31 Dec, For: Weekdays WinterDesignDay,  
Until: 01:00, 0.02, Until: 02:00, 0.02, Until: 03:00, 0.01, Until: 04:00, 0.01, Until: 07:00, 0,

## 2.2. Casa del Alumno \_ Ocupación \_ Oficinas

Schedule:Compact	Until: 24:00, 0,
D1_Edu_Circulation_Occ,	For: Weekends AllOtherDays,
Fraction,	Until: 24:00, 0,
Through: 31 Mar,	Through: 31 Dec,
For: Weekdays WinterDesignDay,	For: Weekdays WinterDesignDay,
Until: 01:00, 0,	Until: 01:00, 0,
Until: 02:00, 0,	Until: 02:00, 0,
Until: 03:00, 0,	Until: 03:00, 0,
Until: 04:00, 0,	Until: 04:00, 0,
Until: 07:00, 0,	Until: 07:00, 0,
Until: 08:00, 0,	Until: 08:00, 0,
Until: 09:00, 0.01,	Until: 09:00, 0.01,
Until: 10:00, 0.04,	Until: 10:00, 0.04,
Until: 11:00, 0.09,	Until: 11:00, 0.09,
Until: 12:00, 0.16,	Until: 12:00, 0.16,
Until: 13:00, 0.18,	Until: 13:00, 0.18,
Until: 14:00, 0.18,	Until: 14:00, 0.18,
Until: 15:00, 0.16,	Until: 15:00, 0.16,
Until: 16:00, 0.10,	Until: 16:00, 0.10,
Until: 17:00, 0.18,	Until: 17:00, 0.18,
Until: 18:00, 0.23,	Until: 18:00, 0.23,
Until: 19:00, 0.19,	Until: 19:00, 0.19,
Until: 20:00, 0,	Until: 20:00, 0,
Until: 21:00, 0,	Until: 21:00, 0,
Until: 22:00, 0,	Until: 22:00, 0,
Until: 23:00, 0,	Until: 23:00, 0,
Until: 24:00, 0,	
For: Weekends AllOtherDays,	For: Weekends AllOtherDays,
Until: 24:00, 0,	Until: 24:00, 0,
Through: 30 Sep,	
For: Weekdays SummerDesignDay,	
Until: 01:00, 0,	
Until: 02:00, 0,	
Until: 03:00, 0,	
Until: 04:00, 0,	
Until: 07:00, 0,	
Until: 08:00, 0.05,	
Until: 09:00, 0.14,	
Until: 10:00, 0.33,	
Until: 11:00, 0.59,	
Until: 12:00, 0.76,	
Until: 13:00, 0.92,	
Until: 14:00, 0.94,	
Until: 15:00, 0.95,	
Until: 16:00, 0.89,	
Until: 17:00, 0.94,	
Until: 18:00, 1,	
Until: 19:00, 1,	
Until: 20:00, 0.96,	
Until: 21:00, 0,	
Until: 22:00, 0,	
Until: 23:00, 0,	

### 2.3. Casa del Alumno \_ Iluminación

Schedule:Compact	Until: 01:00, 1,	Until: 08:00, 0,
D1_Edu_Circulation_Occ,	Until: 02:00, 1,	Until: 09:00, 1,
Fraction,	Until: 03:00, 1,	Until: 10:00, 1,
Through: 31 Mar,	Until: 04:00, 1,	Until: 11:00, 1,
For: Weekdays WinterDesignDay ,	Until: 07:00, 0,	Until: 12:00, 1,
Until: 01:00, 1,	Until: 08:00, 1,	Until: 13:00, 1,
Until: 02:00, 1,	Until: 09:00, 1,	Until: 14:00, 1,
Until: 03:00, 1,	Until: 10:00, 1,	Until: 15:00, 1,
Until: 04:00, 1,	Until: 11:00, 1,	Until: 16:00, 1,
Until: 07:00, 0,	Until: 12:00, 1,	Until: 17:00, 1,
Until: 08:00, 0,	Until: 13:00, 1,	Until: 18:00, 1,
Until: 09:00, 1,	Until: 14:00, 1,	Until: 19:00, 1,
Until: 10:00, 1,	Until: 15:00, 1,	Until: 20:00, 1,
Until: 11:00, 1,	Until: 16:00, 1,	Until: 21:00, 1,
Until: 12:00, 1,	Until: 17:00, 1,	Until: 22:00, 1,
Until: 13:00, 1,	Until: 18:00, 1,	Until: 23:00, 1,
Until: 14:00, 1,	Until: 19:00, 1,	Until: 24:00, 1,
Until: 15:00, 1,	Until: 20:00, 1,	For: Weekends AllOtherDays,
Until: 16:00, 1,	Until: 21:00, 1,	Until: 01:00, 1,
Until: 17:00, 1,	Until: 22:00, 1,	Until: 02:00, 1,
Until: 18:00, 1,	Until: 23:00, 1,	Until: 03:00, 1,
Until: 19:00, 1,	Until: 24:00, 1,	Until: 04:00, 1,
Until: 20:00, 1,	For: Weekends AllOtherDays,	Until: 07:00, 0,
Until: 21:00, 1,	Until: 01:00, 1,	Until: 08:00, 0,
Until: 22:00, 1,	Until: 02:00, 1,	Until: 09:00, 1,
Until: 23:00, 1,	Until: 03:00, 1,	Until: 10:00, 1,
Until: 24:00, 1,	Until: 04:00, 1,	Until: 11:00, 1,
For: Weekends AllOtherDays,	Until: 07:00, 0,	Until: 12:00, 1,
Until: 01:00, 1,	Until: 08:00, 1,	Until: 13:00, 1,
Until: 02:00, 1,	Until: 09:00, 1,	Until: 14:00, 1,
Until: 03:00, 1,	Until: 10:00, 1,	Until: 15:00, 1,
Until: 04:00, 1,	Until: 11:00, 1,	Until: 16:00, 1,
Until: 07:00, 0,	Until: 12:00, 1,	Until: 17:00, 1,
Until: 08:00, 0,	Until: 13:00, 1,	Until: 18:00, 1,
Until: 09:00, 1,	Until: 14:00, 1,	Until: 19:00, 1,
Until: 10:00, 1,	Until: 15:00, 1,	Until: 20:00, 1,
Until: 11:00, 1,	Until: 16:00, 1,	Until: 21:00, 1,
Until: 12:00, 1,	Until: 17:00, 1,	Until: 22:00, 1,
Until: 13:00, 1,	Until: 18:00, 1,	Until: 23:00, 1,
Until: 14:00, 1,	Until: 19:00, 1,	Until: 24:00, 1;
Until: 15:00, 1,	Until: 20:00, 1,	
Until: 16:00, 1,	Until: 21:00, 1,	
Until: 17:00, 1,	Until: 22:00, 1,	
Until: 18:00, 1,	Until: 23:00, 1,	
Until: 19:00, 1,	Until: 24:00, 1,	
Until: 20:00, 1,	Through: 31 Dec,	
Until: 21:00, 1,	For: Weekdays WinterDesignDay,	
Until: 22:00, 1,	Until: 01:00, 1,	
Until: 23:00, 1,	Until: 02:00, 1,	
Until: 24:00, 1,	Until: 03:00, 1,	
Through: 30 Sep,	Until: 04:00, 1,	
For: Weekdays SummerDesignDay,	Until: 07:00, 0,	

## 2.4. Casa del Alumno \_ Iluminación \_ Oficinas

Schedule:Compact  
D1\_Edu\_Circulation\_Occ,  
Fraction,  
Through: 31 Dec,  
For: Weekdays WinterDesignDay SummerDesignDay ,  
Until: 01:00, 0,  
Until: 02:00, 0,  
Until: 03:00, 0,  
Until: 04:00, 0,  
Until: 07:00, 0,  
Until: 08:00, 0,  
Until: 09:00, 1,  
Until: 10:00, 1,  
Until: 11:00, 1,  
Until: 12:00, 1,  
Until: 13:00, 1,  
Until: 14:00, 1,  
Until: 15:00, 1,  
Until: 16:00, 1,  
Until: 17:00, 1,  
Until: 18:00, 1,  
Until: 19:00, 1,  
Until: 20:00, 1,  
Until: 21:00, 0,  
Until: 22:00, 0,  
Until: 23:00, 0,